



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: ACTUALIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA
MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002,
CAPACIDAD DE 5 KN**

BENAVIDES MARTÍNEZ BRYAN MARCELO

DIRECTOR: ING. PÉREZ JOSÉ

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “ACTUALIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002, CAPACIDAD DE 5 KN”, 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 al señor: Benavides Martínez Bryan Marcelo para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 23 de octubre del 2017.

Ing. José Pérez
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Benavides Martínez Bryan Marcelo con CI: 0401597307, declaro que este trabajo de titulación "ACTUALIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002, CAPACIDAD DE 5 KN", 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 declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 23 de octubre del 2017.

Benavides Bryan



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Benavides Martínez Bryan Marcelo autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "ACTUALIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002, CAPACIDAD DE 5 KN", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 23 de octubre del 2017.

Benavides Bryan

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado principalmente a mi familia, gracias a mis padres Marcelo y Rosalba a quienes estoy muy agradecido por el apoyo y el amor incondicional que me han brindado durante toda mi vida. Gracias por regalarme todo lo que soy.

BENAVIDES BRYAN

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia, que gracias a su ejemplo me han obsequiado las herramientas para poder desempeñarme en la vida y cumplir mis sueños. A mis amigos, con quienes he compartido momentos importantes de mi vida recorriendo el camino para alcanzar nuestros objetivos.

BENAVIDES BRYAN

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. <i>General</i>	3
1.4.2. <i>Específicos</i>	3
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO	7
1.6.1. <i>Componentes mecánicos</i>	8
1.6.2. <i>Componentes electrónicos/eléctricos</i>	9
1.6.3. <i>Componentes del sistema de control</i>	11
1.6.4. <i>Software para implementación, análisis y simulación.</i>	11

CAPÍTULO II	13
MARCO TEÓRICO	13
2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.....	13
2.1.1. <i>Diagrama de esfuerzo-deformación.</i>	14
2.1.2. <i>Probetas para ensayos.</i>	16
2.1.3. <i>Propiedades típicas de los materiales para ensayo.</i>	18
2.1.4. <i>Designación de la velocidad de prueba.</i>	19
2.1.5. <i>Posibles fallas en la prueba.</i>	20
2.1.6. <i>Unidades.</i>	21
2.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS... ..	23
2.2.1. <i>Clasificación.</i>	24
2.2.2. <i>Partes de la maquina universal de ensayos.</i>	26
2.3. MÉTODOS DE ENSAYOS.....	27
2.3.1. <i>Ensayo de tracción.</i>	27
2.3.2. <i>Ensayo de compresión.</i>	28
2.3.3. <i>Desarrollo de las pruebas.</i>	30
CAPÍTULO III	31
EVALUACIÓN DE LA MAQUINA	31
3.1. BENCHMARKING AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002.	31
3.2. FUNCIONAMIENTO MECÁNICO	34
3.2.1. <i>Clasificación.</i>	35
3.2.1.1. Mecanismos.	36
3.2.1.2. Motor.	40
3.2.1.3. Estructuras.	42
3.2.2. <i>Partes de la maquina universal de ensayos</i>	42

3.3.	FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO	50
3.3.1.	<i>Ensayo de tracción.....</i>	50
3.3.2.	<i>Ensayo de compresión.....</i>	61
3.3.3.	<i>Desarrollo de las pruebas.....</i>	72
3.4.	SISTEMA DE CONTROL	78
3.4.1.	<i>Clasificación</i>	79
3.4.2.	<i>Partes de la maquina universal de ensayos.....</i>	82
CAPÍTULO IV		85
DISEÑO MECATRONICO		85
4.1.	SISTEMA MECÁNICO	85
4.1.1.	<i>Estructura.....</i>	85
4.1.2.	<i>Mecanismo de prueba.....</i>	89
4.1.3.	<i>Partes fijas y móviles.....</i>	90
4.1.4.	<i>Sistema de sostén.....</i>	92
4.1.5.	<i>Reacción del mecanismo de ensayo (antes durante y después)</i>	95
4.2.	RESTRUCTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO	96
4.2.1.	<i>Alimentación de motores.....</i>	96
4.2.2.	<i>Tablero de distribución</i>	96
4.2.3.	<i>Actualización y/o reemplazo de componentes</i>	97
4.3.	SISTEMA DE CONTROL	100
4.3.1.	<i>Programación de secuencias</i>	100
4.3.2.	<i>Diseño de interface humano maquina (HMI).....</i>	126
4.3.3.	<i>Diseño de interface de resultado Excel.....</i>	155
4.3.4.	<i>Comunicación entre todos los componentes.....</i>	159
CAPÍTULO V		160
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		160

5.1.	SISTEMA MECÁNICO	160
5.1.1.	<i>Activación de mecanismos</i>	160
5.1.2.	<i>Comprobación de velocidades</i>	161
5.1.3.	<i>Puesta en marcha mecánica</i>	162
5.2.	SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO	162
5.2.1.	<i>Conexiones y verificación</i>	162
5.2.2.	<i>Activación de actuadores y controles</i>	163
5.3.	SISTEMA DE CONTROL	165
5.3.1.	<i>Verificación de programación</i>	165
5.3.2.	<i>Normas GEDIS</i>	167
5.4.	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO GLOBAL	169
	CAPÍTULO VI	179
	COSTOS	179
6.1.	COSTOS DE MODERNIZACIÓN	179
6.1.1.	<i>Componentes y materiales utilizados</i>	179
6.1.2.	<i>Mantenimiento</i>	180
6.2.	COSTOS DE MANO DE OBRA	180
6.3.	RELACIÓN INVERSIÓN/BENEFICIO	181
	BIBLIOGRAFÍA	182

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Nomenclatura utilizada en los ensayos mecánicos.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Comparación de características de interés entre la máquina MTS TK/ T5002.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Comparación de resoluciones deseadas para la máquina.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Características del tornillo sin fin.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Característica de las poleas.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Datos de las bandas.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Especificaciones de acoples.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Especificaciones del Motor TP1.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Verificación e inspección de los elementos mecánicos.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Verificación de los elementos eléctricos y electrónicos en el ensayo de tracción.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Verificación de los elementos eléctricos y electrónicos en el ensayo de compresión.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 12</i>	<i>Celda de carga tipo S.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 13</i>	<i>Módulo de expansión EM 231.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 14</i>	<i>Características del variador de frecuencia SIEMENS Micro Master.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 15</i>	<i>Verificación e inspección de las variables de control del PLC.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 16</i>	<i>Definición de necesidades de los componentes mecánicos.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 17</i>	<i>Mantenimiento de los componentes mecánicos.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 18</i>	<i>Pruebas de funcionamiento mecánico.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 19</i>	<i>Ponderación de la ubicación del soporte mecánico a adaptar.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 20</i>	<i>Ponderación de la ubicación del HMI en el tablero de control.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 21</i>	<i>Actualización y/o remplazo de componentes.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 22</i>	<i>Alternativas de diseño y selección de los elementos eléctricos y electrónicos.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 23</i>	<i>Selección de elementos a implementar para la máquina de ensayos universales.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 24</i>	<i>Variables de memoria interna.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 25</i>	<i>Variables físicas.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 26</i>	<i>Variables de registro.....</i>	<i>104</i>

<i>Tabla 27 Comunicación entre componentes de la máquina.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 28 Resultados de trabajo de los elementos del sistema mecánico.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 29 Verificación de velocidad del cabezal móvil.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 30 Verificación de control de los ensayos.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 31 Resultados de funcionamiento del sistema eléctrico/electrónico.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 32 Resultados de trabajo de los elementos del sistema electrónico.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 33 Comprobación del funcionamiento de la programación de control.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 34 Verificación del cumplimiento de la Norma GEDIS.....</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 35 Comprobación de Fuerza.....</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 36 Comprobación Desplazamiento.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 37 Calibración de Fuerza menor al 1% de error.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 38 Calibración de Desplazamiento menor al 1 % de erro.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 39 Costos de materiales.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 40 Costos de manteneiminto.....</i>	<i>180</i>
<i>Tabla 41 Costos de mano de obra.....</i>	<i>180</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuadro de detalle y especificaciones a actualizar y automatizar.....	7
Figura 2 Cuadro de detalle y especificaciones de componentes mecánicos.....	8
Figura 3 Cuadro de detalle y especificaciones del sistema eléctrico y electrónico....	9
Figura 4 Cuadro de detalle y especificaciones del sistema de control.....	11
Figura 5 Diagrama de Flujo para la máquina MTS TK/T5002.....	12
Figura 6 Diagrama Esfuerzo vs. Deformación de un acero dúctil.....	14
Figura 7 Tabla de velocidades de prueba bajo la Norma ASTM D638.....	20
Figura 8 Máquina Universal Mono-espacio.....	24
Figura 9 Máquina Universal doble-espacio.....	25
Figura 10 Accionamiento mecánico.....	26
Figura 11 Ensayo de compresión del hormigón.....	29
Figura 12 Diagrama causa-efecto de análisis de la máquina.....	33
Figura 13 Características del tornillo sin fin.....	37
Figura 14 Sistema mecánico de bandas y poleas de la máquina.....	38
Figura 15 Característica del Acople L-070.....	39
Figura 16 Sistema Mecánico de la máquina de ensayos universales.....	42
Figura 17 Componentes mecánicos de la máquina.....	43
Figura 18 Ensayo de tracción-compresión de un polímero.....	61
Figura 19 Software STEP 7 MicroWin 32 V 4.0.....	81
Figura 20 Software InTouch.....	81
Figura 21 Sistema mecánico de la máquina de ensayos universales.....	86
Figura 22 Control y mantenimiento de motores.....	88
Figura 23 Control y mantenimiento de tornillo sin fin.....	89
Figura 24 Prueba de funcionamiento mecánico.....	90
Figura 25 Diseño del mecanismo de sostén para el sensor de desplazamiento.....	93
Figura 26 Construcción del mecanismo de sostén para el sensor.....	93
Figura 27 Implementación del mecanismo de sostén para el sensor.....	94
Figura 28 Diseño e Implementación del tablero de control.....	94
Figura 29 Adpatación y funcionamiento del sensor de desplazamiento.....	95
Figura 30 Adpatación y funcionamiento del tablero de control.....	95
Figura 31 Distribución de señales en tablero de control.....	96

Figura 32 Datos de Tracción archivo .xlsx. Fuerza y Desplazamiento.....	156
Figura 33 Gráficas de Tracción Fuerza y Desplazamiento .xlsx.....	156
Figura 34 Datos de Compresión archivo .xlsx. Fuerza y Desplazamiento.....	157
Figura 35 Gráficas Compresión de Fuerza y Desplazamiento .xlsx.....	157
Figura 36 Datos de Fatiga archivo .xlsx. Fuerza y Desplazamiento.....	158
Figura 37 Gráficas Fatiga de Fuerza y Tiempo .xlsx.....	158
Figura 38 Gráfica de Error Fuerza.....	171
Figura 39 Gráfica de Error Desplazamiento.....	173
Figura 40 Calibración de fuerza.....	175
Figura 41 Calibración de Desplazamiento.....	177

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo de titulación es actualizar y automatizar la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, capacidad de 5 KN. Los capítulos 1 y 2 hablan sobre los conceptos básicos de los elementos y la teoría que intervienen en el proyecto. Involucra temas como operaciones y parámetros en los ensayos de materiales, normas de seguridad en las máquinas de ensayos universales y más. El capítulo 3 se centra en el estado y el análisis respectivo del sistema mecánico, eléctrico, electrónico y de control que se implementó a la máquina décadas atrás. En el capítulo 4 se habla de la justificación técnicas de los elementos utilizados, es decir el diseño mecatrónico para la actualización y automatización del equipo. Se realizó un interfaz humano máquina, así como también sensores de fuerza, desplazamiento y acondicionamiento de señales los cuales calculan los parámetros óptimos para el desarrollo de los ensayos de materiales mecánicos. Después de la implementación se realizaron las pruebas funcionales de la máquina, en las cuales se puede comprobar que la modernización de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 si cumple con los requerimientos solicitados. Los análisis económico y financiero permitieron conocer el beneficio que obtiene la universidad al modernizar esta máquina en vez de adquirir este equipo nuevo de similares características.

PALABRAS CLAVES:

- **MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES**
- **ENSAYOS MECÁNICOS**
- **INTERFAZ HUMANO MÁQUINA**
- **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

ABSTRACT

The main objective of this titration work is to update and automate the universal testing machine MTS TK / T5002, capacity of 5 KN. Chapters 1 and 2 talks about the basic concepts of the elements and the theory involved in the project. Involves issues such as operations and parameters in material testing, safety standards in universal testing machines and more. Chapter 3 focuses on the state and the respective analysis of the mechanical, electrical, electronic and control system that was implemented to the machine decades ago. Chapter 4 discusses the technical justification for the elements used, ie the mechatronic design for updating and automating the equipment. A human machine interface was made, as well as force, displacement and signal conditioning sensors which calculate the optimal parameters for the development of mechanical materials tests. After the implementation the functional tests of the machine were carried out, in which it can be verified that the modernization of the universal testing machine MTS TK / T5002 if it meets the requested requirements. The economic and financial analysis allowed to know the benefit that the university obtains when modernizing this machine instead of acquiring this new equipment of similar characteristics.

KEYWORDS:

- **UNIVERSAL TEST MACHINE**
- **MECHANICAL TESTS**
- **HUMAN INTERFACE MACHINE**
- **PROPERTIES OF THE MATERIALS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN.

Se ha desarrollado algunas máquinas de ensayos universales en las últimas décadas, con el objetivo de satisfacer todas las necesidades de ensayos de laboratorio de un amplio sector de la investigación e industria en general. En la actualidad la exigencia con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción o compresión para medir sus propiedades y estudiarlos, es cada vez más estricta; lo que garantiza la alta confiabilidad y eficiencia, gracias a operaciones automáticas sistematizadas de última tecnología ofreciendo así exactitud, precisión y rapidez óptimas, registrando y archivando todos los parámetros de las muestras y todos los datos del ensayo, en tiempo real. La implementación del presente proyecto plantea como objetivo principal actualizar y automatizar la máquina de ensayos universales MTS TK/T 5002, con el fin de incrementar la versatilidad y mejorar el funcionamiento de la máquina, desarrollando un sistema eléctrico, electrónico, sensorización y mecánico capaz de garantizar la exigencia de normas existentes en el medio, dicho sistema ofrece un monitoreo del estado actual de la máquina, control de todas las variables mecánicas y electrónicas, visualización de los parámetros, datos y gráficas en tiempo real, en la realización de los ensayos de compresión y tracción. Obteniendo una máquina de ensayos universales de alta gama tecnológica, ofreciendo resultados confiables y precisos en el desarrollo del aprendizaje e investigación de los estudiantes mejorando su proceso de formación profesional.

1.2. ANTECEDENTES

El laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE en su continuo afán de proporcionar el mayor soporte práctico a los alumnos del departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica se encuentra interesado en poner a punto sus instalaciones y equipos, por esta razón el desarrollo del proyecto está orientado a los estudiantes con el fin de aplicar los conocimientos teóricos y mejorar su desarrollo profesional mediante una práctica experimental con la ayuda de maquinaria técnica que proporcione fácilmente datos que ayudarán a describir de mejor manera el estudio de ensayos universales.

El avance de la tecnología en cuanto a materiales y maquinaria a partir de la revolución industrial, ha dado una nueva necesidad de modernizar o actualizar equipos antiguos que por ciertas circunstancias se encuentran fuera de operación, no por falla general de funcionamiento sino que alguna de sus partes a dado algún problema; y es difícil reemplazarla con cierto repuesto, siendo más fácil recurrir a métodos donde se pueda tener más eficiencia y repetibilidad en el proceso, disminución de costos y tiempos, además del aumento en la facilidad de operación, es aquí donde ingresa la Mecatrónica en ayuda de estos problemas, sin tener que desechar equipos, sino más bien actualizando y automatizando para que los resultados sean mejores y no se incurra en costos de nuevos equipos.

Para actualizar y automatizar equipos antiguos se requiere de un control donde permita mayores y mejores resultados, obtenidos habitualmente por partes netamente mecánicas o por operadores humanos para aquello se necesita un conjunto de elementos tecnológicos, entre los cuales se tiene principalmente un controlador lógico, sensores y un interfaz HMI.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

La máquina de ensayos universales MTS TK / T 5002, ha funcionado de forma manual por más de 40 años, período de tiempo en que no se realizó un mantenimiento y control adecuado; los accionamientos mecánicos se han desgastado y en otros casos ya no tienen vida útil, así como también no cuenta con un sistema de control y de sensorización adecuado para la realización de los ensayos de tracción y compresión, por lo cual la máquina no permite procesar los resultados de fuerzas, deformaciones, gráficas y datos del ensayo en tiempo real. El contar con maquinaria en forma óptima y aprovechar los equipos existentes en un 100% es una prioridad en el Laboratorio de Mecánica de Materiales del Departamento de Ciencia de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", ampliando los conocimientos impartidos a los estudiantes, por esta razón motiva que el proyecto sea necesario.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. General

Actualizar y automatizar la máquina de ensayos universales MTS TK / T 5002, para uso con fines académicos en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, utilizando sistemas mecánicos, de control y automatización de alta tecnología.

1.4.2. Específicos

- Automatizar la máquina de ensayos universales MTS TK / T 5002 para mejorar su funcionalidad y el manejo de la misma.
- Evaluar el estado actual de la máquina de ensayos universales MTS TK/ T 5002.

- Diseñar y seleccionar los elementos eléctricos y electrónicos necesarios para la adquisición de datos para la realización de ensayos de tracción y compresión.
- Implementar un interfaz humano máquina (HMI) que permita visualizar la información adquirida de en los ensayos.
- Desarrollar e implementar un sistema control con el cual se pueda gobernar todos los componentes requeridos para realizar los ensayos de tracción y compresión para la máquina de ensayos universales MTS TK / T 5002, tanto movimiento del actuador, movimiento de husillos, activación de lectura de sensores.
- Desarrollar e implementar una interface de usuario en la cual se pueda manejar de manera sencilla la máquina, controlar parámetros de activación, control de visualización del proceso y circunstancias que se dan a lo largo del mismo.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Uno de los objetivos principales que funcionan como un eje para la acreditación de la Universidad y de la Carrera; misma que es el producto de un proceso de evaluación riguroso que contempla el cumplimiento de lineamientos, estándares y criterios de calidad de alto nivel académico formativo de profesionales de elite, en todas las carreras, programas, e instituciones de forma obligatoria e independiente. Este proceso es definido por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior CEAACES, organismo responsable del aseguramiento de la calidad de la Educación Superior del Ecuador.

Con la actualización y automatización de la máquina en cuestión se obtendrá un equipo más para la formación de los futuros profesionales en los Laboratorios de Mecánica de Materiales del Departamento DECEM,

obteniendo así mejores resultados en los ensayos universales, y logrando rapidez en la obtención de conclusiones sobre los materiales, disminución de errores, la inmersión de nueva tecnología y lo más importante el enfoque educativo centrado en el alumno que considera la individualidad de los estudiantes en el proceso de aprendizaje y resultados.

La automatización es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar el proceso, dependiendo del proyecto puede ser parcial o total, y se puede ajustar a procesos manuales o semiautomáticos, hoy en día con tecnología actualizada se hace cada vez más indispensable ya que muchas veces los repuestos o reparaciones de algunas de estas máquinas pueden ser costosas debido a que están descontinuadas y las casas fabricantes ya no elaboran repuestos.

La realización de este proyecto de titulación está enfocada a fomentar una enseñanza más activa, participativa e individualizada, donde se impulse el método científico y el espíritu crítico, de este modo se favorece que el alumno: desarrolle habilidades, aprenda técnicas elementales y se familiarice con el manejo de instrumentos y aparatos. La realización de trabajos prácticos permite poner en crisis el pensamiento espontáneo del alumno, al aumentar la motivación y la comprensión respecto de los conceptos y procedimientos científicos.

La máquina de ensayos universales al no contar con un mantenimiento y sistema control adecuados, con el paso de los años, ha afectado su estabilidad mecánica la cual es fundamental a velocidades de carga lentas o en ensayos de larga duración para la obtención de datos precisos, esa así que

la máquina se ha descalibrado y no tiende a ser capaz de mantener la carga en sus valores especificados durante intervalos suficientemente largos.

La estructura mecánica de la máquina dificulta su mantenimiento ya que no es un diseño ergonómico como también requiere un excesivo espacio en el tablero de control. El uso frecuente de la máquina ha hecho que la velocidad de ensayo en control por recorrido no esté bien calibrada, por lo que no cuenta con una alta precisión y no está gobernada en forma digital.

Examinando los diferentes equipos existentes en el mercado internacional encontramos que una máquina con las mismas prestaciones (carga máxima aplicable) puede llegar a costar entre los ochenta mil a noventa mil dólares americanos, mientras que la actualización y automatización de la máquina de ensayos universales del laboratorio tendría un costo de aproximado de dos mil dólares americanos con lo que se convierte en la mejor opción considerando la relación costo beneficio.

El control y medida de los ensayos se efectúa con ordenador donde el operario realiza el control y lectura de fuerza, recorrido, deformación, etc. a través del ordenador, de forma digital, obteniendo así una precisión del control y medidas. Los datos generados con el programa de control podrán ser analizados de forma más detallada: curvas de datos en varios formatos, columnas numéricas, etc.; como también se realizará una gran facilidad de manejo al realizar los ensayos de compresión y tracción para así mejorar la calidad de formación de furos profesionales.

Este proyecto contribuiría a la tarea de la universidad a ser líder en la innovación académica y tecnológica, al estar siempre en constante mantenimiento y renovación de sus equipos de laboratorio de acuerdo con la tecnología utilizada a nivel internacional.

Cabe mencionar que este tipo de equipos lo poseen gran parte de las universidades del país, debido a que el estudio de este fenómeno físico-mecánico lo hacen de forma parcial, es decir no cuentan con todas las prestaciones (análisis de: graficas, desplazamientos, fuerzas, momentos).

1.6. ALCANCE DEL PROYECTO

El funcionamiento de la máquina de ensayos universales MTS TK / T5002 viene dado por dos husillos de sujeción una móvil y otro fijo, donde se colocan a las probetas a ensayar, al ser activada entra en funcionamiento el husillo móvil el cual es accionado por un motor y lo desplaza generando una fuerza de tensión o compresión según sea el caso del ensayo capaz de producir la falla en el material.

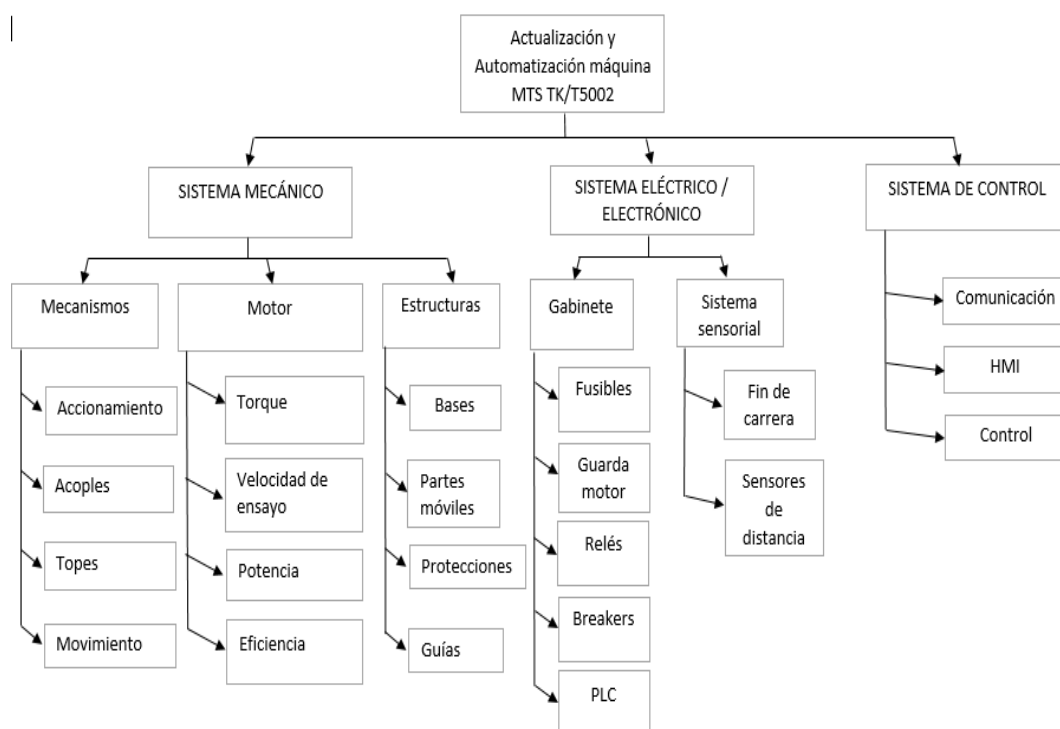


Figura 1 Cuadro de detalle y especificaciones a actualizar y automatizar.

1.6.1. Componentes mecánicos

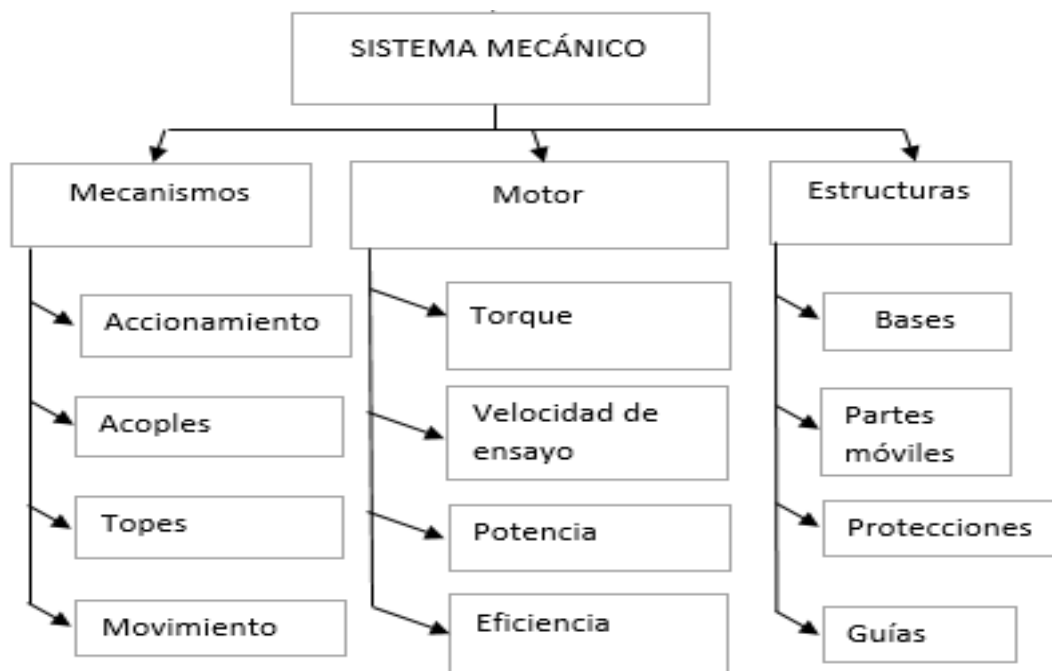


Figura 2 Cuadro de detalle y especificaciones de componentes mecánicos.

En la parte mecánica de la máquina de ensayos universales MTS TK / T5002 se ha dividido en tres secciones para su análisis, sea este funcional y no funcional, obteniéndose esto mediante observación y análisis comenzando por la estructura del sistema.

Se van a readecuar las partes mecánicas que se encuentren con algún problema de funcionamiento, si amerita el caso se las reemplazará; así mismo de los mecanismos donde se tiene que tener gran énfasis en acoples y accionamientos que eviten que la máquina se pueda trabar, además de esto se realizarán ensayos que permitan obtener un resultado global del

funcionamiento de la parte mecánica, siendo de principal importancia contar con una maquina compacta y eficiente.

Junto con esto se adicionará un gabinete eléctrico donde su estructura debe resistir tanto el equipo computacional, como los demás aditamentos propios de un gabinete; tomando en cuenta los siguientes aspectos que van a considerarse en el proyecto:

- Reacondicionamiento de estructura de la máquina
- Implementación de la estructura del gabinete eléctrico

1.6.2. Componentes electrónicos/eléctricos

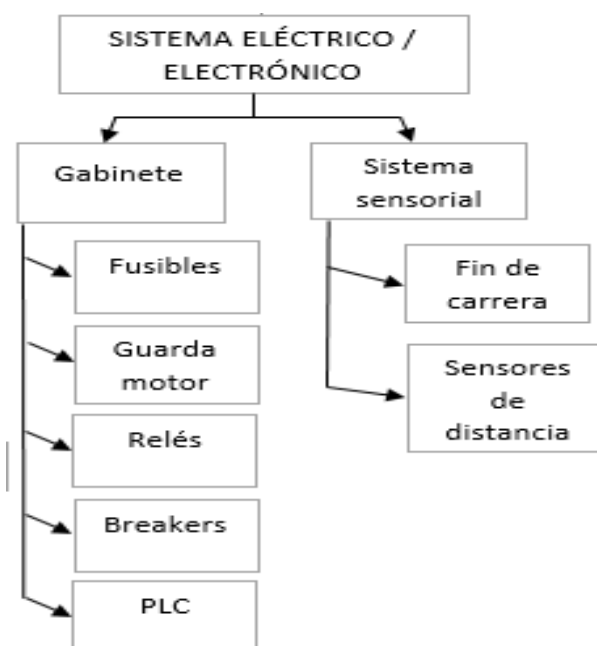


Figura 3 Cuadro de detalle y especificaciones del sistema eléctrico y electrónico.

En la parte eléctrica/electrónica se actualizarán las conexiones realizando un gabinete eléctrico que cuente con la marcación y ubicación adecuada, para todos los elementos, además en esta parte se procederá al análisis de los acondicionamientos de señal para verifica su funcionamiento, sistemas de alimentación tanto para el mecanismo de pruebas como para la parte de control y PC.

El sistema de la máquina utilizará sensores los cuales nos indicaran su estado actual y nos brindaran información de los parámetros que se utilizará en el ensayo, una de estas señales emitidas por uno de los sensores accionara el motor más luces piloto y sistemas de seguridad que se encontrarán a lo largo del sistema, tomando en cuenta los siguientes aspectos generales que van a considerarse en el diseño:

- Implementación del tablero de control.
- Diseño del circuito de fuerza y control.
- Implementación de sensores de medición (sensor de distancia, celda de carga).
- Implementación de sensores de control (fines de carrera).
- Visualización de la evaluación de resultados, datos y graficas de los ensayos.

1.6.3. Componentes del sistema de control

En la parte de sistema de control, se realizará un control más óptimo de la máquina tanto para el manejo como para el actuador del sistema, se añadirán seguridades que protejan la integridad tanto de la máquina como del personal que maneja la misma; además se tendrá una interface HMI amigable con el usuario que le permita acceder a datos en tiempo real de manera fácil y confiable.

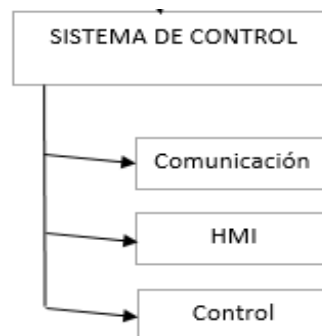


Figura 4 Cuadro de detalle y especificaciones del sistema de control.

Así obteniendo una máquina totalmente operativa con una interface que facilitará la toma de datos con un mayor grado de veracidad de los mismos, con una estructura en buen estado sistemas de seguridad que eviten cualquier contratiempo y que además sea un aporte para la formación de los futuros profesionales de la República del Ecuador.

1.6.4. Software para implementación, análisis y simulación.

- Software de diseño CAD/CAM
- Software para simulaciones eléctricas/electrónica
- Software de programación del controlador
- Software de entorno HMI.

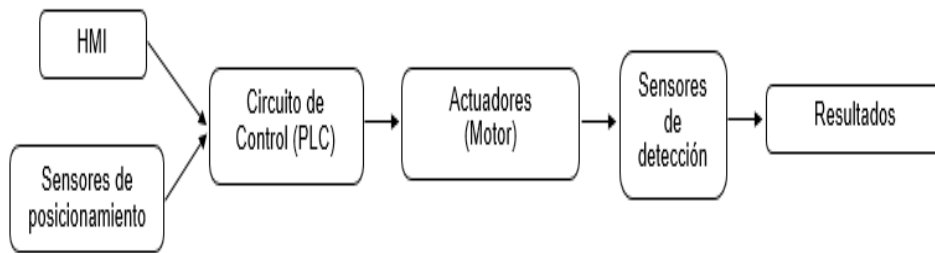


Figura 5 Diagrama de Flujo para la máquina MTS TK/T5002.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.

El estudio de los metales en ingeniería se basa en la capacidad del metal para satisfacer las necesidades de diseño y servicio.

La capacidad de un metal para satisfacer estos requerimientos es determinada por las propiedades mecánicas y físicas del metal. Se denomina ensayo de materiales a toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material (Wikipedia, Ensayo de materiales, 2015).

Los objetivos principales de un ensayo de materiales son (Ponce, s.f.):

- Determinar propiedades del material.
- Determinar leyes de comportamiento del material bajo distintas situaciones para diseño
- Poder seleccionar materiales.
- Modificar materiales en producción para cumplir propiedades deseadas.
- Controlar la calidad, verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas para el uso del material
- Desarrollar y producir nuevos materiales con distintas características mecánicas

2.1.1. Diagrama de esfuerzo-deformación.

En la (Figura 6), permite deducir sus puntos y zonas características de gran importancia, dicho gráfico se obtiene directamente de la máquina.

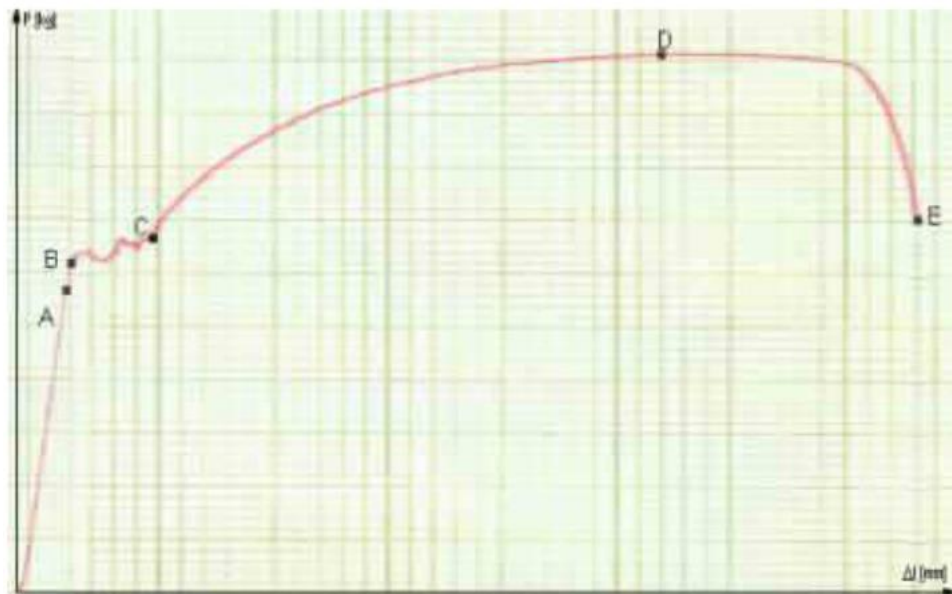


Figura 6 Diagrama Esfuerzo vs. Deformación de un acero dúctil.

Fuente: (Méndez & Méndez)

En la (Figura 6), donde el eje de las ordenadas corresponde a las cargas y el de las abscisas al de las deformaciones longitudinales o alargamientos en milímetros. Se determina las siguientes zonas (Méndez & Méndez).

➤ **Periodo elástico**

Comienza en el punto O hasta el A, y está representado por una recta que pone de manifiesto la proporcionalidad entre los alargamientos y las cargas que lo producen (Ley de Hooke). Dentro de este periodo y proporcionalmente hasta el punto A. (Méndez & Méndez)

➤ Zona de alargamiento pseudoelástico

Pequeño tramo ligeramente curvo AB, que puede confundirse prácticamente con la recta inicial, en el que los alargamientos elásticos se les suma una muy pequeña deformación que presenta registro no lineal en el diagrama de ensayo. (Méndez & Méndez)

➤ Zona de fluencia o escurrimiento

El punto B marca el inicio de oscilaciones o pequeños avances y retrocesos de la carga con relativa importante deformación permanente del material. El límite elástico aparente puede alcanzar valores de hasta el 10 al 15 % mayores que el límite final de fluencia. (Méndez & Méndez)

➤ Zona de alargamiento homogéneo en toda la probeta.

Más allá del punto final de fluencia C, las cargas vuelven a incrementarse y los alargamientos se hacen más notables, es decir que ingresa en el período de las grandes deformaciones, las que son uniformes en todas las probetas hasta llegar a D, por disminuir, en igual valor en toda la longitud del material, la dimensión lineal transversal. El final de período de alargamiento homogéneo queda determinado por la carga máxima, a partir de la cual la deformación se localiza en una determinada zona de la probeta, provocando un estrechamiento de las secciones que la llevan a la rotura, al período DE se lo denomina de estricción. (Méndez & Méndez)

➤ Zona de estricción

En el período de estricción, la acritud, si bien subsiste, no puede compensar la rápida disminución de algunas secciones transversales, produciéndose un descenso de la carga hasta la fractura. (Méndez & Méndez)

2.1.2. Probetas para ensayos.

➤ **Ensayo de tracción.**

La probeta de ensayo se obtiene generalmente por maquinado de una muestra del producto trabajado en frío o fundido. La sección transversal de las probetas puede ser circular, cuadrada, rectangular o en casos especiales de cualquier otra forma. (Askeland, 1998)

➤ **Probetas proporcionales**

Las probetas de ensayo cuya longitud inicial se relaciona con el área inicial de la sección transversal $L_0 = K\sqrt{A_0}$, son llamadas Probetas Proporcionales. (Askeland, 1998)

El valor adoptado internacionalmente para K es 5.65. La longitud calibrada inicial no puede ser menor a 20mm. Cuando el área transversal de la probeta es demasiado pequeña es necesario un valor de K más alto, de 11.3. (Askeland, 1998)

➤ **Probetas maquinadas**

Las probetas de ensayo maquinadas deben tener una curva de transición entre los agarres de las mordazas y la longitud paralela si estas son de diferentes dimensiones. Los extremos de agarre pueden ser de cualquier forma siempre y cuando se adapten a las mordazas de la máquina. La longitud libre de las mordazas siempre debe ser mayor que la longitud inicial calibrada. (Askeland, 1998)

➤ **Probetas no maquinadas**

Si la probeta es de una longitud no calibrada, la longitud libre entre las mordazas debe ser suficiente para que las marcas calibradas queden a una distancia razonable de las mordazas. (Askeland, 1998)

➤ **Marcación de la longitud inicial (L_0)**

Para probetas proporcionales, el valor de la longitud calibrada inicial puede aproximarse al múltiplo de 5mm más cercano, cuidando que la diferencia entre la longitud calibrada calculada y la marcada sea menor de 10% de L_0 . La longitud calibrada inicial se debe marcar con una precisión de $\pm 1\%$. La marcación es un aspecto fundamental, ya que al finalizar la prueba podremos medir la longitud final (L_f), y de esta forma calcular el % de elongación el cual es dependiente de las longitudes inicial y final. (Askeland, 1998)

➤ **Ensayo de compresión.**

Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. Sin embargo, la sección cuadrada o rectangular se usa frecuentemente y para piezas manufacturadas, tales como el azulejo, ordinariamente no resulta posible cortar probetas que se ajusten a ninguna forma en particular. (Carrillo, s.f.).

La selección de la relación entre la longitud y el diámetro de una probeta de compresión parece ser más o menos un compromiso entre varias condiciones indeseables. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no uniforme del esfuerzo sobre una sección recta. (Carrillo, s.f.).

Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 10 como un límite superior práctico. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de la restricción friccional en los extremos se torna sumamente importante; asimismo, para longitudes menores de aproximadamente 1.5 veces el

diámetro, los planos diagonales a 10 largo de los cuales la falla se verificaría en una probeta más larga intersectan la base, con el resultado de que la resistencia aparente se aumenta. Comúnmente se emplea una relación entre longitud y diámetro de 2 o más, aunque la relación entre altura y diámetro varíe para materiales diferentes. (Carrillo, s.f.).

El tamaño real depende del tipo de material, del tipo de mediciones a realizar, y del aparato de ensaye disponible. Para materiales homogéneos para los cuales se requiera solamente la resistencia última, pueden usarse probetas pequeñas. El tamaño de las probetas de materiales heterogéneos debe ajustarse al tamaño de las partículas componentes o agregados. (Carrillo, s.f.).

Los extremos a los cuales se aplica la carga deben ser planos y perpendiculares al eje de la probeta o, de hecho, convertidos así mediante el uso de cabeceo y dispositivos de montaje. (Carrillo, s.f.).

2.1.3. Propiedades típicas de los materiales para ensayo.

En un ensayo pueden determinarse diversas características de los materiales (Berrocal, 2007):

- Módulo de elasticidad o módulo de Young (E): que cuantifica la proporcionalidad entre la carga y el desplazamiento en la probeta.
- Coeficiente de Poisson (μ): que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad (σ_p): valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.

- Límite de fluencia o límite elástico aparente (σ_{ya}): valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia.
- Límite elástico (σ_y): (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.
- Carga de ruptura (σ_f): carga final a la cual la probeta se rompe.
- Resistencia última (σ_u): Es la carga máxima que puede resistir la probeta antes de que se produzca su estricción.
- Alargamiento de ruptura (δ_u): Incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- Deformación unitaria (v): Es la deformación que sufre la probeta dependiendo de la carga aplicada, y se identifica según la zona en que se encuentre, así, por ejemplo: v_y es la deformación unitaria de fluencia; v_u es la deformación unitaria última; v_f es la deformación unitaria de fractura.

2.1.4. Designación de la velocidad de prueba.

Para la realización del ensayo, se pretende designar la velocidad de desplazamiento en cada uno de los ensayos. Se designa esta velocidad en bajo las normas ASTM. Esta normativa ha sido desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM, de ahí la denominación) como estándares para la realización de ensayos de materiales estableciendo las condiciones y procedimientos más adecuados para la obtención de buenos resultados. Esta no es la única norma empleada para la realización de ensayos, existiendo otras muchas como por ejemplo las británicas (British Standards) y francesas.

La velocidad con la que la mordaza móvil va a trabajar depende del tipo de material al que se desea realizar el ensayo, para este caso se ha tomado en cuenta como ejemplo la designación de la velocidad de prueba de un polímero bajo la Norma ASTM D638.

La velocidad de la prueba será la relación de movimiento de la mordaza y la rapidez con la cual se ensayarán las probetas durante la prueba. La velocidad se debe elegir dependiendo del tipo de material y el tipo de probeta como se muestra en la Figura 7. (Botero & Claros, 2007)

Clasificación	tipo	velocidad <i>mm/min (in/min)</i>	Tensión nominal inicial <i>mm/mm</i> <i>min</i>
Rígidos y semirrígidos	I, II, III	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5) ± 25 %	10
No rígidos	III	50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

Figura 7 Tabla de velocidades de prueba bajo la Norma ASTM D638.

Fuente: (Botero & Claros, 2007)

La norma recomienda seleccionar la velocidad más baja que produzca ruptura entre 0.5 y 5 minutos usando la geometría de la probeta.

2.1.5. Posibles fallas en la prueba.

Se muestran las posibles causas por las cuales la prueba podría presentar irregularidades y además originaria una deficiente interpretación de los datos

obtenidos por lo cual no se le proporcionará al material una adecuada caracterización. (Botero & Claros, 2007)

- Superficie defectuosa con rasguños, marcas, etc.
- Las marcas en las probetas deben ser de crayón o tinta pues si se marcan profundamente puede afectar la resistencia del material.
- Atmósfera y humedad relativa no apropiadas.
- Errores de calibración.
- Mala elección de velocidad.
- Discontinuidad de la aplicación de la fuerza.
- Inadecuada sujeción de las probetas.

2.1.6. Unidades.

En la siguiente tabla tenemos los principales parámetros que se utiliza en los ensayos mecánicos. Ver Tabla 1.

Tabla 1

Nomenclatura utilizada en los ensayos mecánicos.

A	Resistencia del transductor de posición.
Δu	Deformación a la ruptura.
Δy	Deformación a la fluencia.
V	Deformación unitaria.
V_f	Deformación unitaria de fractura.
V_u	Deformación unitaria última.



v_y	Deformación unitaria de fluencia.
Θ	Cambio de pendiente entre dos secciones transversales.
μ	Coefficiente de Poisson.
P	Radio de curvatura de la superficie neutra.
Σ	Esfuerzo.
σ_f	Esfuerzo de rotura.
σ_p	Esfuerzo al límite de proporcionalidad.
σ_u	Esfuerzo de resistencia última.
$\sigma_{\text{von-Mises}}$	Esfuerzo de von Mises.
σ_y	Esfuerzo de fluencia.
σ_{ya}	Límite de fluencia o límite elástico aparente.
σ_{yc}	Esfuerzo de fluencia al cortante.
N	Relación de Poisson,
A	Ancho de la probeta.
B	Altura de la probeta.
C	Distancia entre apoyos.
\emptyset	Diámetro.
$\emptyset_{\text{rodillos}}$	Diámetro de los rodillos.
E	Módulo de elasticidad o módulo de Young.

F	Fuerza.
Fu	Fuerza de ruptura.
Fy	Fuerza de fluencia.
HBN	Número de dureza Brinell.
I	Inercia de la probeta.
Kgf	Kilogramos-fuerza.
KSI	Kilo-libras sobre pulgada cuadrada.
Lb	Libras.
MPa	Mega Pascales.
My	Momento flector de fluencia.
mm	Milímetros.
Y	Distancia desde el plano neutro a un punto de la muestra.
Ymax	Deflexión máxima a la fluencia.

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

2.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS.

Es una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales (Wikipedia, Máquina Universal, 2013).

2.2.1. Clasificación.

Según su estructura

➤ Mono espacio.

Como se observa en la Figura (25) esta máquina posee dos puentes (1) y dos columnas (2) que los comunican. En los dos puentes se pueden ensamblar los aditamentos que se necesitan para fijar el material de ensayo (3) y así poder realizar las pruebas de tracción o compresión. (Botero & Claros, 2007)

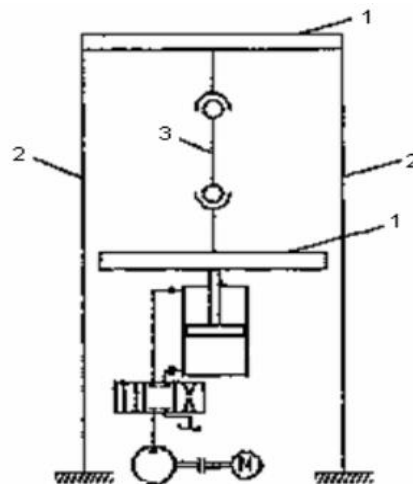


Figura 8 Máquina Universal Mono-espacio

Fuente: (Botero & Claros, 2007)

➤ Doble espacio.

En la Figura (26) esta estructura posee un sistema inversor (3) y un sistema fijo (2) que forman una estructura de tres puentes y cuatro columnas. El inversor tiene dos puentes (1) y dos columnas (3), las columnas del inversor son totalmente independientes del otro sistema. El sistema fijo se compone

de un puente y dos columnas (2) que van fijadas a una carcasa (5) que soporta todo el armazón. (Botero & Claros, 2007)

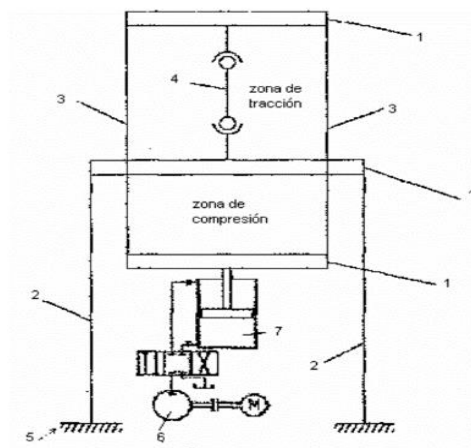


Figura 9 Máquina Universal doble-espacio

Fuente: (Botero & Claros, 2007)

Según el accionamiento

➤ **Accionamiento hidráulico.**

Este accionamiento se puede observar en la Figura (26) donde la fuerza se aplica por medio de un sistema de bomba (6) y cilindro (7). (Botero & Claros, 2007)

➤ **Accionamiento mecánico:**

Este accionamiento se puede observar en la Figura (27) donde los dispositivos pueden ser de motor (1), tornillo (2), cadena (3), palanca (4), probeta (5), mordaza superior (6) y mordaza inferior (7). (Botero & Claros, 2007)

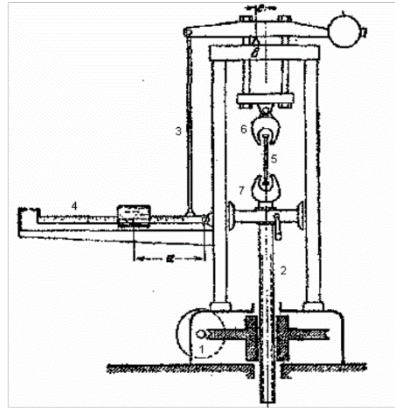


Figura 10 Accionamiento mecánico

Fuente: (Botero & Claros, 2007)

Para este proyecto tenemos una Máquina Universal de Ensayos con accionamiento mecánico y de estructura mono espacio, pues este diseño es más elemental y no ocupará mucho espacio dentro del laboratorio, además las ventajas económicas.

2.2.2. Partes de la maquina universal de ensayos.

➤ **Mordaza fija (inferior).**

Un miembro fijo o esencialmente inmóvil es aquel que lleva una mordaza ubicado en la parte superior de la máquina. (Botero & Claros, 2007)

➤ **Mordaza móvil (superior).**

Un miembro móvil es aquel que lleva una segunda mordaza ubicado en la parte inferior de la máquina, el cual va a tener un desplazamiento vertical hacia abajo. (Botero & Claros, 2007)

➤ **Mecanismo de arrastre.**

Le da movimiento y velocidad constante a la mordaza móvil con respecto a la mordaza fija, y consta de un motor, el sistema reductor de velocidad corona sinfín y tornillo de potencia. |

➤ **Probetas.**

Es el espécimen al cual se le va a medir la resistencia a la tracción.

2.3. MÉTODOS DE ENSAYOS.

2.3.1. Ensayo de tracción.

Un material se encuentra sometido a tracción cuando sobre sus secciones transversales se le aplican cargas normales uniformemente repartidas y de modo de tender a provocar su alargamiento. (Botero & Claros, 2007)

El ensayo de tracción estática es el que mejor determina las propiedades mecánicas de los metales, es decir aquella que definen sus características de resistencia y deformabilidad. Permite obtener, bajo un estado simple de tensión, el límite de elasticidad o el que lo reemplace prácticamente, la carga máxima y la consiguiente resistencia estática, en base a cuyos valores se fijan los de las tensiones admisibles y mediante el empleo de medios empíricos se puede conocer, el comportamiento del material sometidos a otro tipo de sollicitaciones.

Cuando la probeta se encuentra bajo un esfuerzo estático de tracción simple a medida que aumenta la carga, se estudia esta en relación con las deformaciones que produce (Callister W.).

2.3.2. Ensayo de compresión.

El ensayo de compresión se usa para referirse a ensayos en los cuales una probeta preparada es sometida a una carga mono axial gradualmente creciente (estática) hasta que ocurre la falla. Este se logra sometiendo una pieza de material a una carga en los extremos que produce una acción aplastante. (Elmer, 1982):

Con excepción de algunas piezas de ensayo arbitrariamente formadas, las probetas son cilíndricas o prismáticas en su forma y de sección transversal constante a lo largo del tramo dentro del cual las mediciones se toman. Las probetas en compresión quedan limitadas a una longitud tal que el flambéo debido a la acción columnar no constituya un factor. (Elmer, 1982):

Se hace un intento para obtener una distribución uniforme del esfuerzo directo sobre secciones críticas normales a la dirección de la carga. El logro de estas condiciones ideales está limitado por la forma y su fidelidad de la pieza de ensayo, por la efectividad de los dispositivos de sujeción y apoyo, y por la acción de la máquina de ensaye. (Elmer, 1982):

Aunque, por lo que respecta al sentido y a la dirección del esfuerzo, la compresión es meramente lo contrario de la tensión, existen varios factores que toman el ensayo de tensión, o compresión más deseable en un caso específico. Los más importantes de estos factores son los siguientes (Elmer, 1982):

- La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.
- El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga tensiva. Existe siempre una tendencia al establecimiento de

esfuerzos flexionantes ya que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue.

- La fricción entre los puentes de la máquina de ensayo o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de ésta. Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente.
- Las áreas seccionales, relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y, por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada.



Figura 11 Ensayo de compresión del hormigón

Fuente: (Diario de la Construcción, 2015)

2.3.3. Desarrollo de las pruebas.

Se propone el siguiente procedimiento, similar a los procesos que se realizan en los laboratorios de resistencia de materiales en cuanto a montaje de la probeta y toma de datos (Botero & Claros, 2007):

- Medir el ancho y el espesor de la probeta.
- Verificar la sujeción de las mordazas para prevenir el resbalamiento.
- Fijar la velocidad y encender la máquina.
- La atmósfera del laboratorio debe estar aproximadamente a 23 ± 2 °C y 50 ± 5 % de humedad relativa, en caso de que no se cumplan las condiciones las tolerancias serán ± 1 °C (1.8 °F) y la humedad relativa de ± 2 %.
- Registrar la carga y la deformación en cada punto como sea posible y además tener en cuenta la carga y la deformación en el punto de ruptura.
- Suspender el desplazamiento de la máquina para evitar la toma errónea de datos.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LA MAQUINA

3.1. BENCHMARKING AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSALES MTS TK/T5002.

Identificando las características de interés entre maquinas existentes y la máquina que nosotros deseamos obtener después de la actualización y automatización tenemos:

- Sensorización
- Sistema de control
- Control de ensayos
- Sistema de acoplamiento de la probeta
- Alimentación
- Potencia máxima
- Variables de control

Tabla 2

Comparación de características de interés entre la máquina MTS TK/T5002.

	MTS TK / T5002	MEM-101	DIGIMESS MX 5000	EM1 FR
SENSORIZACIÓN	Celda de carga y sensor de distancia no acoplados.	Celda de carga y sensor de distancia	Celda de carga	Transductor típico

SISTEMA DE CONTROL	Ninguno	Tarjeta de control	Servo control lazo cerrado	EM 1/ 50 FR
SISTEMA DE ACOPLAMIENTO DE LA PROBETA	Manual	Manual	Manual	Manual
ALIMENTACIÓN	440V	220 V	220 V	440 V
VARIABLES DE CONTROL	Ninguna	Fuerza y desplazamiento	Fuerza y desplazamiento	Fuerza

Mediante una investigación se pudo encontrar algunas máquinas similares que en la actualidad están a la vanguardia de los ensayos universales, partiendo de esto se identifican los indicadores de interés; como primer indicador tenemos la sensorización de la máquina, lo cual la máquina MTS TK/ T5002 necesita de un buen funcionamiento aparte de aquello solo consta con una celda de carga adicionada.

El segundo indicador es el control aquí se ve que la máquina a actualizar y automatizar carece totalmente de control que nos permita obtener resultados digitales, la máquina actualmente tiene un sistema de gráficas netamente mecánico que se encuentra en pésimas condiciones obteniéndose gráficas solo referenciales que no dan un resultado verdadero del ensayo. El tercer indicador sería la alimentación ya que la máquina en si necesita de 440V que fue ya modificada para la activación del motor mas no para un control apropiado de acuerdo con esto se necesitara realizar una evaluación para constatar su estado de funcionamiento y rendimiento.

Siendo esto un análisis con respecto a las variables más sobresalientes con respecto a otras máquinas de la misma índole se obtiene las necesidades de la máquina para la justificación de este proyecto asimismo se procede con un análisis de causa y efecto:

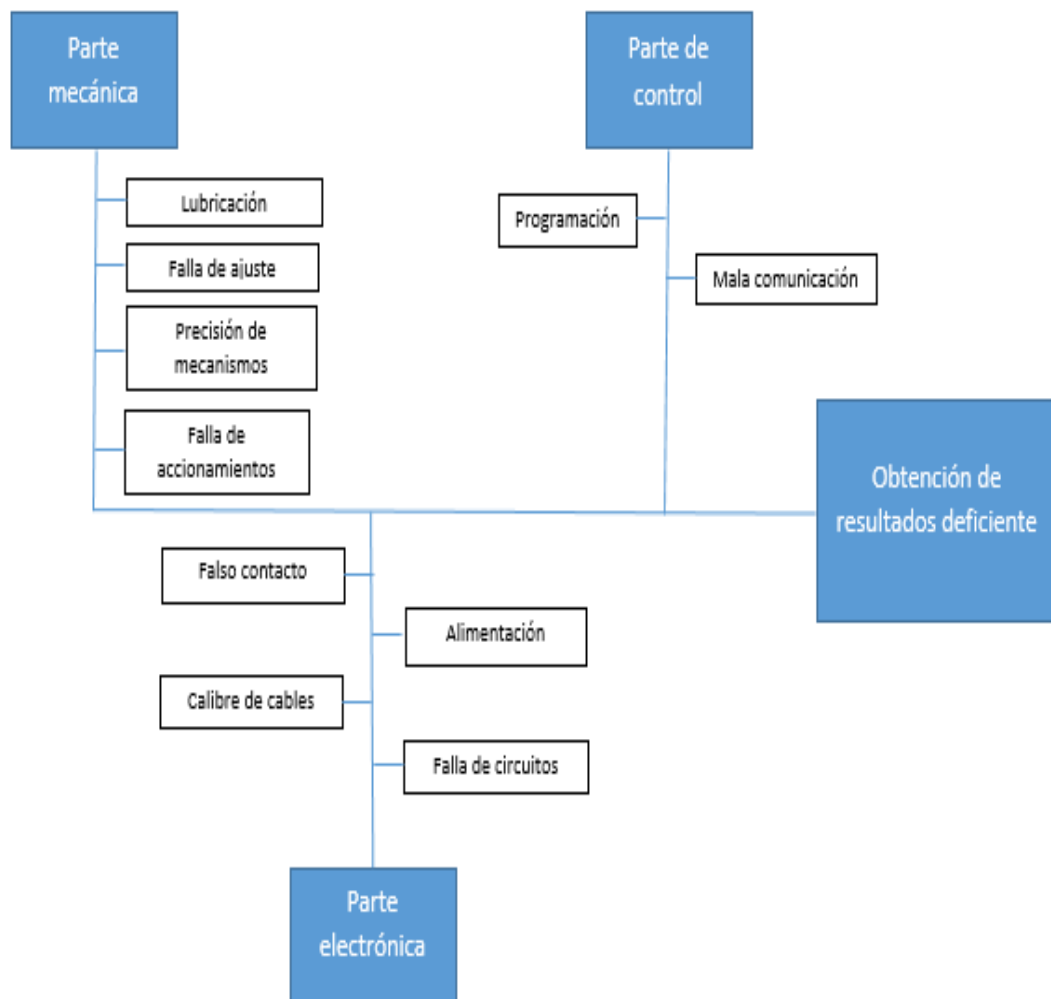


Figura 12 Diagrama causa-efecto de análisis de la máquina de ensayos universales.

Tabla 3
Comparación de resoluciones deseadas para la máquina MTS TK / T5002.

	<u>MTS TK / T5002</u>	MEM-101	DIGIMESS MX 5000	EM1 FR
Resolución de fuerza	<u>0,005 KN</u>	0,001 KN	0,0005 KN	0,001 KN
Resolución de posición	<u>1 cm</u>	0,001 mm	< +/- 0,02 mm	0,001 mm

Como podemos observar tenemos en el mercado máquinas con grandes resoluciones para resultados más precisos y verídicos, hay que tener en cuenta que las mismas tienen sistemas de control muy sofisticados y además su conjunto son de muy alto valor ingenieril, con sensores especializados, algunos de ellos diseñados por la propia empresa para dicha aplicación; ahora al conocer aquello y tomando en cuenta las dificultades de trabajar sobre una máquina ya hecha a la que se le va a actualizar y automatizar nos implantamos alcanzar un 90% de los valores referenciados de las máquinas existentes en el mercado, teniendo como propósito llegar a una resolución de fuerza de 1 N y una resolución de posición de 0,01 mm para la maquina MTS TK / T5002.

3.2. FUNCIONAMIENTO MECÁNICO

El equipo de ensayos universales MTS TK/T5002, es una máquina con un mecanismo de engrane y tornillo impulsado por un motor acciona el puente móvil, el cual transmite la carga a través de la probeta directamente a la mesa o al puente fijo y luego indirectamente a la mesa de trabajo.

Los requerimientos generales para un buen funcionamiento mecánico de las máquinas que se tomó en cuenta en este proyecto son:

- La precisión con la que la máquina está trabajando, bajo los requerimientos que debe obtenerse en todo el rango de carga.
- La máquina debe ser sensible a los cambios ligeros de carga.
- El mecanismo de arrastre debe estar correctamente alineado.
- Los puentes móviles no deben oscilar, torcerse o moverse lateralmente.
- La fuerza que genera la máquina en la carga debe ser uniforme, controlable y capaz de un considerable rango de velocidades.
- No debe hallarse vibraciones excesivas en todo el mecanismo.
- Debe ser apta a la manipulación y al ajuste fáciles y rápidos y debe permitir el fácil acceso a las probetas.

3.2.1. Clasificación.

Los componentes mecánicos de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, son:

- Parte estructural
- Mordaza fija y móvil
- Dos tornillos sin fin
- Una barra guía con fines de carrera,
- Poleas,
- Bandas,
- Acoples,
- Una flecha
- Dos motores.

3.2.1.1. Mecanismos.

➤ Barra guía.

Este mecanismo es el que brinda rigidez al sistema de desplazamiento de la mordaza móvil durante los ensayos, el cual se encontró en perfectas condiciones.

➤ Tornillo sin fin.

Los dos tornillos sin fin generan un desplazamiento de cabezal móvil, obteniendo un control mecánico de la velocidad y distancia máxima de carrera de la mordaza móvil, evitando posibles golpes o rupturas en sus partes o en la probeta. Ver Tabla 4

Tabla 4
Características del tornillo sin fin.

Símbolo	Unidades
d	13.9 mm.
dp	15.208 mm.
de	18.9 mm.
ns	3
LR	28.3mm
FR	10 mm
P	5.4 mm

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

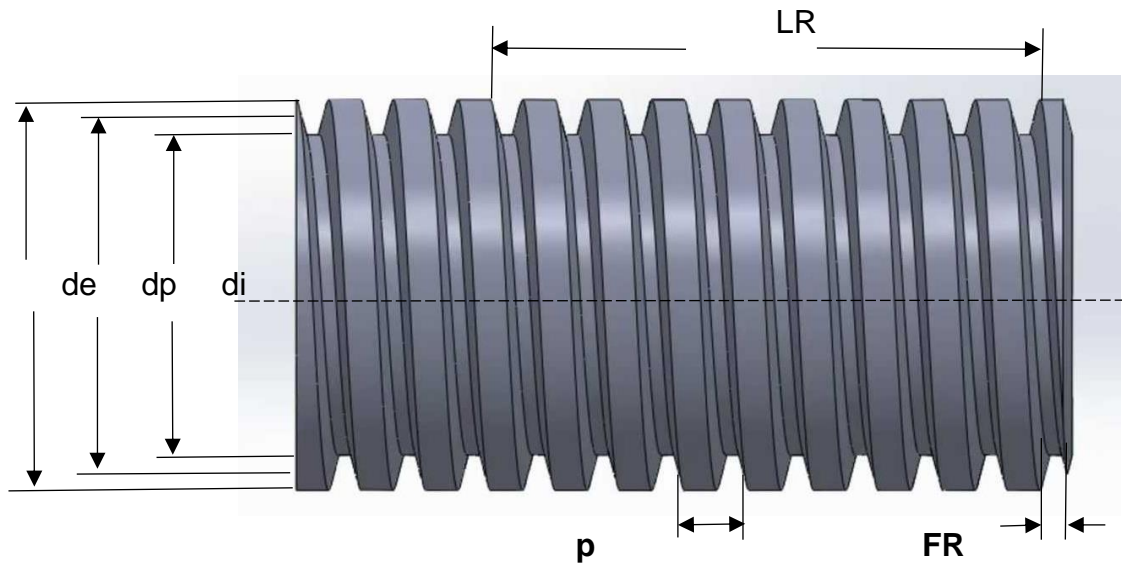


Figura 13 Características del tornillo sin fin

➤ **Poleas y Bandas.**

Para el sistema de transferencia de movimiento y reducción de velocidad que tiene la máquina de ensayos universales, se le realizó pruebas de eficiencia de transmisión de movimiento y velocidad de trabajo, con las que se justificó que el sistema mecánico funciona de acuerdo con los parámetros establecidos en la máquina.

Tabla 5

Característica de las poleas.

Propiedad	Poleas
Radio	$r_1 = 30 \text{ mm}$ $r_2 = 30 \text{ mm}$ $r_3 = 60 \text{ mm}$

Distancia	L1= 25.5 cm.
	L2= 13.96 cm.

Tabla 6
Datos de las bandas

Banda A	Código 200XL037
Banda B	Código 260XL037

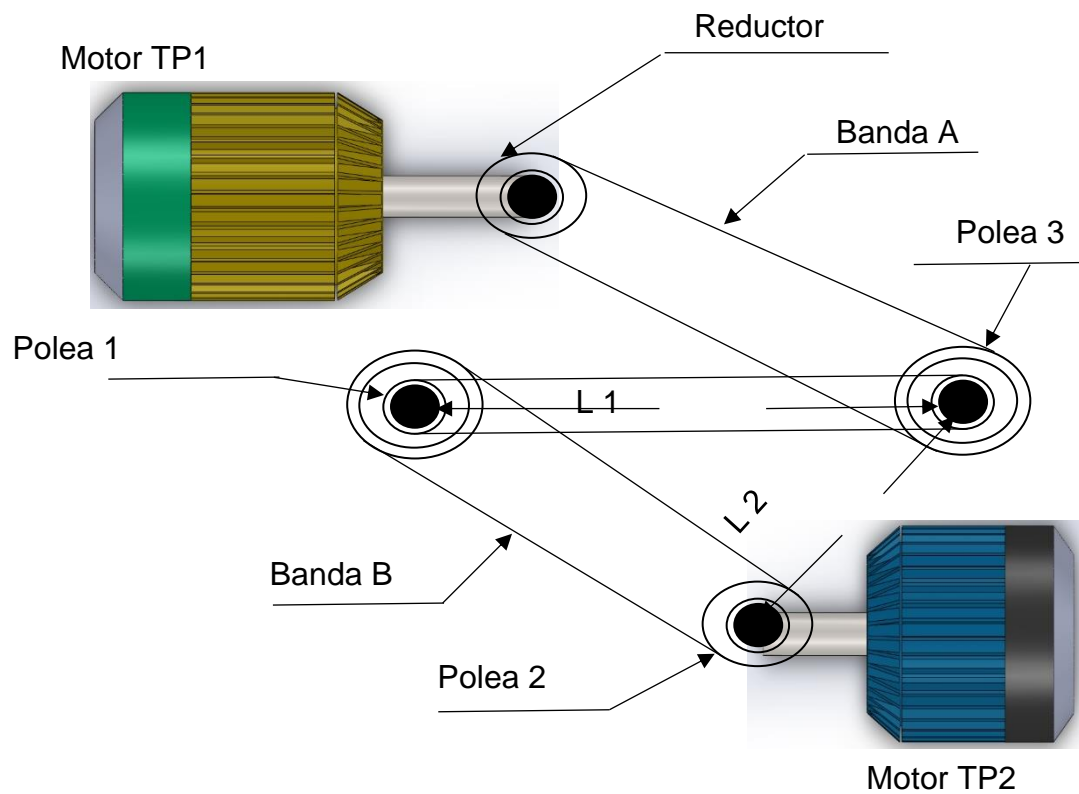


Figura 14 Sistema mecánico de bandas y poleas de la máquina ensayos universales.

➤ Acoples

La transmisión de velocidad y torque de la máquina se halló que está controlada por el acople de la serie L-070, el cual se encuentra entre el motor 1LA7 SIEMENS y la flecha de transmisión, durante los ensayos se observó una correcta transmisión de potencia de acuerdo a su velocidad permitiendo soportar los arranques constantes.

Tabla 7

Especificaciones de acoples.

Tipo de acople	d máx.	A	B	C	D	Material	Peso kg.
L-070	19	34.5	50.8	12.2	19.0	Acero inoxidable	0.27

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

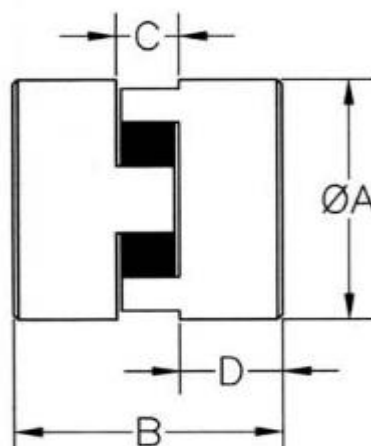


Figura 15 Característica del Acople L-070

3.2.1.2. Motor.

Los motores que utiliza la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, son:

- Un motor eléctrico trifásico de doble sentido de giro, de la marca SIEMENS (1LA7 SIEMENS). Este permite el movimiento del cabezal móvil, a través de un sistema de poleas, bandas y tornillo sin fin corona.

Los parámetros de trabajo según sus especificaciones es la IM-B3.

Tabla 8
Especificaciones del Motor TP1

Parámetros de Motor	Valores
Tipo	3 Motor/LA7 070-2VA 60
Frecuencia.	60 Hz.
Voltaje de trabajo.	220 YY a 440 YV
Corriente.	2.4 – 1.2 A
Forma de construcción.	IM-B3
Velocidad nominal.	3430 RPM
Factor de servicio.	1.15 Servicio S1



Factor de potencia.	0.79
Clase de aislamiento.	F
Protección	IP55
Peso	6.0 kg
Potencia	0.75 HP (0.56 kW.)
Norma de construcción.	IEC 34

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

- Un motor TP2, el cual no contiene elementos internos como son: el estator, rotor, carbones y rodamientos, dejando este motor solo la carcasa, la cual es atravesada por una flecha que permite transmitir el movimiento y torque desde el motor 1LA7 Siemens, para luego mediante un reductor tornillo sin fin-corona que está localizado al final de la flecha, permita la utilización de un sistema de transmisión formado por 4 poleas y 3 bandas dentadas.
- Los dos motores se encuentran acoplados mediante un matrimonio.
- La relación de transmisión es de 10:1 entre el motor y el tornillo sin fin, este se mueve de acuerdo a la velocidad de rotación de 400 RPM.

3.2.1.3. Estructuras.

La base donde se alojan los motores, la flecha de transmisión, transformador, relé, y una estructura que soporta los tornillos sin fin en una posición seleccionada y da lugar a los elementos eléctricos y de control.

3.2.2. Partes de la maquina universal de ensayos

En el análisis del estado y funcionamiento mecánico de la máquina, se pudo verificar un correcto desempeño, pues se realizaron ensayos de compresión y tracción donde se procedió a examinar cada elemento mecánico. Los elementos mecánicos de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, fueron sometidos a pruebas de estado y funcionamiento de cada uno, para ello se elaboró una tabla de verificación e inspección de estos, ver Tabla 8. Así pues, los componentes mecánicos analizados se encuentran en correctas condiciones de trabajo, ya que se observó, una buena sensibilidad a los cambios ligeros de carga, correcta alineación del sistema mecánico, no existe oscilaciones ni vibraciones excesivas en el mecanismo y una fuerza uniforme que genera la maquina en la carga siendo esta controlable.

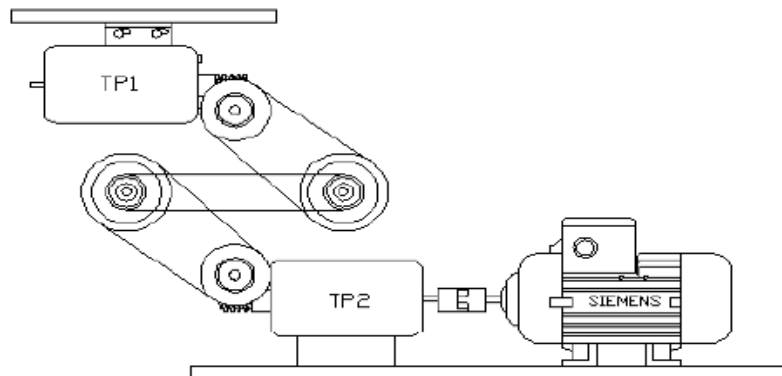


Figura 16 Sistema Mecánico de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

Se comprobó que la exactitud y funcionamiento con la que el mecanismo se encontró trabajando en las diferentes pruebas, generó errores menores al 2% en donde los elementos mecánicos pueden influir en estos ensayos, se encontraron en buen estado y operando correctamente debido a que ha existido un buen mantenimiento, por lo que se ha determinado que dichos errores se deben a otros factores de la máquina que no son mecánicos.

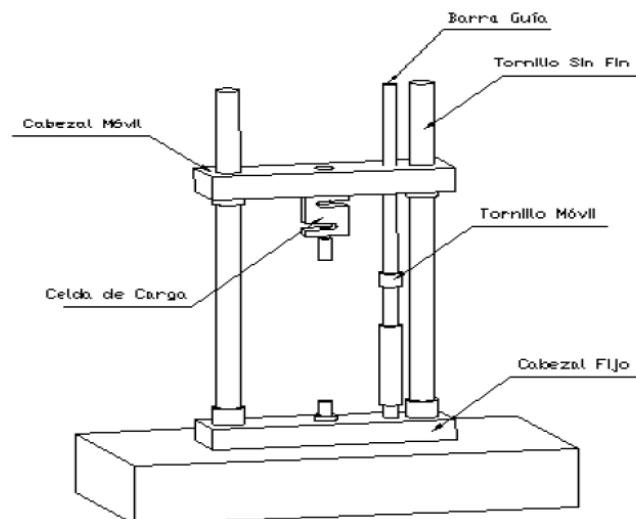


Figura 17 Componentes mecánicos de la máquina.

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

Tabla 9

Verificación e inspección de los elementos mecánicos.

Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Mordaza Fija	Nivel		X		No muestra desnivel.
	Oxidación		X		No se observa oxidación.
	Desgaste Mecánico		X		Presenta un ligero deterioro producido por el uso, pero no afecta en su funcionamiento.
	Voltaje de Trabajo	X			Se realizó pruebas de funcionamiento del motor y se verificó que los voltajes de trabajo son de 220 YY y 440 YV



Motor 1LA7	Velocidad y frecuencia	X			Velocidad nominal de 3430 RPM, comprobando así una frecuencia de 60 Hz, lo cual nos indicó un correcto funcionamiento.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Motor 1LA7	Potencia	X			Excelente funcionamiento del motor donde se verificó una potencia de 0.75 HP.
Mordaza Móvil	Holgura		X		Existe un ligero juego, debido a su tiempo de trabajo.
	Nivel	X			No muestra desnivel.
	Oxidación	X			No se observa oxidación.

	Desgaste Mecánico		X		Presenta un ligero deterioro producido por el uso, pero no afecta en su funcionamiento.
Tornillos sin fin	Desgaste Mecánico		X		No se observa desgaste importante.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Tornillos sin fin	Lubricación	X			Se encontró muy bien lubricada debido a un buen mantenimiento
	Acople		X		El acople con la corona, presenta un rango aceptable en la transmisión de movimiento y torque.



Barra Guía	Desgaste Mecánico	X			No presenta deterioro.
Poleas	Alineación	X			Le mecanismos de poleas se encuentra alineado correctamente.
	Desgaste Mecánico		X		No se observa desgaste alguno.
	Acople	X			Presenta un excelente acople entre poleas.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Corona	Lubricación	X			Excelente mantenimiento.
	Desgaste Mecánico		X		No se observa desgaste.



	Acople	X			El ensamble con el tornillo sin fin presenta una aceptable transición de torque y movimiento.
Flecha	Corrosión.	X			No presenta.
Acoples	Alineación	X			No se observa excentricidad en todos los acoples.
Estructura	Oxidación	X			No presenta, se observa un buen mantenimiento por parte del laboratorio.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Estructura	Vibraciones		X		Ligeras vibraciones, que no afectan al funcionamiento mecánico.
Bandas	Deslizamiento	X			No presenta deslizamiento.



	Desgaste Mecánico	X			No se observa deterioro en el material.
	Tensión		X		La tensión de las bandas está en excelente condición.

3.3. FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

Los elementos eléctricos y electrónicos que se procedió a verificar su funcionamiento de la máquina son:

- Panel de control, el cual tiene actuadores mecánicos, luces, medidores de voltaje, selectores.
- Sensor de desplazamiento.
- Celda de carga.
- Fines de carrera.
- Tarjeta de acondicionamiento.
- Módulo de expansión de entradas analógicas EM 231.
- PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé.
- Variador de frecuencia
- Cables de transmisión de señales.

Se realizó un control de desempeño y eficiencia para los distintos ensayos, comprobando que cada elemento eléctrico y electrónico trabaje adecuadamente.

3.3.1. Ensayo de tracción.

Durante la realización de la prueba de tracción, se tomó algunos criterios de inspección para determinar la condición en la que se halló operando la máquina de ensayos universales, su funcionamiento y estado de cada elemento eléctrico y electrónico de la máquina depende para determinar aspectos importantes de la resistencia y alargamiento de materiales, que logran servir para el control de calidad, las especificaciones de los materiales y el cálculo de piezas sometidas a esfuerzos. Para ello se elaboró una tabla de verificación e inspección de todos los elementos eléctricos y electrónicos. Ver Tabla 10.

Tabla 10

Verificación de los elementos eléctricos y electrónicos en el ensayo de tracción.

Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Sensor de desplazamiento	Rango de Voltaje			X	Durante el ensayo de tracción se comprobó que el voltaje a la entrada y salida del transductor de posición, del sensor de desplazamiento implementado, no operó en los rangos de voltaje de trabajo de este, siendo estos entre 0 y 5 VDC tanto a la entrada como a la salida.
	Rango de distancia			X	Los rangos de distancia que entregó a la salida del sensor cuando el cabezal móvil trabajó a tracción, son datos basura.
	Desgaste			X	Presentó un desgaste considerable en la placa, debido a las condiciones ambientales donde se encontró dicho sensor.

	Lectura panel			X	Cuando trabajó a tracción fue una lectura errónea, ya que entregó un voltaje el cual no hace referencia con la distancia.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Sensor de desplazamiento	Función			X	Se localizó el sensor en la parte interior de la estructura de la máquina. La información que nos entregó este sensor es inexacta, por lo que se ha considerado un elemento que no funciona cuando la máquina opera a tracción.
	Rango de Voltaje	X			Los voltajes que entregó a salida de la celda de carga tipo S en la realización de la práctica, fueron los correctos, por lo que se observó rangos exactos en el ensayo tracción.



Celda de carga	Rango de Fuerza		X		Los rangos de fuerza en tracción que proporciona el fabricante (Quantrol) de acuerdo a la carga máxima de la máquina de 500 kgf., muestra una desviación de ± 1.25 kgf.
	Desgaste		X		Existe desgaste en los cables de transmisión de señales de la placa de amplificación del dispositivo AFTI, debido al uso y el tiempo de trabajo de la celda, lo cual genera ruido en la lectura de voltaje.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
	Lectura panel	X			Las pruebas de fuerza en tracción que se ejerció a la celda de carga, permitió comprobar un excelente funcionamiento en la lectura del dispositivo Quantrol.



Celda de carga	Función	X			El manejo y funcionalidad del equipo Quantrol se encuentra en buenas condiciones, promocionando lecturas de fuerza en tracción confiables.
Fines de carrera.	Función	X			Se encontró operando dos fines de carrera, los cuales se encuentran empernados en la estructura de la máquina que se activan mediante el contacto con el cabezal móvil, un fin de carrera se encuentra en la parte inferior de la barra guía y el otro en la parte superior. En el ensayo de tracción se comprobó que no realizaron ninguna función durante la prueba.
	Desgaste		X		No se observó deterioro en sus elementos.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	



Tarjeta de acondicionamiento.	Amplificación		X		Se comprobó todas las señales externas que ingresaron a esta tarjeta, donde se presume que dicha amplificación sirvió para poder adaptar al módulo de expansión y PLC. Se localizó conectados a dicha tarjeta, el sensor de desplazamiento, fines de carrera y señales externas del tablero del control conectadas en esta etapa.
	Función			X	Los rangos de entrada y salida de voltaje de cada señal de los sensores emitidos durante el ensayo de tracción, fueron medidos en la tarjeta de amplificación, donde se observó que no se encuentran acondicionados correctamente, se puede asumir un mal funcionamiento de algún elemento de dicha placa o un mal diseño de acondicionamiento y amplificación. Los valores de voltaje en los que se halló operando el PLC y el módulo de expansión no son adecuados y otros no existen.
	Desgaste			X	Se localizó algunos elementos en mal estado, debido a las condiciones ambientales en las cuales se halló sometida la placa por mucho tiempo.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento		Observaciones	



		Bueno	Medio	Malo	
Módulo de expansión	Señales de Voltaje			X	Las señales de voltaje que se verificó en el módulo de expansión de los diferentes sensores, no se encontraron operando en el rango de trabajo de dicho módulo, así los datos que se entregó al PLC a través del bus de datos no son fueron utilizados ni manipulados en la lógica de programación de la máquina durante el ensayo de tracción.
	Elementos acoplados		X		Los elementos que maneja este módulo a través de la tarjeta de acondicionamiento, el sensor de desplazamiento, la celda de carga, fines de carrera y potenciómetro.
	Desgaste	X			El módulo de expansión EM 231, no presentó ningún deterioro, encontrándose en perfecto estado y funcionalidad.
	Función	X			El módulo de expansión a pesar de no recibir una señal de voltaje adecuada para realizar un eficiente funcionamiento durante el ensayo de tracción realizado, este si se encuentra operando en forma correcta ya que se realizó diferentes pruebas para comprobar su funcionalidad.



Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé.	Señales de Voltaje		X		Las señales de voltaje I/O del PLC, se presumió que fueron utilizadas para algunas funciones en el ensayo de tracción que presentó el panel de control y sensores externos. Algunas de estas encontraron en un rango de voltaje de trabajo adecuado y otras no.
	Elementos		X		Se encontró que operó luces indicadoras del panel de control, las cuales mostraron el estado que se encontraba la máquina, se halló pulsadores y selectores los cuales se asumió que controlaban algunas funciones de dicha máquina durante el ensayo de tracción, así como también sensores externos los cuales no se hallaron operando de forma correcta.
	Desgaste	X			El PLC se encuentra en buen estado, no se observa algún deterioro mecánico o electrónico en las entradas y salidas que pueda afectar al funcionamiento de la máquina durante el ensayo.



	Función	X			Se encontró operando correctamente todos sus componentes internos, se observó determinadas entradas y salidas del PLC no aportaron ninguna información o manipulación en este ensayo.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Variador de frecuencia	Rango de Velocidad				El rango de velocidad de tracción que ofreció la máquina es de 0 – 6.0 mm/s. con las distintas posiciones del potenciómetro. El panel de control donde se observó este rango, no indicó la velocidad real controlada por el potenciómetro.
	Desgaste	X			No se observó desgaste en sus componentes electrónicos, debido a que se le ha dado un excelente mantenimiento.



	Señales de control	X			La señal que llegó del potenciómetro no controló de forma correcta la velocidad de tracción que se requiere en el ensayo. Teniendo así dificultad para la obtención de datos en la práctica.
	Función	X			Se encuentra operando de forma correcta, se hizo pruebas de las diferentes velocidades de tracción que puede alcanzar el motor y se observó algunos desperfectos en velocidades altas y bajas, debido a variables externas a este.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Cables de transmisión de señales	Desgaste		X		Las transmisiones de señal de los cables presentaron deterioro debido a las condiciones ambientales en las que se encontraron en operación.
	Función		X		Varios cables no se encontraron operando.



Brakers fusibles.	y	Desgaste	X			No presenta.
		Función	X			Buen funcionamiento de sus elementos.
Display Quantrol AFTI		Transmisión de datos.	X			Excelente lectura de datos en el ensayo tracción.
		Exactitud.	X			Aunque existe señales basura, no genera un error considerable en el análisis de la práctica de tracción.

3.3.2. Ensayo de compresión

Durante la realización de la prueba de compresión, se tomó algunos criterios de inspección para determinar la condición en la que se halló operando la máquina de ensayos universales, su funcionamiento y estado de cada elemento eléctrico y electrónico de la máquina depende para determinar aspectos importantes de la resistencia y compresión de materiales, que logran servir para el control de calidad, las especificaciones de los materiales y el cálculo de piezas sometidas a esfuerzos.

Para ello se elaboró una tabla de verificación e inspección de todos los elementos eléctricos y electrónicos, ver Tabla 11.



Figura 18 Ensayo de tracción-compresión de un polímero.

Tabla 11

Verificación de los elementos eléctricos y electrónicos en el ensayo de compresión.

Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Sensor de desplazamiento	Rango de Voltaje			X	Mientras se realizó el ensayo de compresión se evidenció que el voltaje a la entrada y salida del transductor de posición, del sensor de desplazamiento implementado, no operó en los rangos de voltaje de trabajo de este, siendo estos entre 0 y 5 VDC tanto a la entrada como a la salida.
	Rango de distancia.			X	Los rangos de distancia que calculó el sensor cuando el cabezal móvil trabaja a compresión, son datos basura, es decir no son reales.



	Desgaste			X	Presentó un desgaste notable en la placa, debido a las condiciones ambientales donde se encontraba dicho sensor.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Sensor de desplazamiento	Lectura panel.			X	La lectura del desplazamiento fue errónea mientras trabajó a compresión, entregó un voltaje el cual no hizo referencia a la distancia en la cual se encontraba el cabezal móvil.
	Función			X	Se localizó en la parte interior de la estructura de la máquina. La información que nos entregó este sensor fue errónea, por lo que se consideró un elemento que no funciona cuando la máquina opera a compresión.



Celda de carga	Rango de Voltaje		X		Los voltajes medidos a salida de la celda de carga en la realización de la práctica, son los correctos, por lo que se observó rangos exactos en el ensayo compresión.
	Rango de Fuerza.		X		Los rangos de fuerza al trabajar en compresión que proporciona el fabricante (Quantrol) de acuerdo a la carga máxima de la máquina de 500 kgf., muestra una desviación de ± 1.25 kgf.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
	Desgaste	X			Mostró desgaste en los cables de transmisión de señales de la placa de amplificación del dispositivo AFTI, debido al uso y el tiempo de trabajo de la celda.



Celda de carga	Lectura panel.	X			Las pruebas de fuerza en compresión que se ejerció a la celda de carga, permitieron comprobar un excelente funcionamiento en la lectura del dispositivo Quantrol.
	Función				El manejo y funcionalidad del equipo Quantrol se encuentra en buenas condiciones, promocionando lecturas de fuerza a compresión confiables.
Fines de carrera.	Función	X			En el ensayo de compresión se comprobó que no realizan ninguna función durante la prueba de compresión.
	Desgaste		X		No se observa deterioro en sus elementos.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	



Tarjeta de acondicionamiento.	Amplificación		X		Se evidenció todas las señales externas que ingresan a esta tarjeta, donde se presumió que dicha amplificación sirve para poder adaptar estas señales al módulo de expansión y PLC.
	Función			X	Los rangos de entrada y salida de voltaje de cada señal de los sensores emitidos en el ensayo de compresión, fueron medidos en la tarjeta de amplificación, se determinó que no se encontraron calibrados, se puede asumir un mal funcionamiento de algún elemento de dicha placa o un mal diseño de acondicionamiento, por lo que los datos de en los que se encontró operando el PLC y el módulo de expansión no son controlables y otros no existen.
	Desgaste			X	Se halló algunos elementos en mal estado, debido a las condiciones ambientales en las cuales se halló sometida la placa por mucho tiempo.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento		Observaciones	

		Bueno	Medio	Malo	
Módulo expansión de	Señales de Voltaje			X	Las señales de voltaje en compresión, no se encontraron operando en el rango de trabajo de dicho módulo, así los datos que se entregó al PLC a través del bus de datos no fueron utilizados ni manipulados en la lógica de programación de la máquina durante el ensayo de compresión.
	Elementos operados.		X		Sensor de desplazamiento, celda de carga, fines de carrera y potenciómetro son los elementos a los cuales se sometió pruebas de desempeño en es la prueba de compresión.
	Desgaste	X			El módulo de expansión EM 231, no presenta ningún deterioro, encontrándose en perfecto estado y funcionalidad.
	Operatividad	X			El módulo de expansión a pesar de no recibir una señal de voltaje adecuada, este si se encuentra operando en forma correcta ya que se realizó otras pruebas para comprobar su funcionalidad.

Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé.	Señales de Voltaje		X		Las señales de voltaje I/O del PLC SIEMENS S7, fueron utilizadas para algunas funciones que presentó el panel de control y sensores externos. Algunas de estas se hallaron en un rango de voltaje de trabajo y otras no.
	Elementos operados.		X		Luces del panel de control, las cuales nos indicaron el estado que se encontró la máquina en compresión, también se halló pulsadores y selectores los cuales se asume que controlaban algunas funciones de dicha máquina, así como también se encontró sensores externos los cuales no se hallaron operando de forma correcta.
	Desgaste	X			El PLC se encuentra en buen estado.
	Operatividad	X			PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé, se encuentra operando correctamente todos sus componentes internos, se observó determinadas entradas y

					salidas del PLC no aportaron ninguna información o manipulación en este ensayo.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Variador de frecuencia	Rango de Velocidad	X			El rango de velocidad de compresión que ofreció la máquina es de 0 – 6.0 mm/s. con las distintas posiciones del potenciómetro. El panel de control donde se observó este rango, no muestra la velocidad real controlada por el potenciómetro.
	Desgaste	X			No se observó desgaste en sus componentes electrónicos.
	Señales de voltaje	X			La señal que llegó del potenciómetro no controló de forma correcta la velocidad que se requiere en el ensayo. Teniendo así dificultad para la obtención de datos en la práctica.



	Operatividad	X			Se encuentra operando de forma correcta, se hizo pruebas de las diferentes velocidades de compresión que puede alcanzar el motor y se observó algunos desperfectos en velocidades altas y bajas.
Elemento	Inspección	Estado del Elemento			Observaciones
		Bueno	Medio	Malo	
Cables de transmisión de señales	Desgaste		X		Las transmisiones de señal de los cables presentaron deterioro debido a las condiciones ambientales en las que se encuentran en operación.
	Operatividad		X		Varios cables no se encontraron operando.
Brakers y fusibles.	Desgaste	X			No presenta.

	Operatividad	X			Buen funcionamiento de sus elementos.
Display AFTI	Transmisión de datos.	X			Excelente lectura de datos en el ensayo.
	Exactitud	X			Aunque existe señales basura, no genera un error considerable en el análisis de la práctica de compresión.
Quantrol					

3.3.3. Desarrollo de las pruebas

Durante las pruebas de tracción y compresión se verificó el funcionamiento del panel de control para el monitoreo e inspección del ensayo, se realizó simulaciones para los diferentes estudios que ofrece la máquina, comprobando uno por uno la activación y maniobrabilidad de los botones, luces, indicadores y selectores. Los cuales no cumplieron con un excelente funcionamiento, ya que algunos de estos no realizaron ningún trabajo.

Para confirmar una excelente funcionalidad del sistema de control de la máquina, se comprobó inicialmente el funcionamiento de los elementos eléctricos y electrónicos durante los ensayos, como son:

- Sensor de desplazamiento.

En los diferentes ensayos que se realizó, se observó que el transductor de posición no entrega un rango de voltaje correcto a la entrada como a la salida, así como el circuito y los cables que posee este sensor no se encontraron en condiciones adecuadas para su trabajo, con lo que se concluyó que no funciona el sensor de desplazamiento y es necesario reemplazarlo.

- Celda de carga tipo "S"

La fuerza de tracción y compresión medida en los ensayos se calculó a través de un display AFTI y la celda de carga, se comprobó un buen funcionamiento a la lectura de la magnitud física que se sometió el material en los diferentes ensayos, también se observó que la celda no interactúa con los demás dispositivos que controla el PLC, es decir realiza funciones independientes al resto del sistema, por tanto el ser un sistema independiente hace más difícil tener un control y monitoreo eficaz al momento de realizar el

ensayo, siendo necesario integrar el sensor de fuerza al controlador. Ver Tabla 12.

Tabla 12
Celda de carga tipo S

Parámetro	Denominación
Fabricante	Quantrol by DILLON
Celda de carga	Tipo S
Capacidad	5000 N / 110 lb
Parte N°	55447-0062
Serial N°	DMLC11550046

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

➤ Fines de carrera.

Los fines de carrera que se encontró en la máquina no están en condiciones operables; presentaron deformación en su resorte y no se pudo comprobar el manejo de la corriente mediante un multímetro siendo esta de 0 mA. Cada uno de los fines de carrera no cumplen satisfactoriamente las funciones para las que son destinados por lo es obligatorio reemplazarlos.

➤ Tarjeta de acondicionamiento.

En los ensayos de tracción y compresión se verificó el funcionamiento de la tarjeta de acondicionamiento, la cual no amplificó el voltaje de forma adecuada de todas las señales recibidas de cada elemento electrónico que se deseaba amplificar para la realización del control durante el ensayo. La funcionalidad de este dispositivo se comprobó observando que los LED's de entrada del PLC no se encendieron para cada elemento de la tarjeta de acondicionamiento, en los puntos donde se conectan las señales amplificadas

desde los sensores, lo que implica que la señal no es recibida. Así pues, dicha tarjeta no funciona y es inevitable su reemplazo.

➤ Módulo de expansión de entradas analógicas EM 231.

El módulo de expansión se encontró en perfectas condiciones físicas, se comprobó en cada ensayo que a este dispositivo no le llegaron ninguna señal de voltaje emitidas desde el sensor de desplazamiento y al pulsar los límites de posición para el modo cíclico Set Low y Set High del panel de control de la máquina, al igual que se observó que los LED's de cada una de las entradas del módulo, no se encendieron, lo que indica que no existe la señal emitida por cada elemento electrónico conectado a este. Ver Tabla 13.

Tabla 13
Módulo de expansión EM 231

Márgenes / resistencias de entrada	0 a 5 V/10 M Ω 0 a 10 V/10 M Ω 0 a 20 mA/10 M Ω
Resolución	12 bits + signo
Tiempo de conversión Análoga/Digital	25 μ s
Tensión de modo común, máx.	12 V
Señales unipolares	0 a 32767
Fuente de alimentación externa	60 mA

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

➤ PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé.

Se encontró en buen estado físico el PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé y se comprobó su trabajo por medio del monitoreo de todas las señales emitidas por los elementos que se halló conectado a este dispositivo; señales de encendido y apagado de la máquina, cambio de giro del motor, luces indicadoras y el variador de frecuencia emitieron señales de voltaje correctas para un control moderado de la máquina durante los ensayos. Todas las funciones de panel de control para que el equipo trabaje en ciclos, durante los ensayos, no emitieron ninguna señal de voltaje la cual controle dicha función. Por lo tanto, en los ensayos realizados para verificar el funcionamiento de la máquina y el PLC, se observó que no cumple un sistema de control y que este dispositivo sólo se lo ha venido utilizando como un switch.

➤ Variador de velocidad.

El variador de velocidad de la marca SIEMENS se encuentra en perfectas condiciones, ya que a este dispositivo le han dado un buen mantenimiento, así como el lugar donde se encuentra operando está en condiciones favorables, libres de humedad temperatura vibración etc., Se obtuvo un excelente funcionamiento del variador de velocidad en los ensayos comprobando un rango de velocidad de 0 – 10.0 mm/s., esto se logró verificar al variar las distintas posiciones del potenciómetro.

El control de velocidad que se muestra en el display de este dispositivo SIEMENS durante los ensayos, nos indica la velocidad del motor a la que se encuentra trabajando, por lo tanto, este equipo no mide durante los ensayos la velocidad a la cual el cabezal móvil se encuentra desplazándose durante las pruebas. Al no contar con un control exacto del desplazamiento de la

mordaza móvil lo hace una máquina ineficiente para un buen análisis de los materiales. Ver Tabla 14.

Tabla 14
Características del variador de frecuencia SIEMENS Micro Master 420

Parámetros	Valores
Entrada mínima/ tamaño de cables salida	1 mm ²
Entrada máxima/ tamaño de cables salida	2.50 mm ²
Peso-sin embalaje	0.90 kg
Factor de sobrecarga	150%, 60 s
Tensión de alimentación principal.	200-24. VCA \pm 10%
Intensidad de entrada máxima	9.90 A, 1 ac. / 4.30 A, 3 ac
Frecuencia de alimentación principal	47-63 HZ
Altura	173 mm
Anchura	73 mm
Máxima salida kVA	1.7 kVA
Potencia	0.75 kW
Intensidad	3.90 A

Fuente: (FIGUEROA & FUERTES, 2006)

➤ Cables de transmisión de señales.

Se encontró la gran mayoría de cables de transmisión de señal en malas condiciones, aunque la máquina no maneja altos voltajes e intensidades, se presenció un deterioro del recubrimiento de estos. Además, las conexiones se encontraron desordenadas y se sus rieles y abrazaderas se hallaron malas condiciones, los cuales no ayudan a evitar contacto con otras conexiones, es necesario la sustitución de todos los cables de transmisión en mal estado.

➤ El display AFTI

Este dispositivo se encuentra en condiciones operables, ya que en las pruebas de tracción y compresión nos indicó los valores reales de fuerza, también se observó que existen señales de ruido a la entrada del display AFTI, aunque no afecta mucho en el cálculo de la fuerza en el ensayo, este ruido provoca una pequeña variación en la lectura, esta señal basura se produce debido a las condiciones ambientales en las que se encontró trabajando los cables de transmisión de dicho dispositivo.

Se pudo confirmar un deficiente desempeño del equipo. Los elementos eléctricos y electrónicos fueron sometidos a pruebas de estado y funcionamiento de cada uno, para ello se elaboró una tabla de verificación e inspección de estos, ver Tabla 9 y 10. Así pues, estos componentes analizados no se encuentran en correctas condiciones de trabajo, ya que se observó, que no cumplen con su función, tanto el sensor de desplazamiento, sistemas de ciclos, tarjeta de amplificación y módulo de expansión SIEMENS, no generan ningún control en el equipo; para que la máquina MTS TK/T5002 se encuentre en la vanguardia de los ensayos universales es necesario reemplazar estos elementos para así poder obtener un sistema control adecuado y eficiente.

3.4. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control que se halló en la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 utiliza un lenguaje de programación STEP 7 MicroWin 32 V 4.0, e InTouch los cuales eran la versión más actual en ese momento, este programa utiliza tres lenguajes de programación; los cuales son: el AWL (lista de instrucciones), KOP (Método de escalera), y el FUP (Diagrama de Bloque), con una comunicación para sólo una red de control mediante PLC's, utilizando el protocolo Ethernet y posee una intercomunicación entre el PLC y la computadora que es mediante el cable Siemens PC/PPI.

Se procedió a verificar la factibilidad del sistema de programación para el control de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002, comprobando la funcionalidad de los parámetros de control que ofrece el equipo. Para ello se procedió a descarga el lenguaje de programación que contiene dicho PLC:

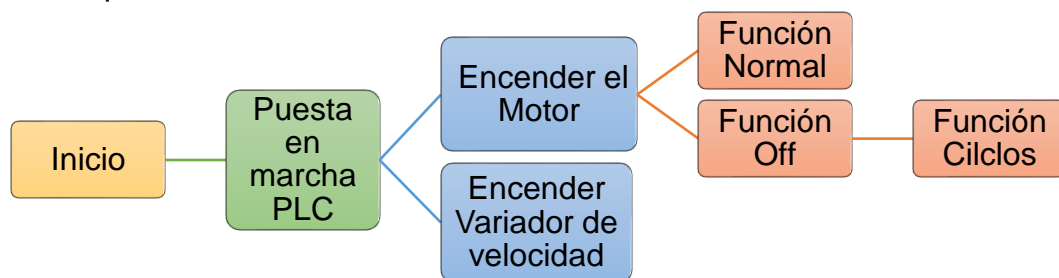
- Conectamos el cable PC/PPI del slot del PLC al puerto serial del computador.
- Se colocó el selector del PLC en la posición STOP.
- Por medio del software STEP 7 se descargó la programación grabada en el PLC.

Luego de haber descargado el lenguaje de programación del PLC, se procedió a monitorear las señales de fuerza y desplazamiento que llegan al controlador. Así se procedió a realizar el análisis de funcionalidad y factibilidad del sistema de control implementado en ese entonces.

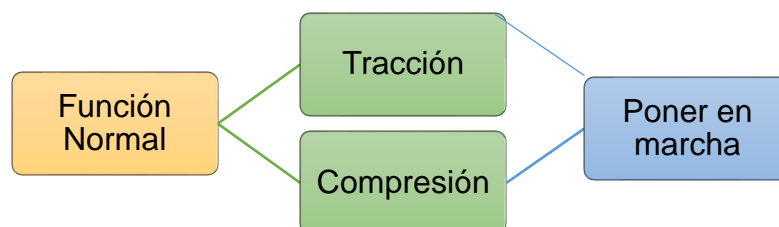
3.4.1. Clasificación

El sistema de control de la máquina MTS TK/T5002, se lo ha clasificado en base al funcionamiento que nos ofreció el tablero de control al hacer los ensayos, pues para verificar la lógica de programación es necesario entender el sistema de control que posee el PLC, se elaboró diagramas de flujo en base a las funciones que tiene la máquina, los cuales ayudaron a verificar el trabajo del controlador de manera más eficiente.

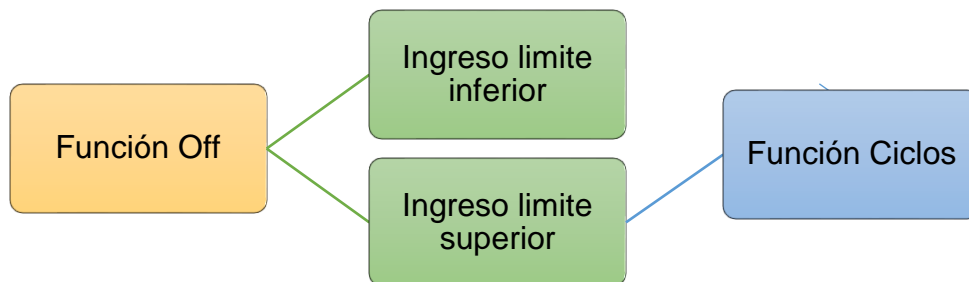
- Diagrama de flujo del encendido y selección de las funciones de la máquina MTS TK/T5002.



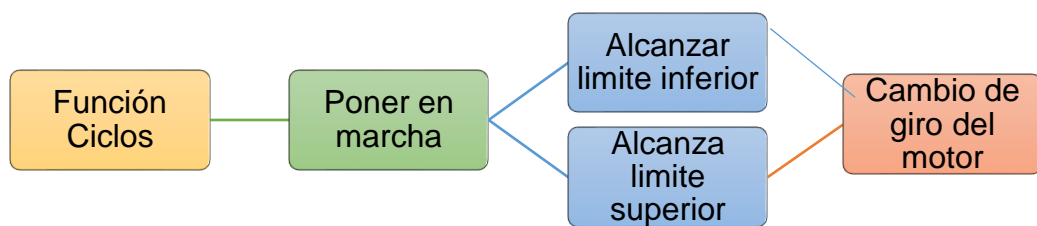
- Diagrama de flujo cuando la máquina trabaja en función Normal.



- Diagrama de flujo cuando la máquina trabaja en función Off.



➤ Diagrama de flujo cuando la máquina trabaja en función Ciclos.



Se monitoreo estas funciones utilizando sólo el software STEP 7 MicroWIN 32 ya que este quedó guardado en el PLC, pero no se pudo comprobar el lenguaje de programación del software InTouch porque no se halló evidencias debido a que se le ha realizado mantenimiento a las computadoras del laboratorio de Mecánica de Materiales, las máquinas han sido formateadas perdiéndose toda la programación.



Figura 19 Software STEP 7 MicroWin 32 V 4.0



Figura 20 Software InTouch

El programa del PLC se descargó y se monitoreo por medio del software STEP 7 MicroWIN 32 el cual utiliza un lenguaje de programación LADDER o diagrama en escalera siendo este un lenguaje de programación gráfico, el cual está basado en los esquemas eléctricos y electrónicos de control que utiliza la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002. Se procedió a relacionar cada variable utilizada en la programación con los elementos que monitorea la máquina para los ensayos, para luego comprobar sus funciones y estado del sistema de control que ofreció el equipo para los diferentes pruebas.

3.4.2. Partes de la maquina universal de ensayos

Luego de haber obtenido el programa del sistema de control de la máquina y haber relacionado las variables de control con los elementos de monitoreo de este sistema. Se comprobó la programación del PLC, monitoreando todas las señales del transductor de posición, fines de carrera, pulsante, motor, variador de velocidad, luces, etc. para analizar la eficiencia con la que se encontró operando la máquina.

Se elaboró una tabla de verificación e inspección del funcionamiento de todas las variables de control que maneja el PLC a través del software STEP 7 MicroWIN 32. Ver Tabla 15.

Tabla 15
Verificación e inspección de las variables de control del PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé

Programación	Función	Estado
Límites para ensayo de fatiga	Permite seleccionar los límites inferior y superior.	No manejó esta línea de control para los límites.
Activación de relés	Permite la activación del potenciómetro y del visualizador de posición.	El PLC no manipuló esta línea de control.
Cíclico encerado con el potenciómetro	Desplazamiento del cabezal móvil en modo cíclico.	No controló esta línea de programación para la función modo ciclo.
Cíclico encerado con collares	Permite realizar el ensayo de fatiga en el modo cíclico.	El PLC no operó esta línea de programación por falta de señales de control.

Arranque del motor	Permite la activación real del motor.	Si se obtuvo el control de la activación del motor.
Inversión de giro del motor	Permite invertir el sentido de giro del motor.	El PLC si controló el cambio de giro del motor.
Encendido de luz principal	Activación de la luz principal.	El PLC manejó esta línea de control activando la luz.
Marcha en modo normal	Permite controlar el movimiento y sentido de dirección del cabezal móvil para el modo normal	Controló el movimiento y sentido de dirección del cabezal en la programación del PLC.
Contador de ciclos	Conteo de ciclos en modo fatiga	El PLC no manejó esta línea de control
Seteo de valores del potenciómetro para un eje relativo y animación	Coloca los valores del potenciómetro en cero.	No se produjo el seteo en la programación.
Desplazamiento respecto a un eje relativo	Permite obtener la distancia que se desplaza el cabezal móvil.	El PLC no manejó esta función en su programación.
Encendido de la luz de marcha	Activación de la luz de marcha cuando se produce el encendido del motor.	Funcionó el control de la luz de marcha en línea de control y el panel.

Cabe recalcar que este lenguaje de programación está caduco en la actualidad, es decir la empresa SIEMENS ha dejado de producir esta versión de PLC, así como también el uso de este software. La plataforma de programación en la que se trabajó no funcionó de una manera eficiente y segura en todos los ensayos realizados, ya que algunas líneas de programación no generaron control o monitoreo del equipo, así por ejemplo

no se pudo observar el desplazamiento por medio de las señales del transductor en la programación, pues para saber la distancia que recorre el cabezal móvil fue necesario usar una regleta localizada a un lado de la máquina, cuya medición se la realizó de forma indirecta, tomando valores de referencia y dependiendo de la apreciación de la regleta y del observador; otro error en la programación que se confirmó, es la velocidad del cabezal móvil con la que se encontró operando la máquina pues no se puede verificar dicha velocidad en el panel de control o en el programa ya que el PLC sólo modifica e indica la velocidad con la que está trabajando el motor. También se comprobó que la función de fatiga del panel de control que ofrece la máquina no funcionó en su totalidad y no se encontró una lógica de programación en el PLC que controle y monitoree dicha función.

CAPÍTULO IV

DISEÑO MECATRONICO

Este capítulo se centra en la actualización y automatización de la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 con capacidad de 5 KN, a través del diseño mecatrónico. Después de que se procedió hacer un levantamiento del estado actual de la máquina, en este capítulo se estableció las especificaciones necesarias para cumplir con los requerimientos planteados, las exigencias de los usuarios, la evaluación y selección de todos los elementos necesarios para la modernización de la máquina, por último, la implementación de todos los componentes.

4.1. SISTEMA MECÁNICO

4.1.1. Estructura

Luego de analizar el estado de cada elemento se procedió a determinar las necesidades mecánicas de la máquina, elaborando una tabla donde se toma en cuenta el origen de las necesidades, así pues, se tomó como referencia los usuarios (U) y los diseñadores(D), analizándolos y clasificándolos en requerimientos (R) o deseos (D). A continuación, la Tabla 16.



Figura 21 Sistema mecánico de la máquina de ensayos universales.

Tabla 16

Definición de necesidades de los componentes mecánicos

Elemento	Estado	Propone	R/D	Necesidad
Parte estructural	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Mordaza fija	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Mordaza móvil	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Tornillos sin fin	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Barra guía	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Poleas	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Bandas	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Acoples	Funcional	U/D	R	Mantenimiento



Flecha	Funcional	U/D	R	Mantenimiento
Motores	Funcional	U/D	R	Mantenimiento

Se procedió a solventar las necesidades de cada elemento mecánico (Tabla 16). Vasados en lo que se analizó en el capítulo anterior y en la tabla 15 donde se definió las necesidades de los componentes mecánicos, se procedió a su ejecución. Ver Tabla 17.

Tabla 17

Mantenimiento de los componentes mecánicos.

Elemento	Estado	Necesidad	Tipo de mantenimiento	Ejecutado
Parte estructural	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Mordaza fija	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Mordaza móvil	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Tornillos sin fin	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Barra guía	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Poleas	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓

Bandas	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Acoples	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Flecha	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓
Motores	Funcional	Mantenimiento	Preventivo Predictivo	✓



Figura 22 Control y mantenimiento de motores.



Figura 23 Control y mantenimiento de tornillo sin fin.

4.1.2. Mecanismo de prueba

Luego de haber solventado con todas las necesidades de cada elemento, se procedió a verificar el funcionamiento mecánico en forma general, para ello se elaboró una tabla la cual nos indica el estado actual de la máquina. Ver tabla 18.

Tabla 18
Pruebas de funcionamiento mecánico.

Funcionalidad	Estado	Observación
Exactitud	Excelente	Trabaja de forma precisa
Sensibilidad a los cambios ligeros de carga	Excelente	Sensible a los cambios de fuerza
El mecanismo de arrastre	Excelente	Correctamente alineado

Puentes móviles	Excelente	No presenta oscilación
Fuerza que genera la maquina	Excelente	Fuerza controlada bajo el rango de velocidad y con distribución uniforme
Vibraciones	Excelente	No presenta vibraciones



Figura 24 Prueba de funcionamiento mecánico.

4.1.3. Partes fijas y móviles

➤ Partes fijas

En la estructura mecánica que se encontró en la máquina carecía de soportes mecánicos para añadir nuevos elementos en busca de su mejoramiento; es por ello por lo que se consideró adaptar una estructura mecánica para un sensor de desplazamiento, donde pueda quedar de forma permanente y de difícil manipulación. Para ellos se elaboró una tabla de ponderación con valores 1 al 5, siendo el 5 el nivel más alto, logrando tomar la decisión de ubicación y factibilidad más adecuada para este elemento. Ver Tabla 19

Tabla 19
Ponderación de la ubicación del soporte mecánico a adaptar.

Ubicación	Accesibilidad	Factibilidad	Ponderación
Parte Superior de la estructura	2	1	3
Parte Inferior de la estructura	2	2	4
Parte lateral derecha de la estructura	3	2	5
Parte lateral izquierda de la estructura	3	3	6
Parte interna de la estructura	4	4	8

Dándonos como resultado que la parte interna de la estructura es la mejor opción para la implementación del soporte mecánico fijo que servirá de sistema de sostén para el sensor de desplazamiento.

➤ Partes móviles

El tablero de control que se encontró en la máquina contenía varios elementos mecánicos y electrónicos que no cumplían ninguna función; es por ello que se consideró reemplazar para un mejor funcionamiento un tablero que se acople al HMI a implementar, donde pueda ofrecer al operador fácil control, manipulación y mantenimiento. Para ellos se elaboró una tabla de ponderación con valores 1 al 5, siendo el 5 el nivel más alto, logrando tomar la decisión más factible de la ubicación del HMI en el tablero de control. Ver Tabla 20.

Tabla 20
Ponderación de la ubicación del HMI en el tablero de control.

Ubicación	Factibilidad	Ponderación
Parte Superior del tablero	1	3
Parte Inferior del tablero	3	5
Parte lateral derecha del tablero	2	3
Parte lateral izquierda del tablero	1	3

Dándonos como resultado que la parte inferior del tablero es la mejor opción para la implementación del HMI que servirá para el control del funcionamiento de la máquina.

4.1.4. Sistema de sostén

➤ Parte Fija

Luego de haber determinado el lugar donde se va a instalar el soporte del sensor de desplazamiento, se procedió al diseño, construcción e implementación del mismo. Manejando el software SolidWorks para su diseño se realizó un prototipo de prueba.

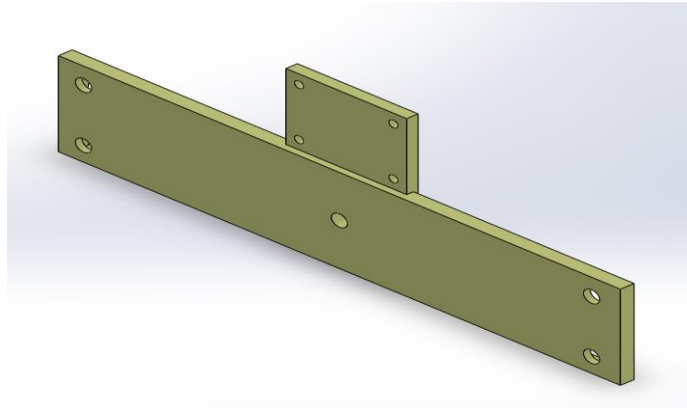


Figura 25 Diseño del mecanismo de sostén para el sensor de desplazamiento.

La construcción del prototipo se utilizó suelda, doblado y esmerilado.



Figura 26 Construcción del mecanismo de sostén para el sensor de desplazamiento.

Para la implementación y funcionamiento correcto del soporte mecánico, se realizó pruebas de vibración y desnivel, en donde reaccionó de forma satisfactoria a lo planteado.



Figura 27 Implementación del mecanismo de sostén para el sensor de desplazamiento.

➤ Parte Móvil

Luego de haber determinado el lugar donde se va a instalar el HMI en el tablero de control, se procedió al diseño, construcción e implementación del mismo. El prototipo se lo realizó en el software SolidWorks y la construcción se la realizó en material acrílico con la ayuda de una cortadora laser.

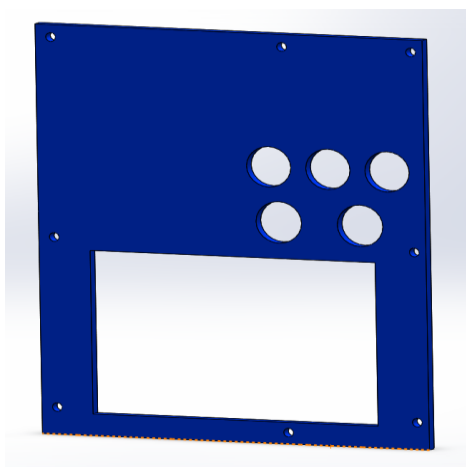


Figura 28 Diseño e Implementación del tablero de control.

4.1.5. Reacción del mecanismo de ensayo (antes durante y después)

Luego de analizar el estado mecánico como se encontró la máquina de ensayos universales en el capítulo anterior, en esta sección se consideró necesario para mejorar las condiciones del equipo: un mantenimiento al sistema mecánico para prevenir futuras fallas, se diseñó e incorporó un nuevo tablero de control, se diseñó y adaptó un mecanismo de sostén para el sistema de sensorización de desplazamiento.



Figura 29 Adpatación y funcionamiento del sensor de desplazamiento.



Figura 30 Adpatación y funcionamiento del tablero de control.

4.2. RESTRUCTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

4.2.1. Alimentación de motores

En el capítulo anterior se analizó el estado de los motores, los cuales se determinó que están en perfecto estado de funcionamiento gracias a un adecuado mantenimiento por parte del laboratorio. Por lo que no se le realizó ningún cambio en la alimentación de los motores de la máquina de ensayos universales.

4.2.2. Tablero de distribución

Se restructuró toda la distribución eléctrica y electrónica del tablero de control, ya que se reemplazó y eliminó todos los elementos eléctricos y electrónicos que utilizaba la máquina de ensayos universales, para ello se elaboró un plano eléctrico donde se detalla la distribución que se implementó para todos los elementos de control. Ver plano eléctrico de control en anexos.

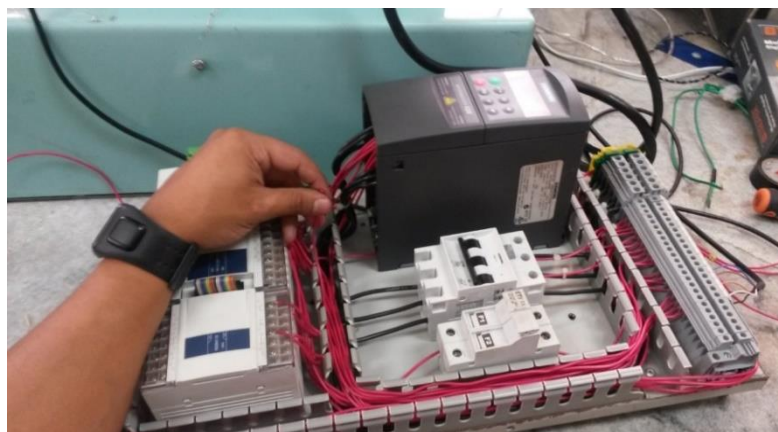


Figura 31 Distribución de señales en tablero de control

4.2.3. Actualización y/o reemplazo de componentes

Para determinar los elementos eléctricos y electrónicos que se van a reemplazar o adicionar a la máquina de ensayos universales, se consideró elaborar una tabla donde se tomó en cuenta: funcionamiento del elemento eléctrico y electrónico, actualización y/o reemplazo y observaciones. Donde se obtuvo el requerimiento más factible para alcanzar el mejor funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico. Ver Tabla 21.

Tabla 21

Actualización y/o reemplazo de componentes.

Elemento	Estado Funcional	Actualización y/o reemplazo
Sensor de desplazamiento	No es funcional	Reemplazo
Celda de Carga	Funcional	Actualización
Fines de carrera	No es funcional	Actualización
Tarjeta de acondicionamiento	No es funcional	Reemplazo
Módulo de expansión	Funcional	Reemplazo
PLC SIEMENS S7 CPU 224 relé.	Funcional	Reemplazo
Variador de frecuencia	Funcional	Actualización
Cables de transmisión de señales	No es funcional	Reemplazo
Breakers y fusibles	Funcional	Actualización
Display Quantrol AFTI	Funcional	Reemplazo

Tabla 22
Alternativas de diseño y selección de los elementos eléctricos y electrónicos.

Elemento	Alternativa	Característica	Observaciones
Sensor de desplazamiento	Ultrasónico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trabaja bajo ondas ultrasónicas. ➤ El sensor manda una onda y recoge la onda reflejada que retorna desde el objeto. ➤ Mide desplazamiento al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción. 	El ambiente de trabajo donde opera la máquina de ensayos universales no es apto, ya que existiría pérdidas en la emisión de la onda.
	Laser	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trabaja bajo luz Laser ➤ El sensor (Emisor) manda un fino haz de láser que es recibido por el receptor. ➤ Mide desplazamiento evaluando la interrupción del haz de láser. 	El costo elevado y el ambiente de trabajo donde opera la máquina de ensayos universales no es apto.
	Encoder	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trabaja bajo señal incremental o absoluta. ➤ Incremental: Mediante Tren de pulsos. Absoluta: Mediante valores codificados de cada posición. ➤ La ventaja de trabajar con señal absoluta no se disipa la posición en caso de pérdida de alimentación. 	Bajo costo y no depende del ambiente de trabajo.



Tarjeta de acondicionamiento	Diseño	➤ Prototipo diseñado bajo elementos electrónicos de precisión.	Costo elevado en la adquisición de elementos para realización de pruebas de prototipos.
	Adquisición	➤ Placa electrónica adquirida bajo catálogo.	La marca garantiza y certifica un correcto funcionamiento.
Módulo de expansión	SIEMENS	➤ Modulo 8IN /4 OUT ANALOGICA	Alto costo y requiere de licencia para funcionamiento.
	XINJE	➤ Modulo 4IN /2 OUT ANALOGICA P/XC	Bajo costo y no requiere de licencia para su funcionamiento.
PLC	SIEMENS	➤ CPU 1215C DC/DC/DC, alimentación 24VDC. Incorpora 14 DI a 24 VDC, 10 DO a24VDC	Alto costo y requiere de licencia para funcionamiento.
	XINJE	➤ PLC XC3, 14IN 24VDC/10OUT RY	Bajo costo y no requiere de licencia para su funcionamiento.
Cables de transmisión de señales	Cable N° 18	➤ Para apto para conexiones eléctricas	Buen conductor.
Display Quantrol AFTI	HMI SIEMENS	➤ Panel KTP700 A COLOR 7", táctil y 8 teclas de función	Alto costo y requiere de licencia para funcionamiento.
	HMI TOUCH WIN	➤ TOUCH PANEL de 7 ", TG-765 full color	Bajo costo y no requiere de licencia para su funcionamiento.

Después de analizar la tabla de alternativas para la selección de elementos a reemplazar se optó por adquirir los siguientes los siguientes componentes para el mejoramiento de la máquina de ensayos universales. Ver Tabla 23.

Tabla 23
Selección de elementos a implementar para la máquina de ensayos universales.

Elemento	Selección	Referencia o catálogo
Sensor de desplazamiento	Encoder	Anexo. Catálogo XC PLC
Tarjeta de acondicionamiento	Módulo de pesaje P/XC 1 Canal	Anexo. Catálogo XC PLC
Módulo de expansión	XINJE, módulo 4IN /2 OUT ANALOGICA P/XC	Anexo. Catálogo XC PLC
PLC	PLC XC3, XINJE 14IN 24VDC/10OUT RY	Anexo. Catálogo XC PLC
Cables de transmisión de señales	Cable N° 18	
Display Quantrol AFTI	HMI TOUCH WIN	Anexo. Catálogo TH HMI

4.3. SISTEMA DE CONTROL

4.3.1. Programación de secuencias

La programación de control y funcionamiento de la máquina de ensayos universales, se la realizó por medio del software libre XC Series Program Tool, el cual utiliza una programación Lader. Para ello se realizó tablas de variables para supervisar y monitorear cada elemento ya sean estos físicos, registros internos o de memorias internas. Ver Tabla 24.

Tabla 24
Variables de memoria interna

Variables de Memoria Interna	Etiqueta Variable (M)
Encendido	M0
Paro	M1
Temporizador Paro Titileo.	M2
Tracción	M3
Compresión	M4
Luz Tracción	M5
Luz Compresión	M6
Incremento Velocidad	M7
Disminución Velocidad	M8
Paro Disminución	M9
Paro Incremento	M10
Distancia mm	M11
Distancia cm	M12
Distancia plg	M13
Set	M14
Luz Set	M15
Velocidad mm/s	M16
Velocidad cm/s	M17
Velocidad pulg/s	M18
Cíclico	M19
Luz Cíclico	M20
Cíclico Superior	M21
Cíclico Inferior	M22
Frecuencia	M23
Cíclico Superior Cuenta Tracción	M24
Cíclico Inferior Cuenta Tracción	M25
Bobina Contador Tracción	M26
Paro Ciclos	M27
Ciclo Distancia	M28
Ciclo Fuerza	M29
Frecuencia Fuerza	M30
Set Frecuencia Fuerza	M31
Bobina Fuerza Máxima Tracción	M32
mm	M33
cm	M34



plg	M35
mm/s	M36
cm/s	M37
plg/s	M38
Paro HMI	M39
Bobina Paro	M40
Bobina Paro	M41
Luz Distancia	M42
Luz Fuerza	M43
On Tracción	M44
On Compresión	M45
Bobina Contador Compresión	M46
Ciclos	M47
Luz ciclos	M48
Bobina ON tracción	M49
Cíclico Superior Cuenta Compresión	M50
Cíclico Inferior Cuenta Compresión	M51
Velocidad Fatiga	M52
Luz Velocidad Fatiga ON	M53
Velocidad Tracción. F.	M54
Luz Velocidad Tracción. F.	M55
Velocidad Compresión. F.	M56
Luz Velocidad Compresión. F.	M57
Bobina velocidad	M58
RST Fatiga	M59
Pulsador velocidad HMI	M60
Cambio Velocidad Tracción / Compresión en Tracción	M61
Bobina auxiliar de M53	M62
RST velocidad Tracción a Compresión	M63
RST total Tracción Compresión	M64
Bobina auxiliar Control	M65
Calibración a cero	M66
Calibración a 10 N	M67
Luz a cero	M68
luz calibración	M69
Bobina auxiliar Control	M70
Bobina auxiliar Control	M71
Bobina auxiliar Control	M72



Bobina auxiliar Control	M73
Bobina auxiliar Control	M80
Bobina auxiliar Control	M81
Bobina auxiliar Control	M82
Bobina auxiliar Control	M83
Bobina auxiliar Control	M84
Bobina auxiliar Control	M85
Bobina auxiliar Control	M86
Bobina auxiliar Control	M87
Bobina auxiliar Control	M88
Bobina auxiliar Control	M89
N	M90
Luz N	M91
Kgf	M92
Luz Kgf	M93
Lbf	M94
Luz Lbf	M95
Bobina auxiliar Control	M96
Bobina auxiliar Control	M97
Bobina auxiliar Control	M98
Bobina auxiliar Control	M99
Bobina auxiliar Control	M100
Bobina auxiliar Control	M101
Bobina auxiliar Control	M102
Bobina auxiliar Control	M103
Captura	M104

Tabla 25
Variables físicas

Variables Salida	Etiqueta Variable
Encendido	Y3
Fin de carrera Superior	X3
Fin de carrera Inferior	X4
Paro	X5
Cambio de giro	Y5
Foco Encendido	Y6
Foco Tracción	Y7
Foco Compresión	Y10

Tabla 26
Variables de registro

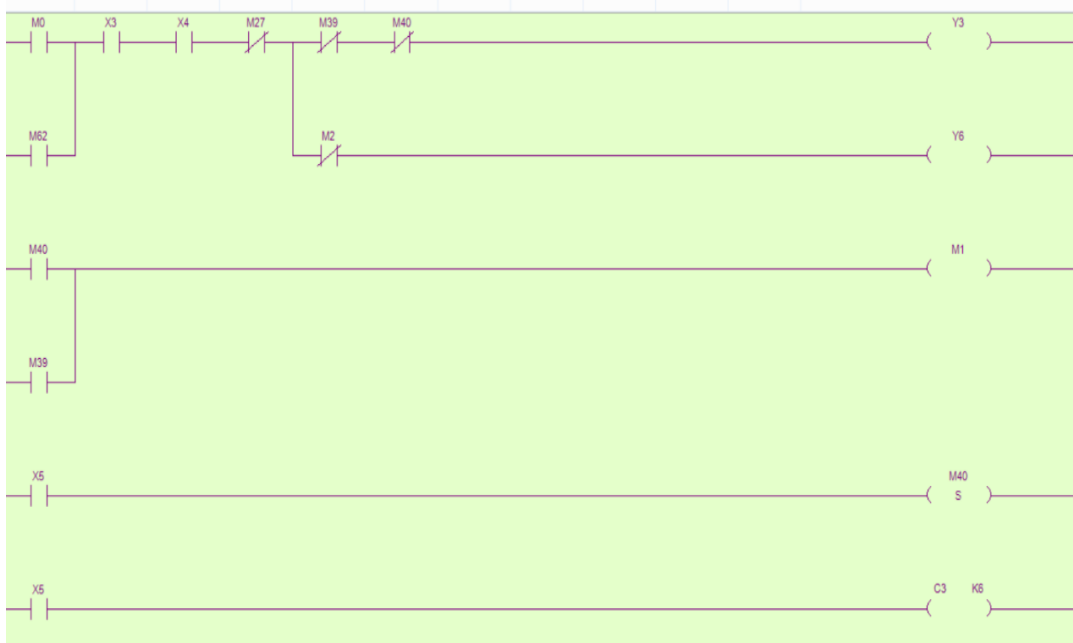
VARIABLES (D)	NUEVA
Velocidad Mordaza móvil	D0
Registro auxiliar velocidad	D100
Registro auxiliar velocidad	D200
Registro auxiliar velocidad	D300
Registro auxiliar velocidad	D400
Distancia primer ciclo	D500
Registro auxiliar distancia1	D1500
Registro auxiliar distancia1	D4000
Registro auxiliar distancia1	D4100
Registro auxiliar distancia1	D900
Distancia Total	D1000
Registro auxiliar distancia2	D1100
Registro auxiliar distancia2	D1200
Registro auxiliar distancia2	D1300
Velocidad	D1400
Límite superior Desplazamiento	D210
Límite Inferior Desplazamiento	D220
Registro auxiliar límite Desplazamiento	D1700
Registro auxiliar límite Desplazamiento	D1800
Registro auxiliar límite Desplazamiento	D1900
Registro auxiliar límite Desplazamiento	D2000
Tiempo de la primera vuelta	D2100
Frecuencia Distancia	D22
Ciclos Compresión	D40
Ciclos Tracción	D23
Número de Ciclos	D24
Fuerza	D7800
Limite Fuerza Superior	D260
Limite Fuerza Inferior	D270
Registro auxiliar límite Fuerza	D28
Registro auxiliar límite Fuerza	D29
Registro auxiliar límite Fuerza	D30
Registro auxiliar límite Fuerza	D31
Registro auxiliar límite Fuerza	D32
Registro auxiliar límite Fuerza	D33



Registro auxiliar límite Fuerza	D34
Frecuencia Fuerza	D35
Fuerza mínima	D36
Registro auxiliar Fuerza mínima	D37
Registro auxiliar Fuerza mínima	D38
Fuerza auxiliar máxima	D39
Registro auxiliar Fuerza máxima	D5000
Registro auxiliar Fuerza máxima	D5500
Registro auxiliar Fuerza máxima	D6000
Registro auxiliar Fuerza máxima	D7000
Registro auxiliar Fuerza máxima	D7500
Registro auxiliar Fuerza máxima	D5100
Registro auxiliar Fuerza máxima	D5600
Registro auxiliar Fuerza máxima	D6900
Registro auxiliar Fuerza máxima	D7100
Registro auxiliar Fuerza máxima	D7200
Registro auxiliar Fuerza máxima	D6500
Velocidad Fatiga Tracción HMI	D4200
Velocidad Fatiga Compresión HMI	D4300
Temporizador Velocidad	D150
Tiempo gráfica Distancia	D250

Después de asignar todas las variables que se va a utilizar en la programación LADER, se procedió a realizar el programa. A continuación, se detalla los bloques de programación implementados para el control y funcionamiento de la máquina de ensayos universales.

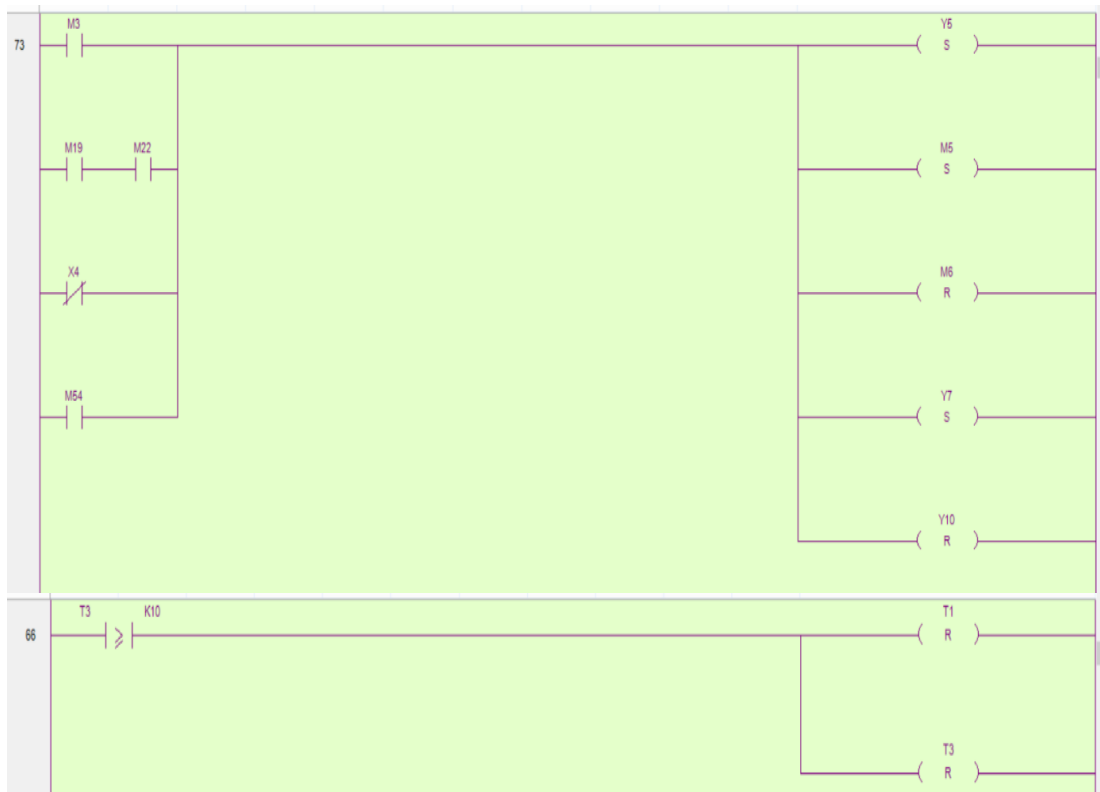
➤ Control del encendido de la máquina.



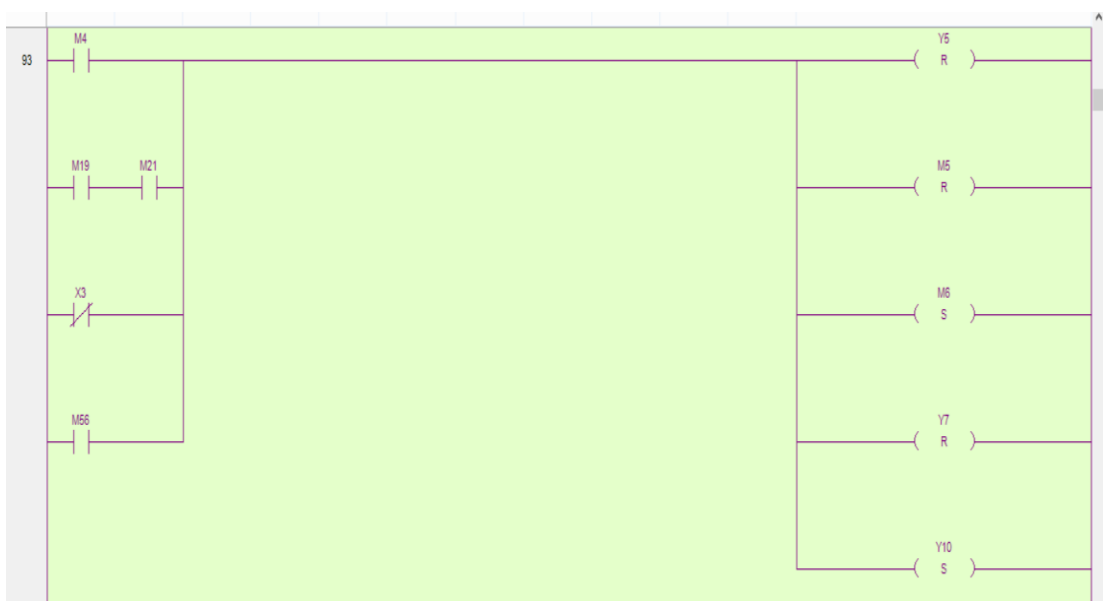
➤ Control paro de emergencia.



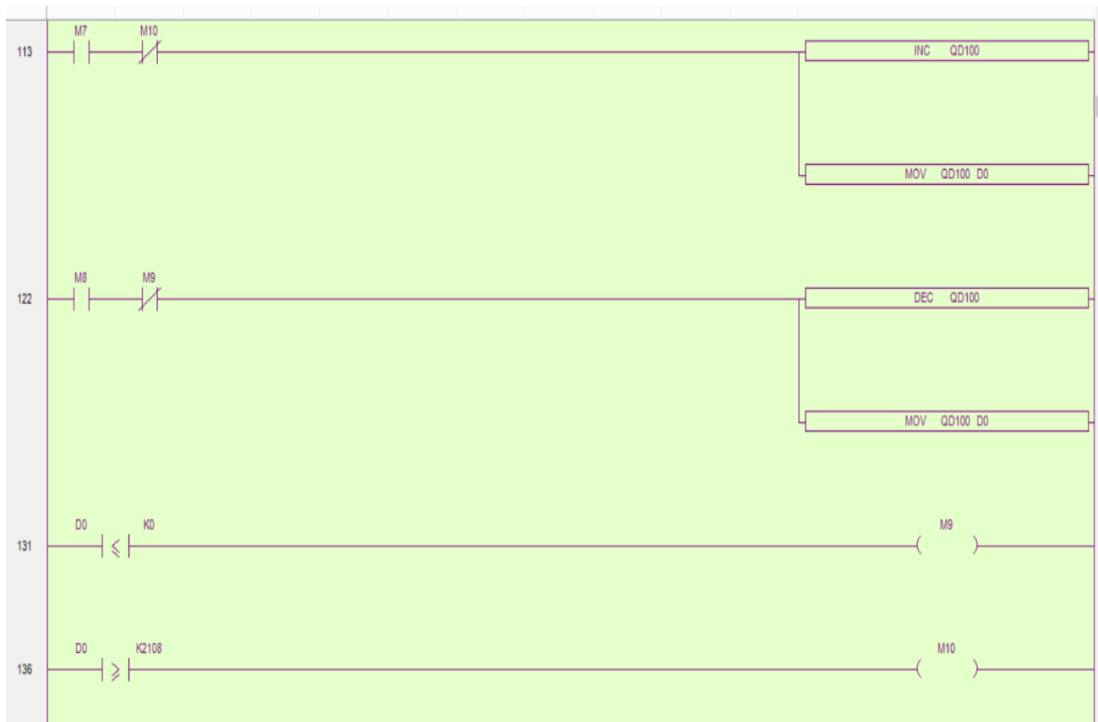
➤ Control giro anti horario del motor.



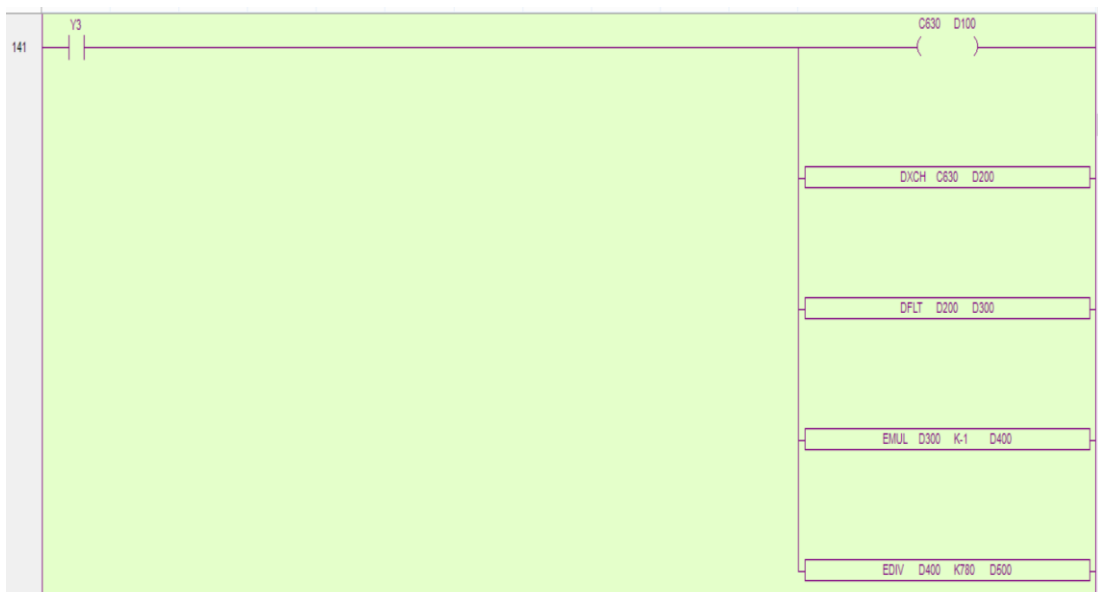
➤ Control giro horario del motor.



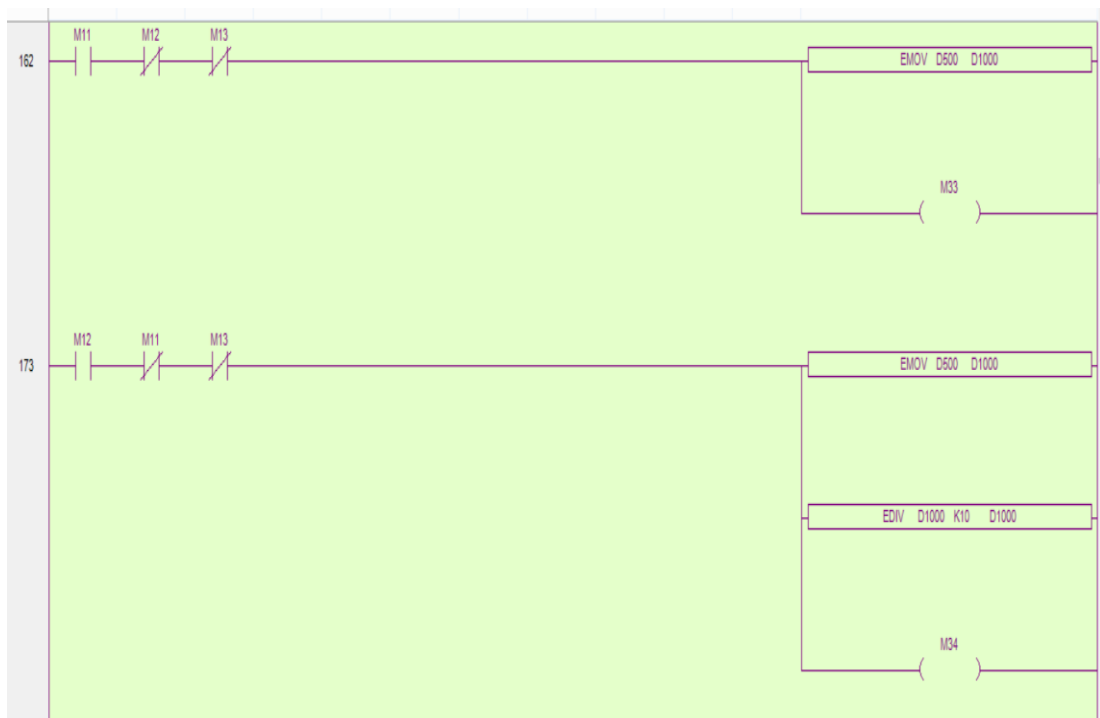
➤ Registro de la frecuencia del motor.



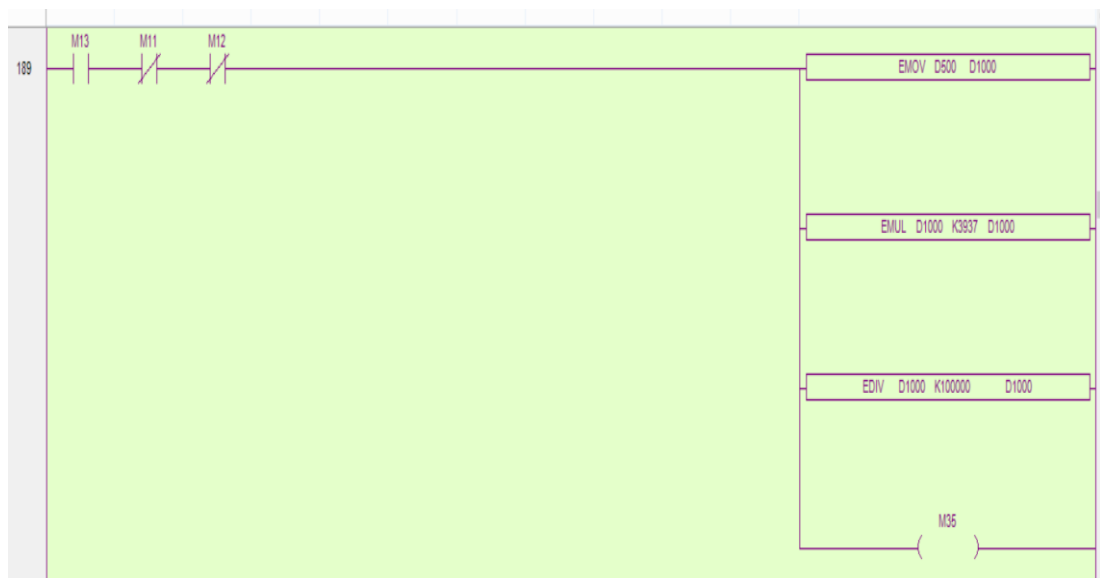
➤ Control y registro del desplazamiento tracción y compresión.



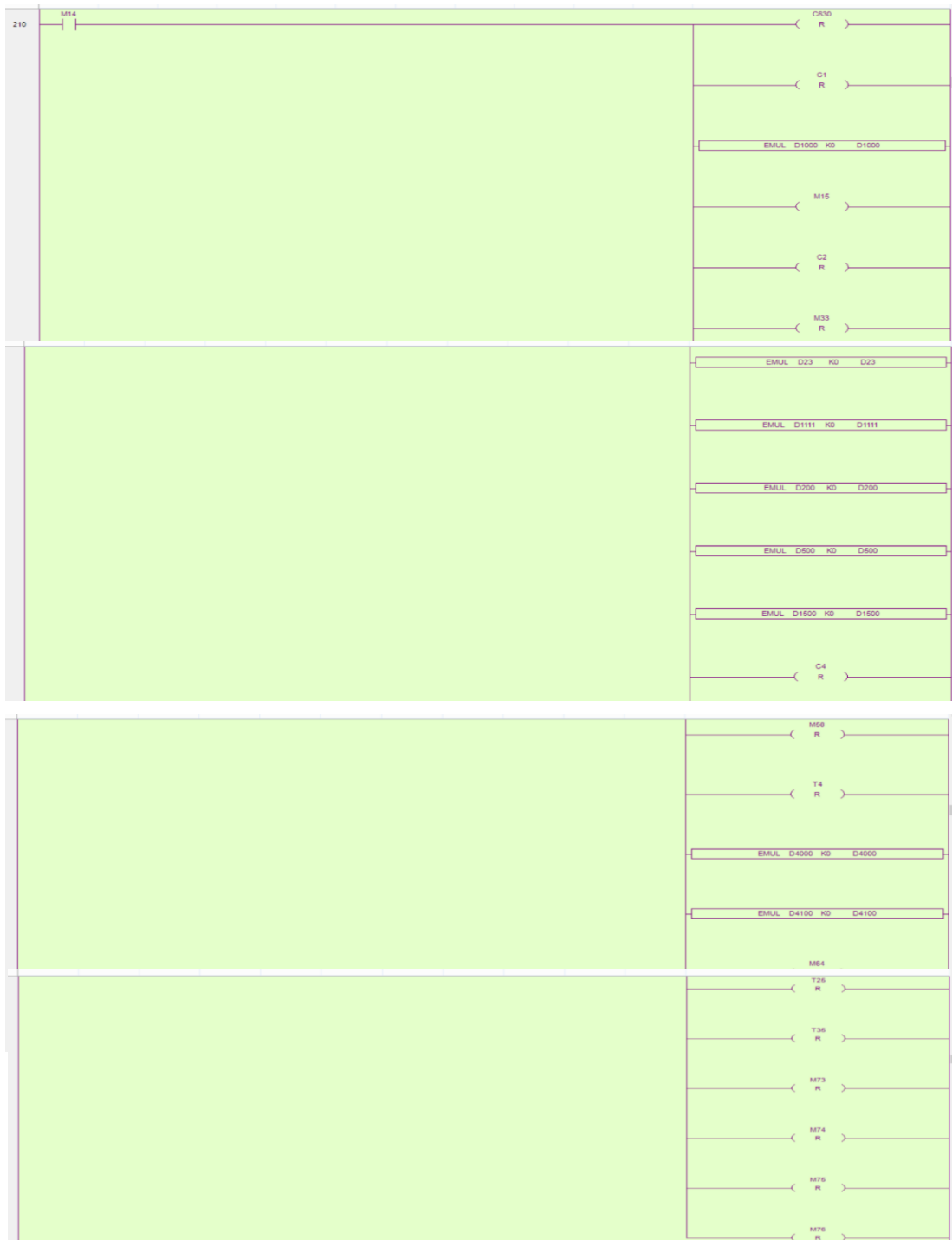
➤ Conversión de unidades de desplazamiento.



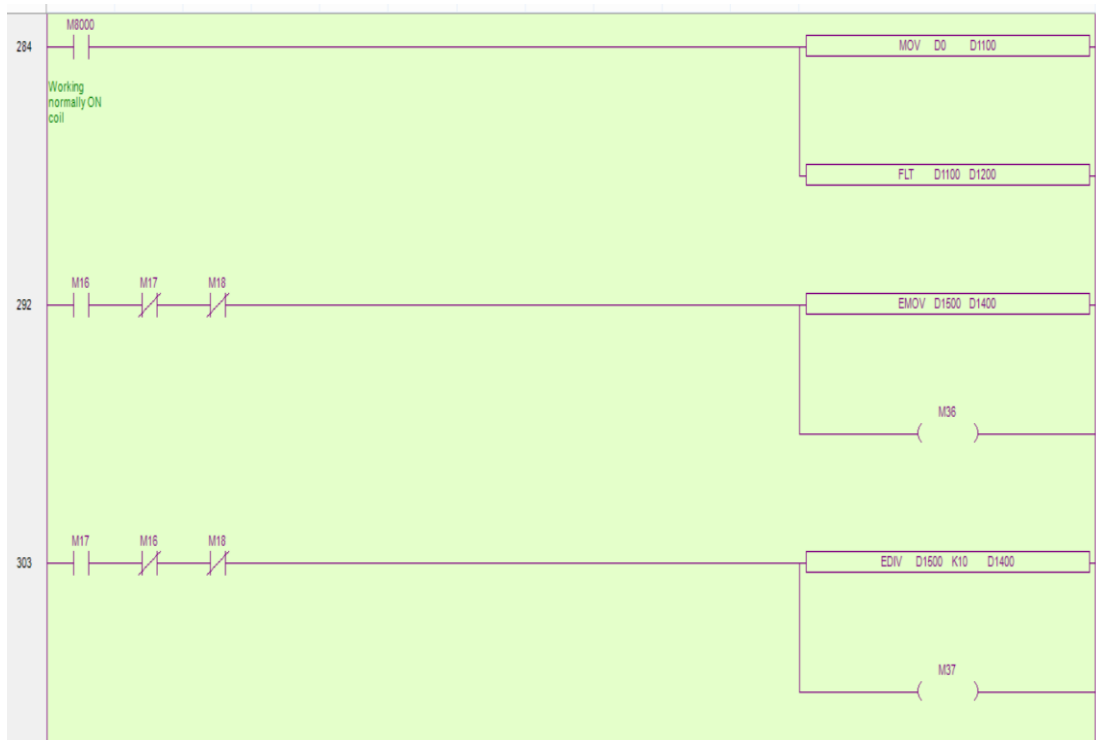
➤ Conversión de unidades de desplazamiento.



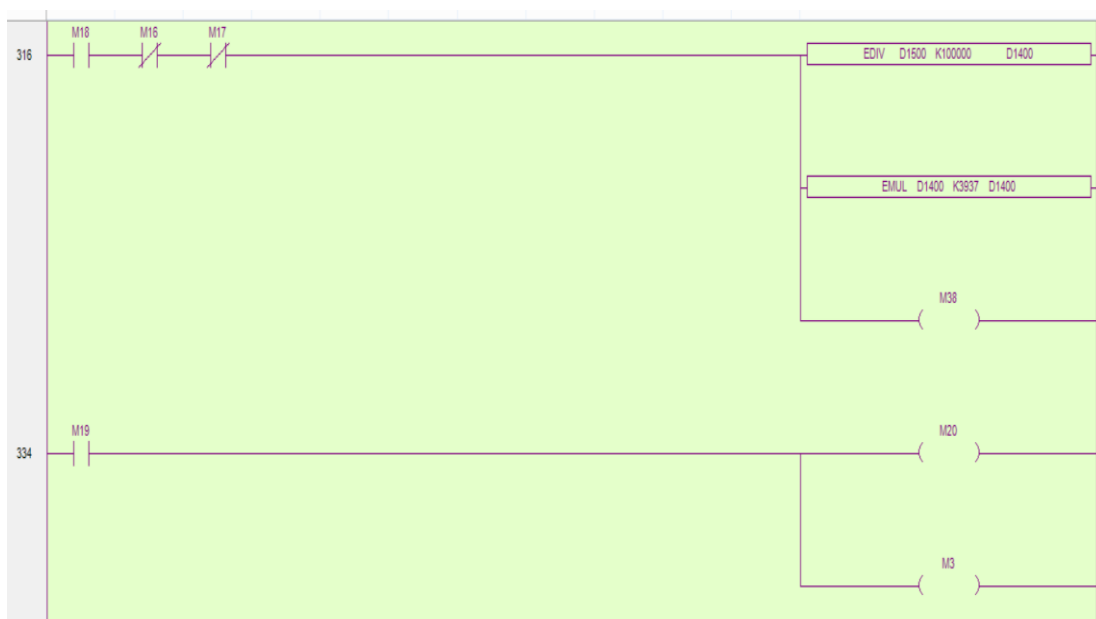
➤ Control de set de registros internos.



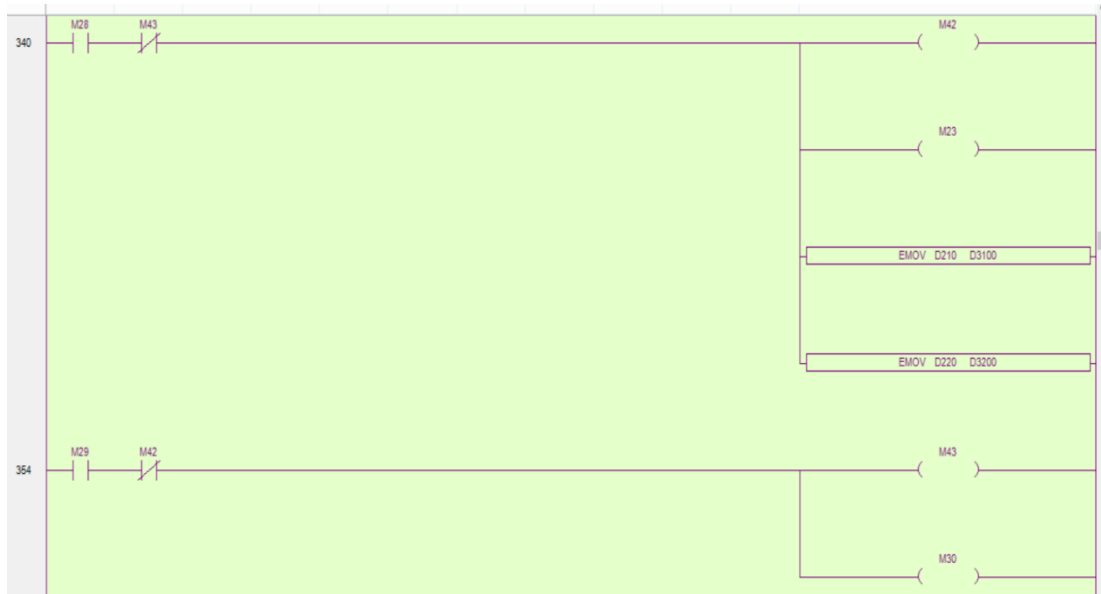
➤ Registro y conversión de unidades de velocidad.



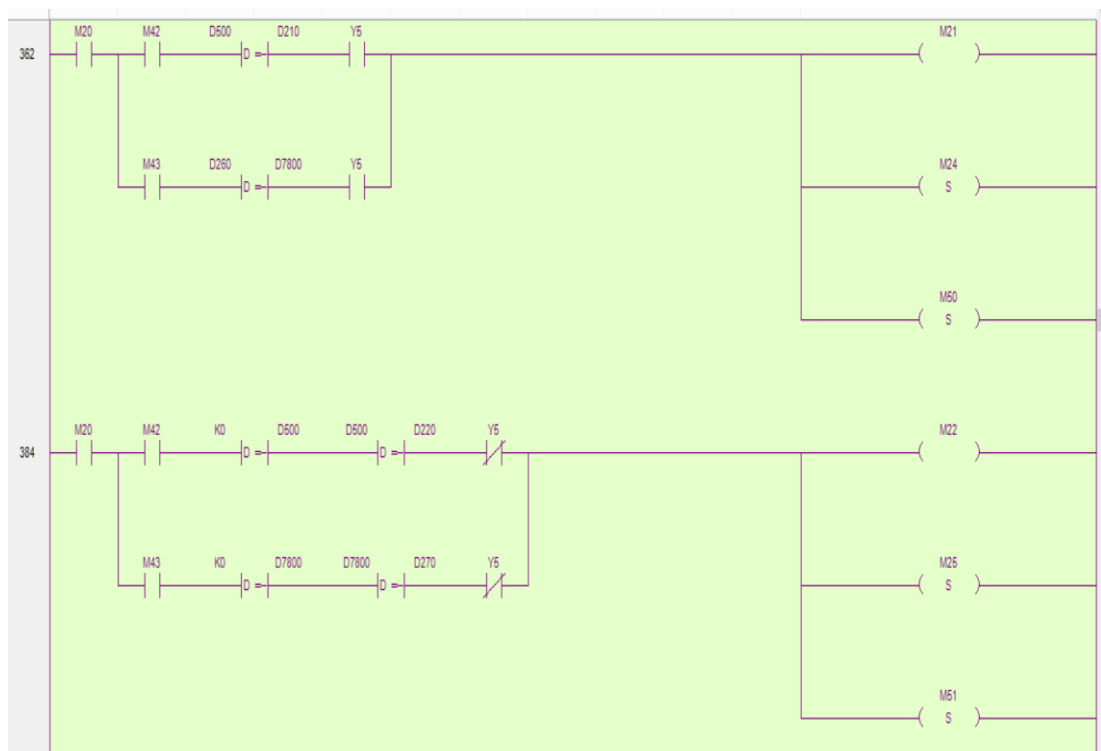
➤ Conversión de unidades de velocidad.



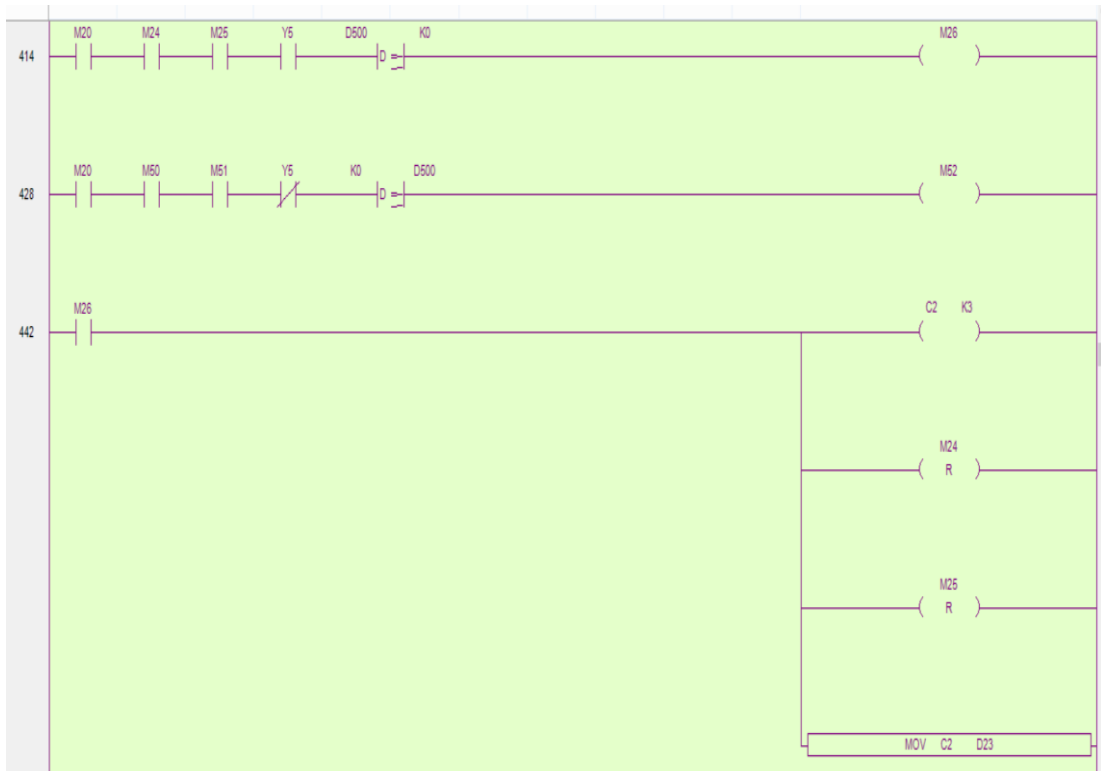
➤ Función ciclo de fatiga en desplazamiento y fuerza.



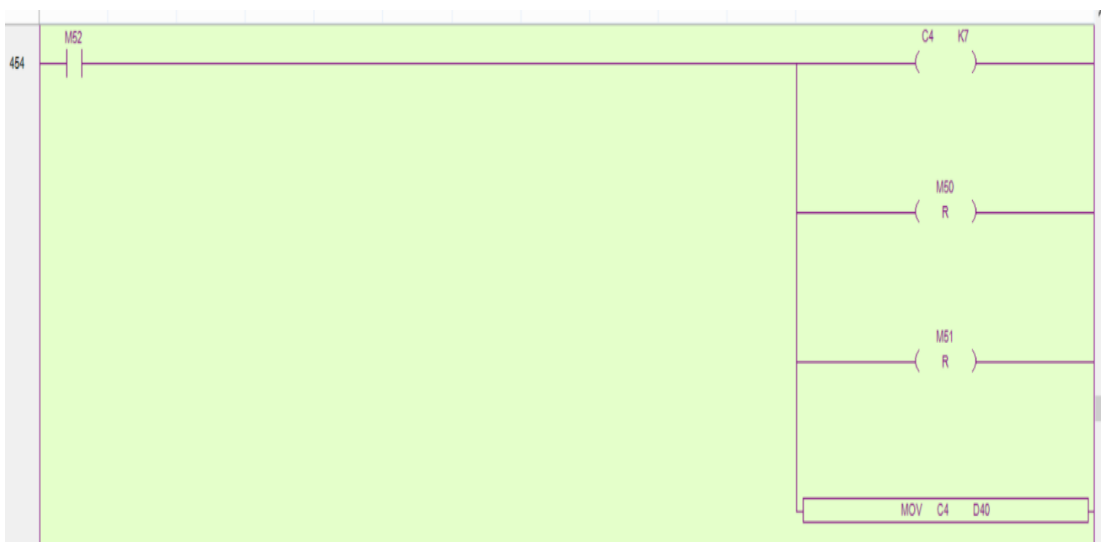
➤ Control ciclo de fatiga en desplazamiento y fuerza.



➤ Conteo de ciclos.



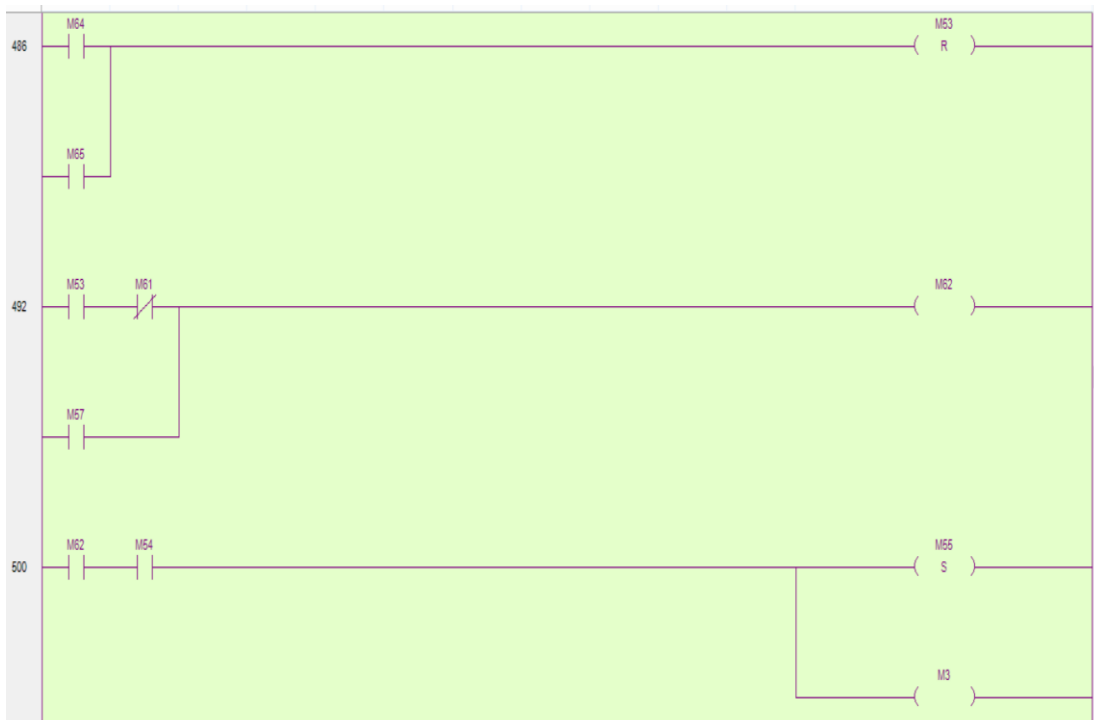
➤ Control velocidad de fatiga.



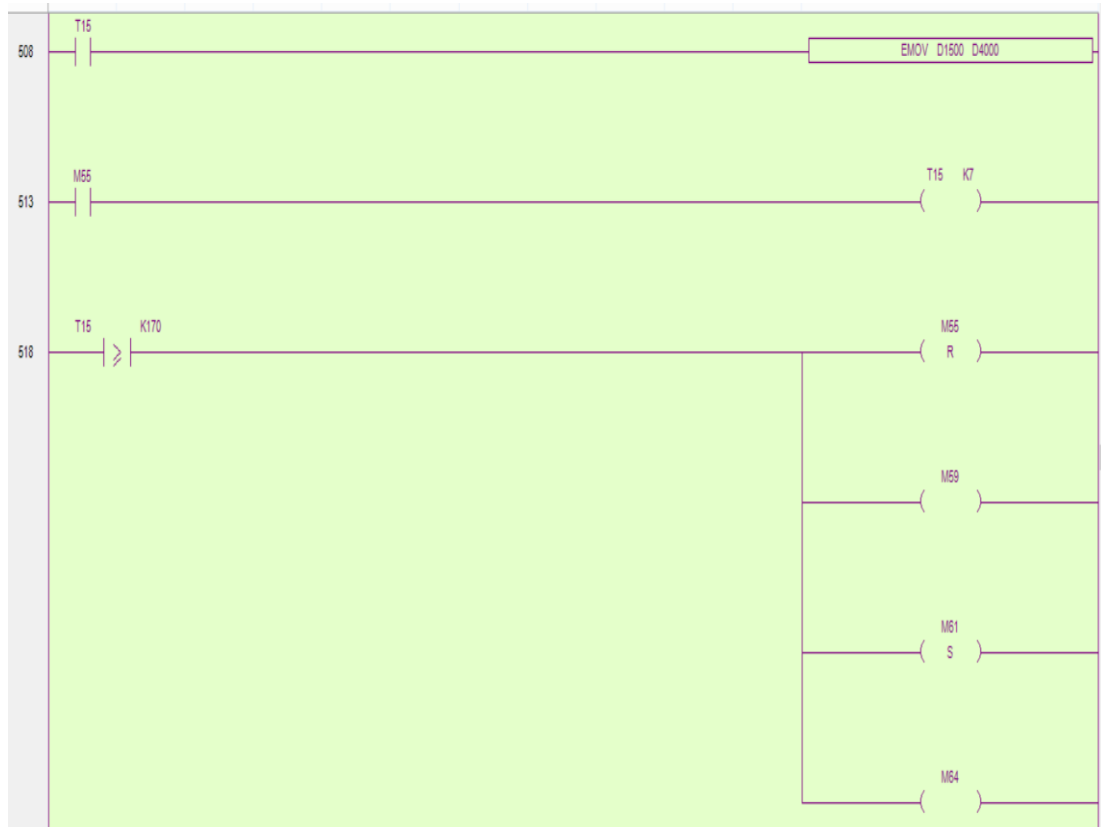
➤ Calibración de ciclos de trabajo.



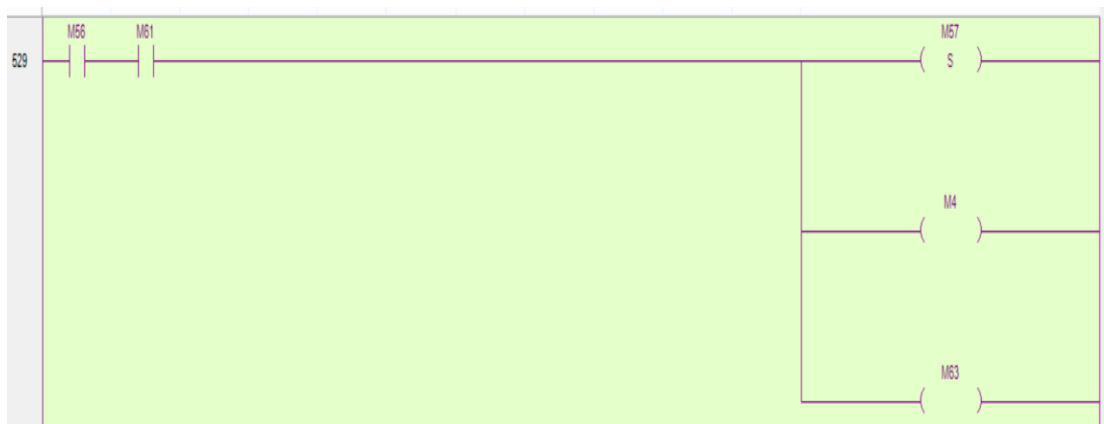
➤ Indicadores de velocidad de fatiga.



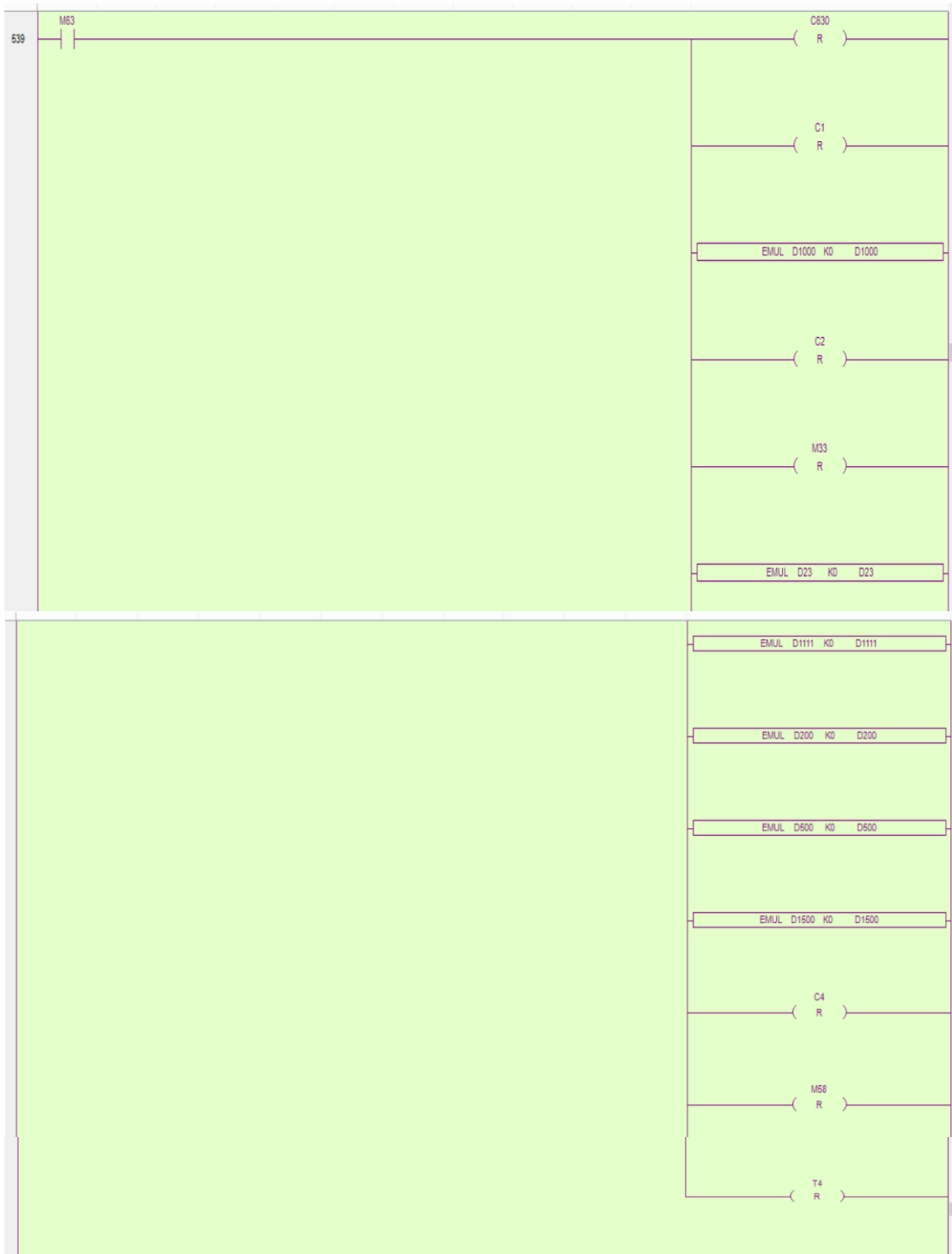
➤ Medición de velocidad de desplazamiento de mordaza móvil.



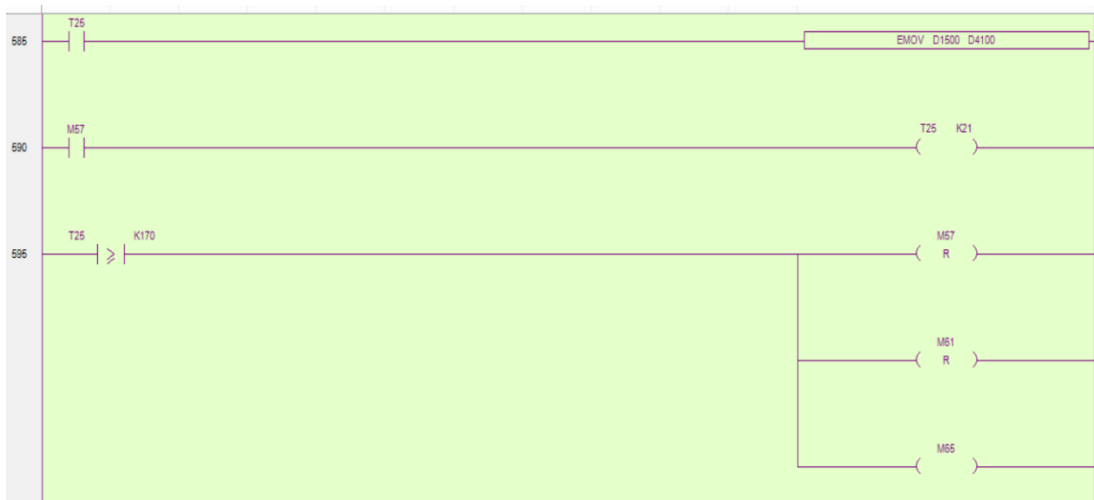
➤ Luces indicadoras de velocidad.



➤ Control de registros de velocidad.



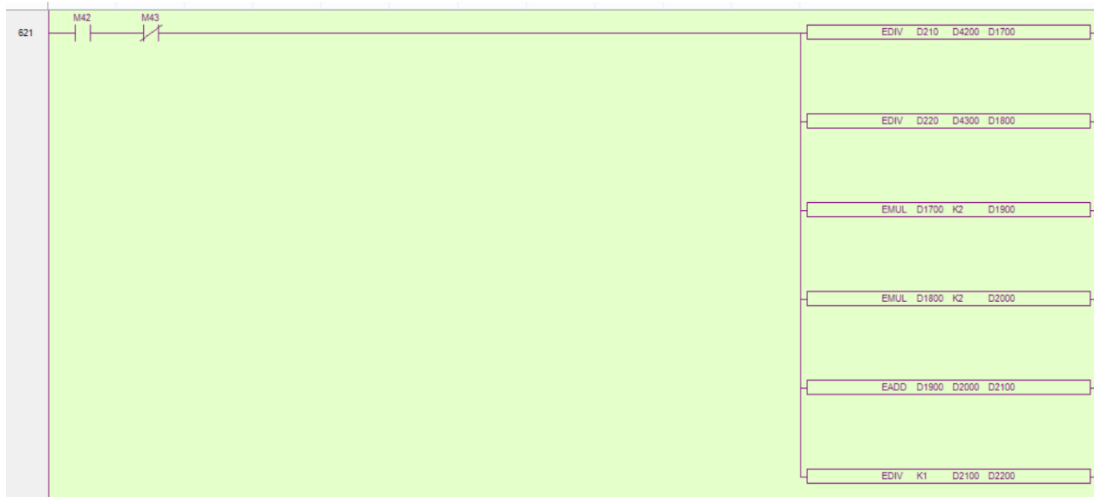
➤ Tiempo de enceramamiento desplazamiento.



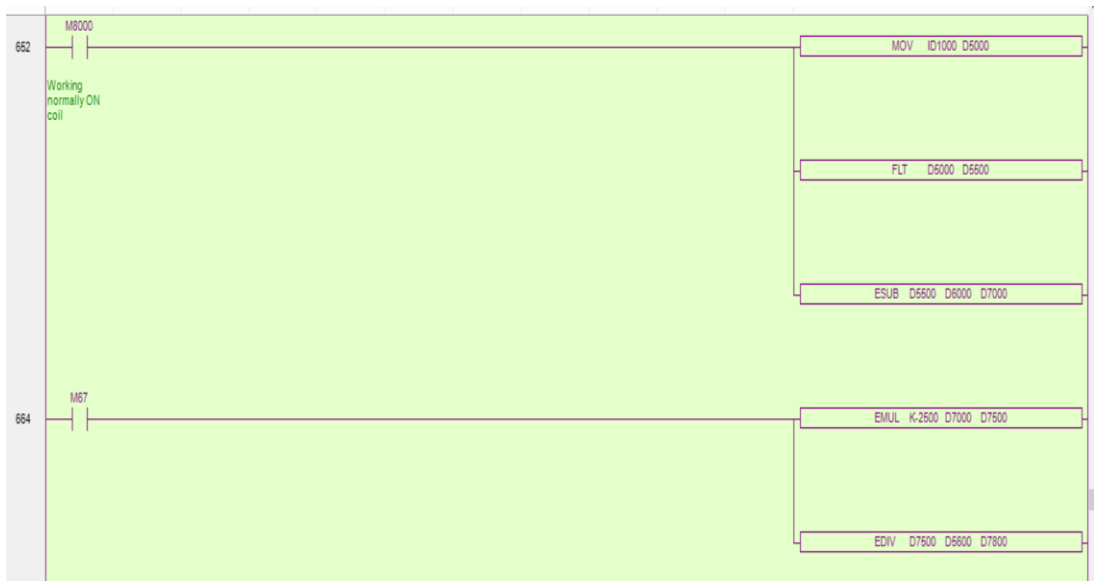
➤ Registro de velocidades de fatiga.



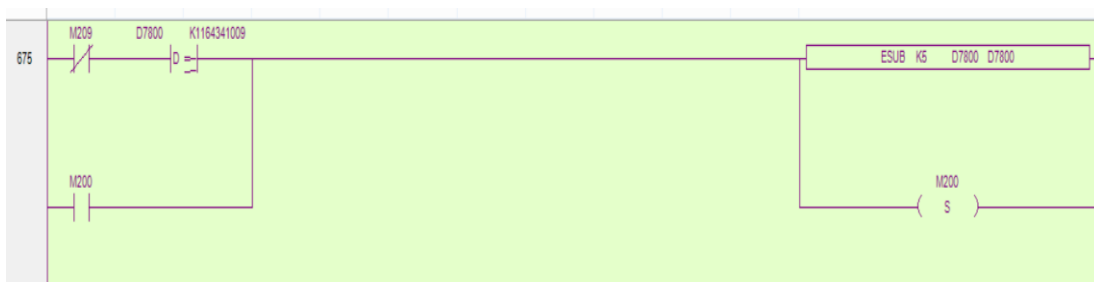
➤ Control función límite de desplazamiento.



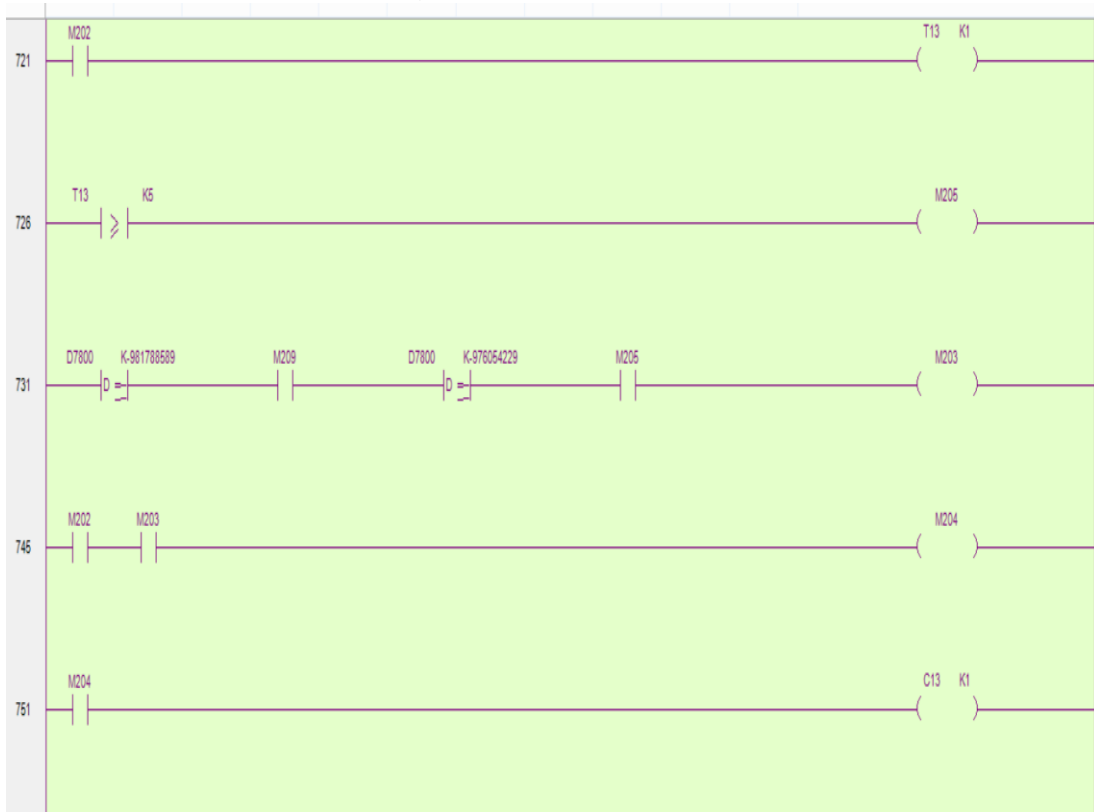
➤ Registro lectura celda de carga.



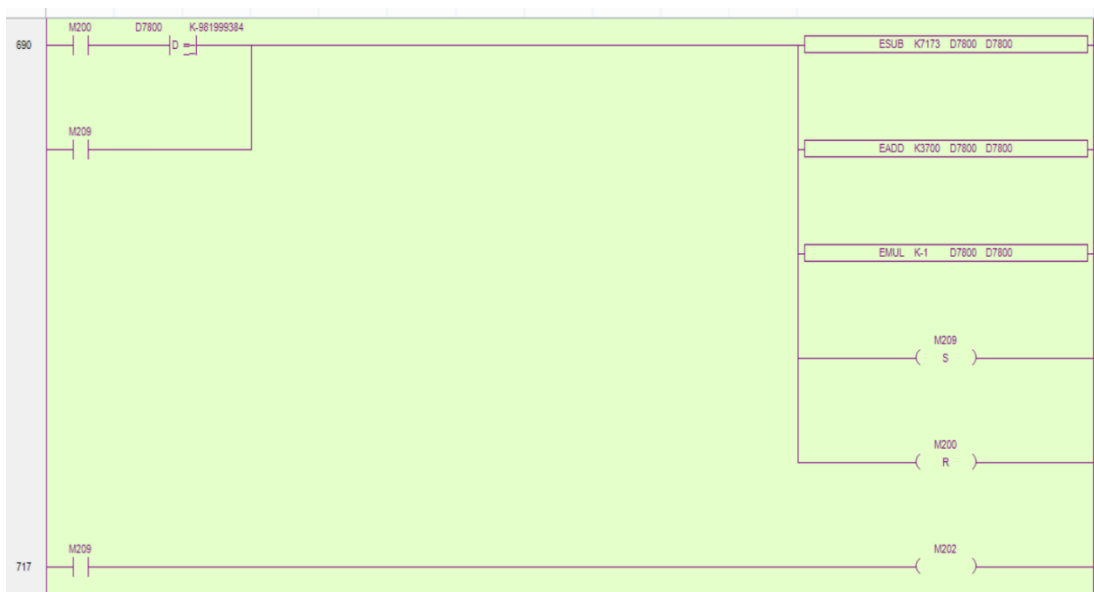
➤ Calibración celda de carga a 3800 N.



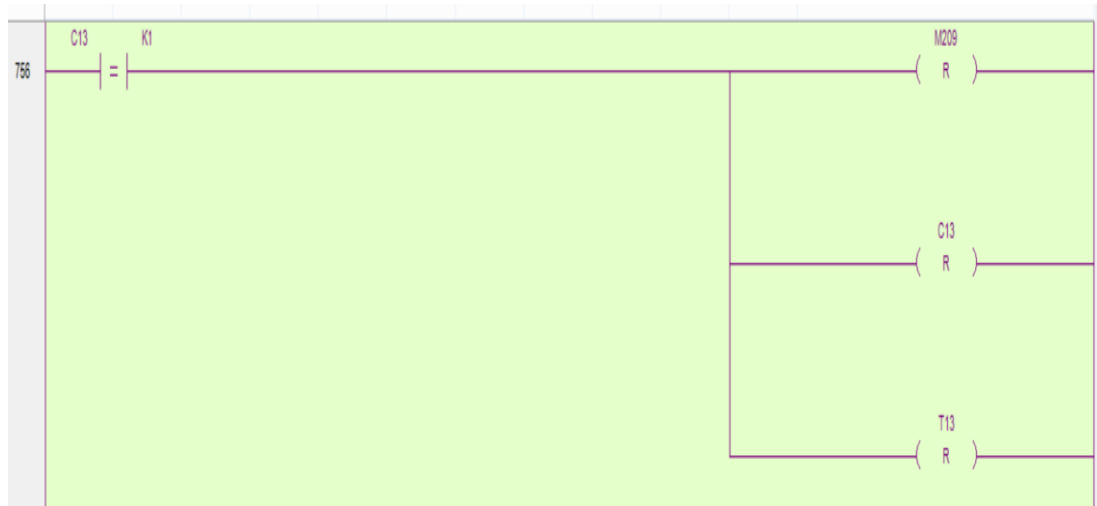
➤ Calibración celda de carga a 4 200 N.



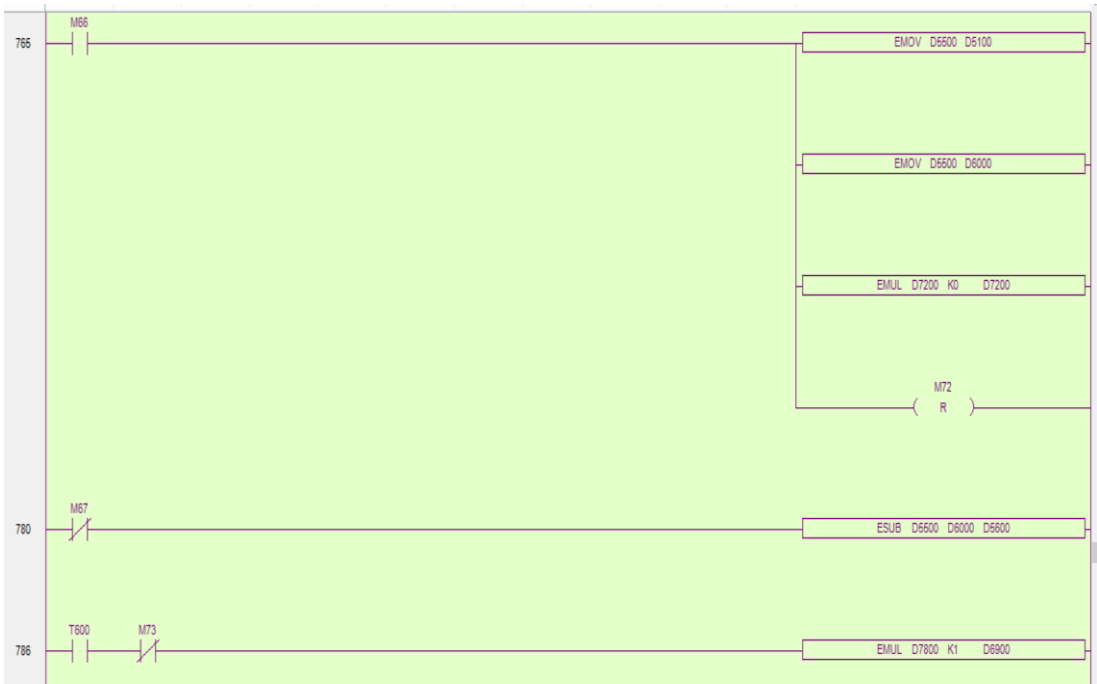
➤ Calibración celda de carga rango descenso.



➤ Set de fuerza.



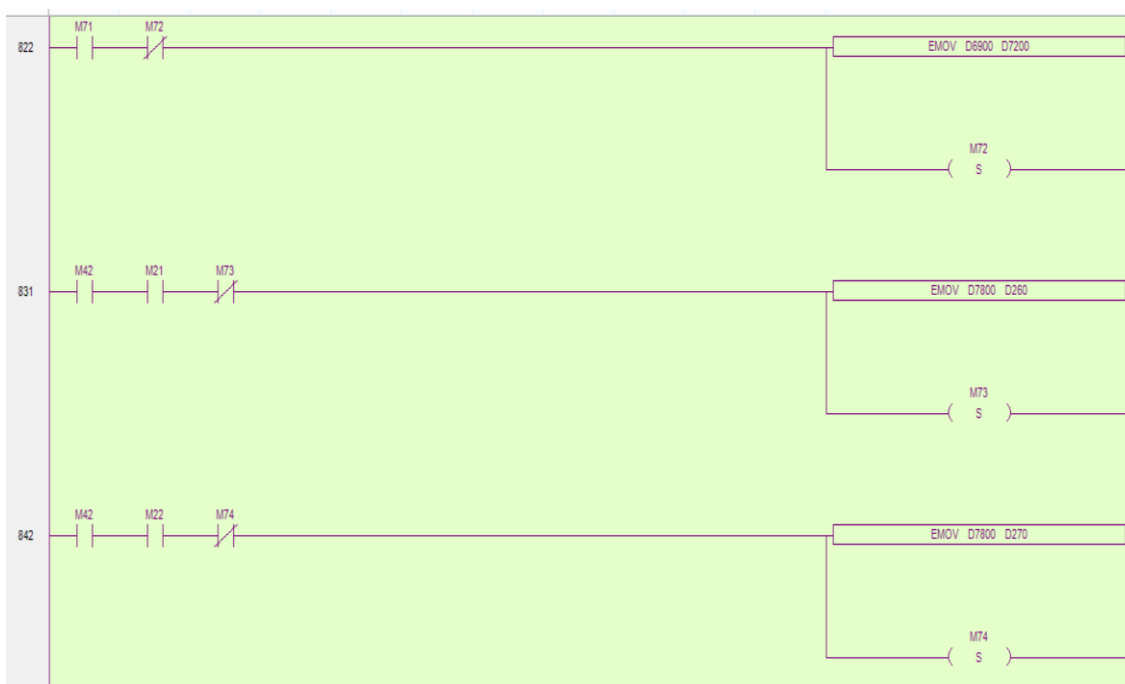
➤ Enceramiento de la celda de carga.



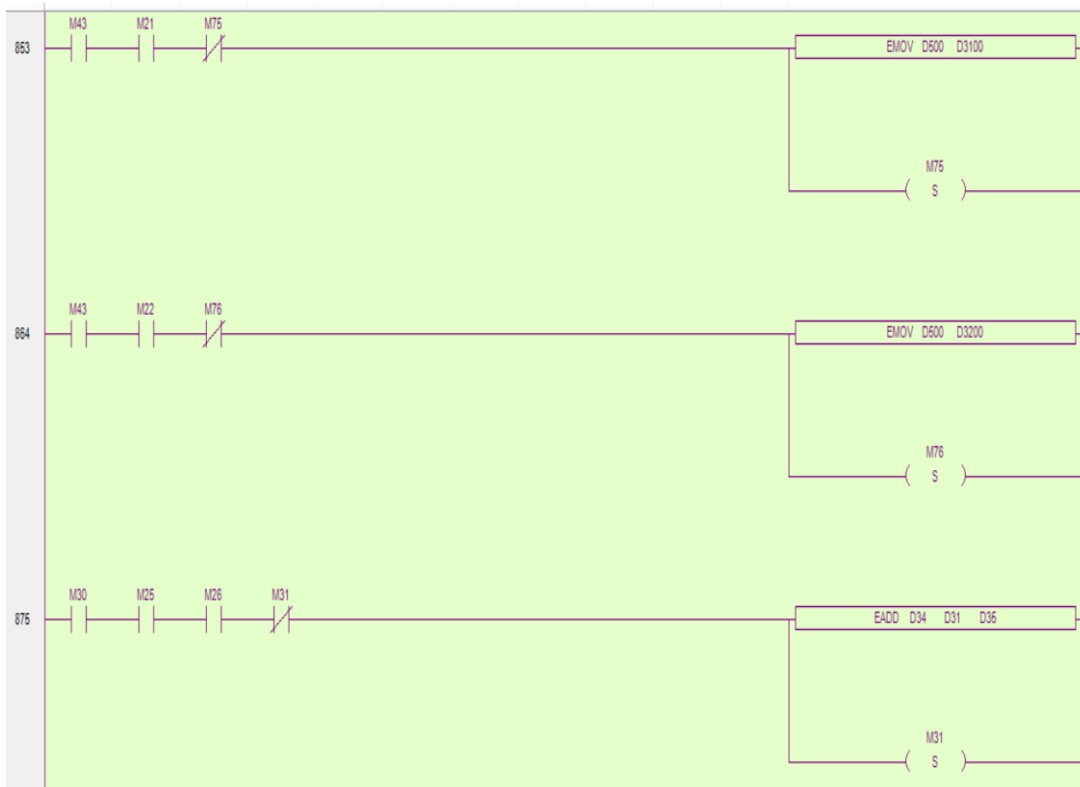
➤ Indicadores de fuerza.



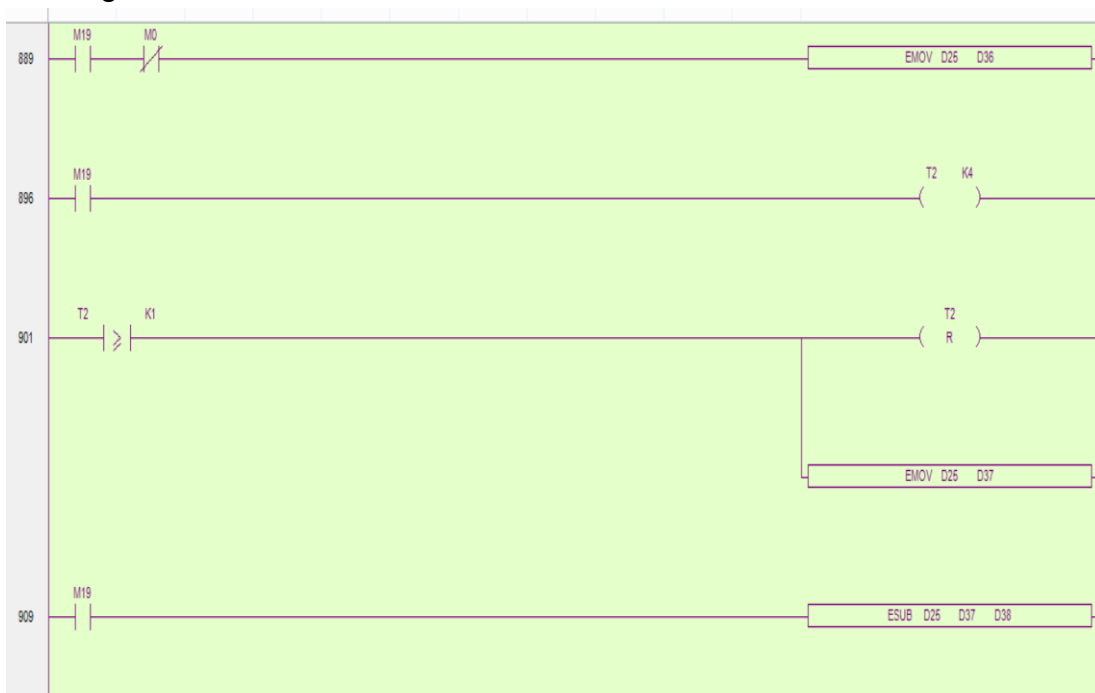
➤ Selección de funciones de fatiga.



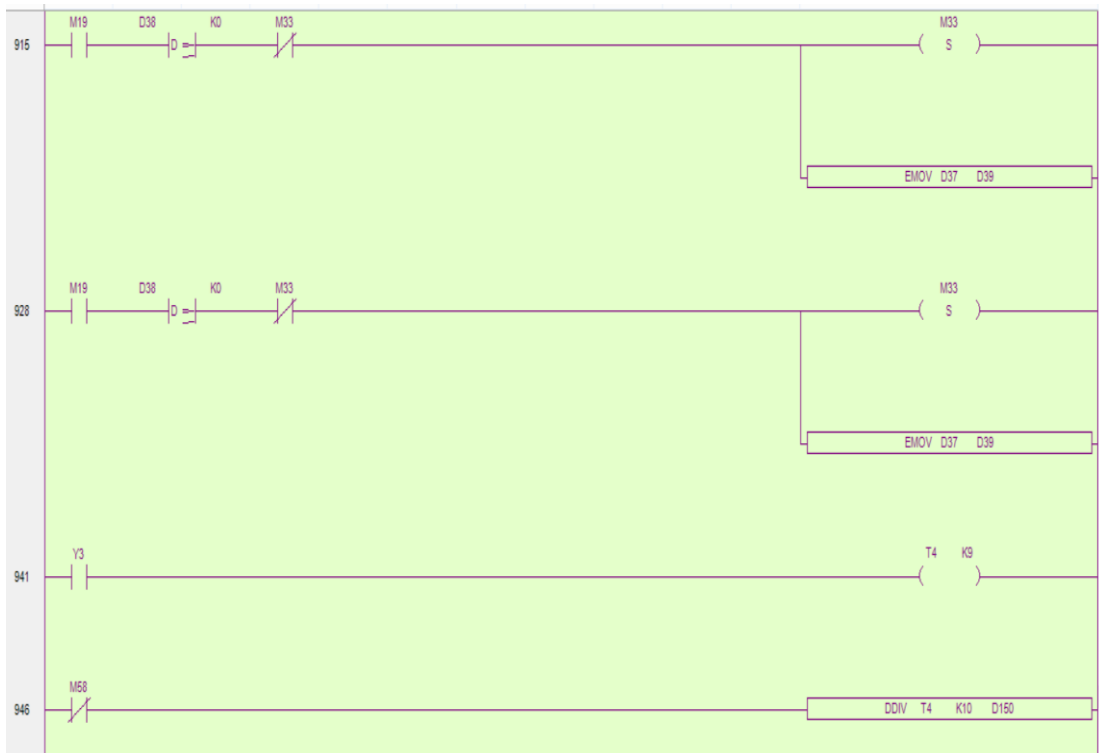
➤ Cálculos variables del ensayo.



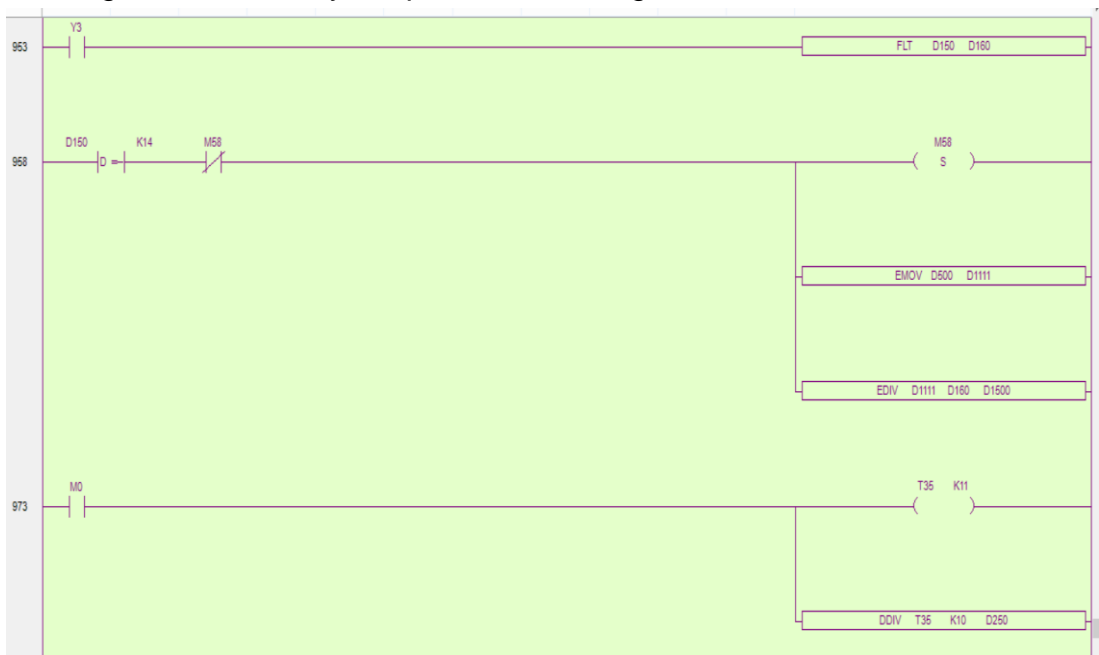
➤ Registros variables cíclicas.



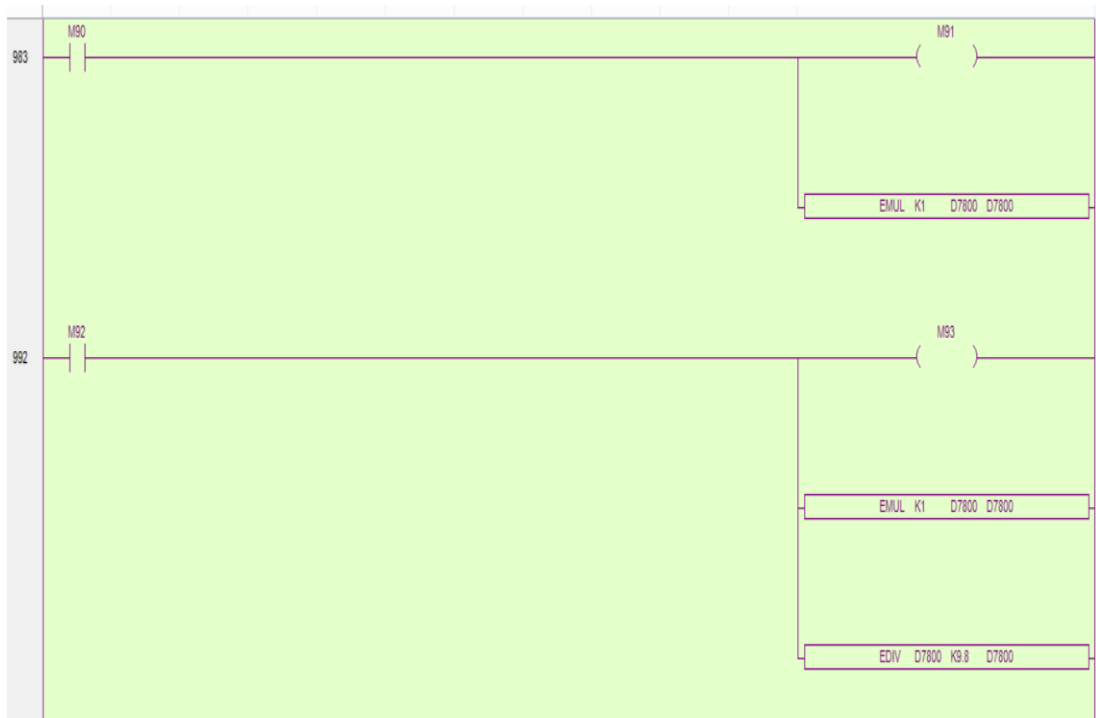
➤ Cálculo de fuerzas tracción y compresión.



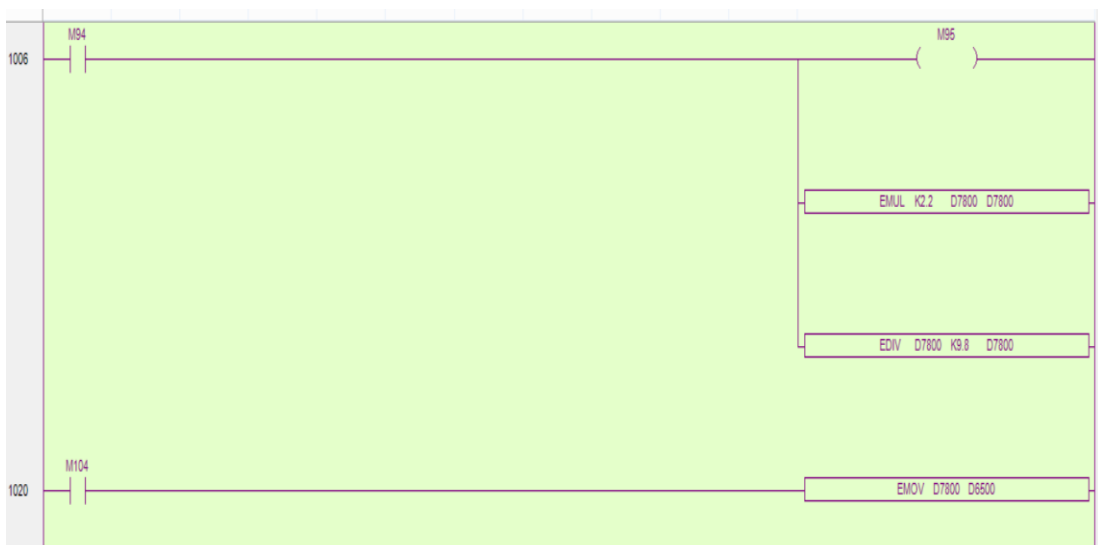
➤ Registro de fuerza y desplazamiento fatiga.



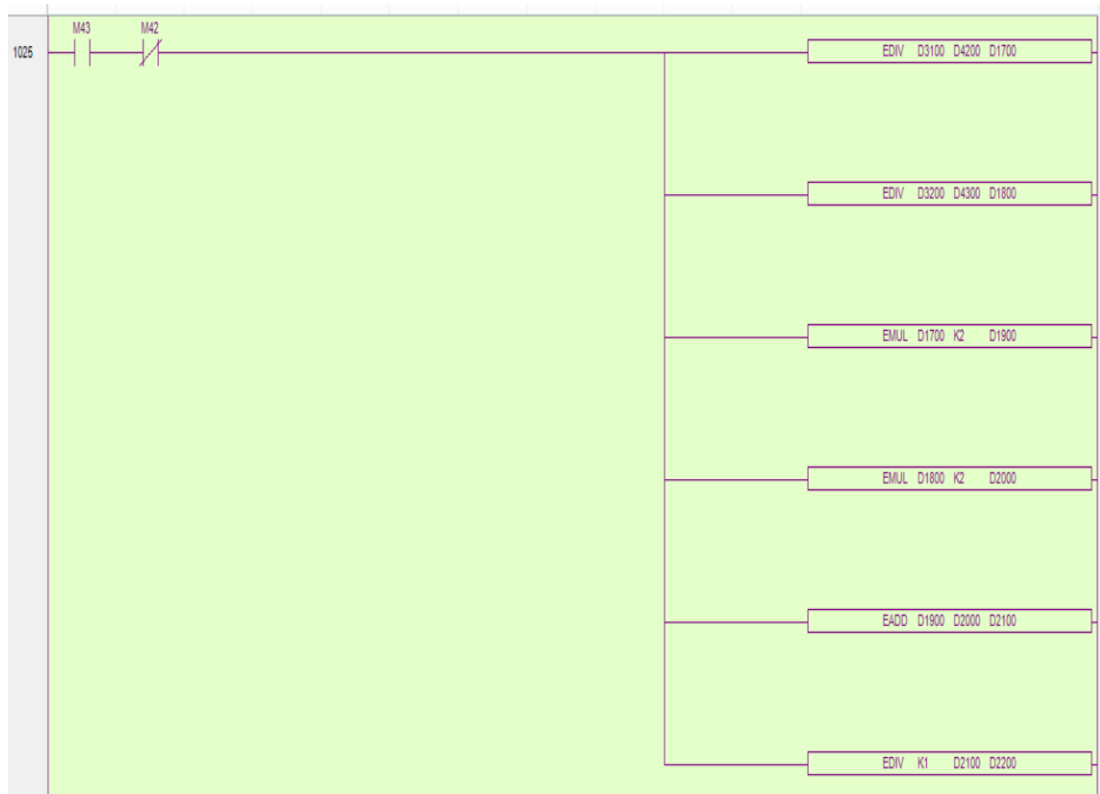
➤ Conversión unidades de fuerza.



➤ Control función fatiga fuerza.



➤ Control función fatiga frecuencia.

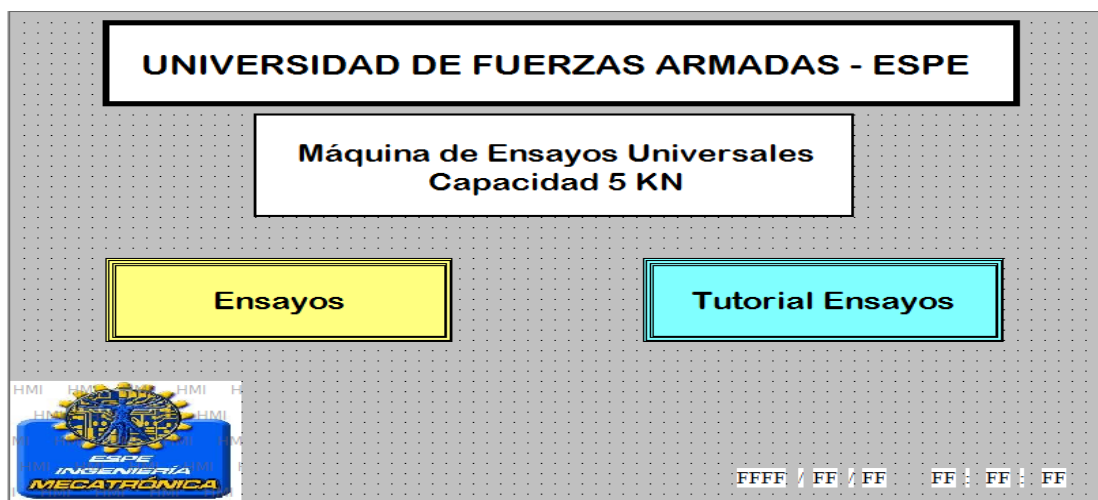


4.3.2. Diseño de interface humano maquina (HMI)

Luego de realizar la programación LADER, se procedió a realizar el interfaz humano máquina. A continuación, se detalla las interfaces HMI de programación.


➤ Ventana Home

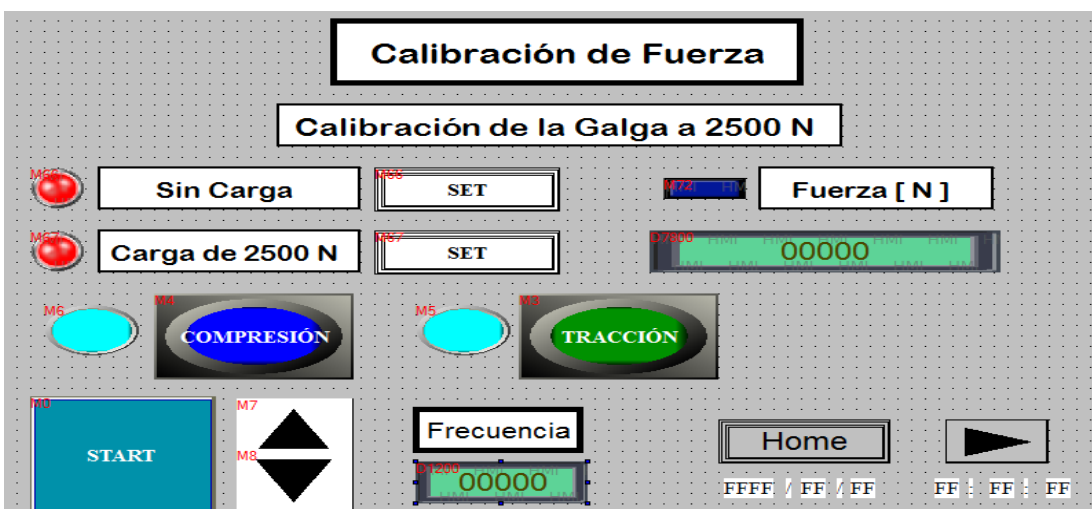
En esta ventana se le designo con el nombre de Home, es la primera que observará el operador al encender la máquina, donde tendrá dos opciones, ir a la ventana Ensayos o Tutorial de Ensayos.



➤ Ventana Calibración Fuerza

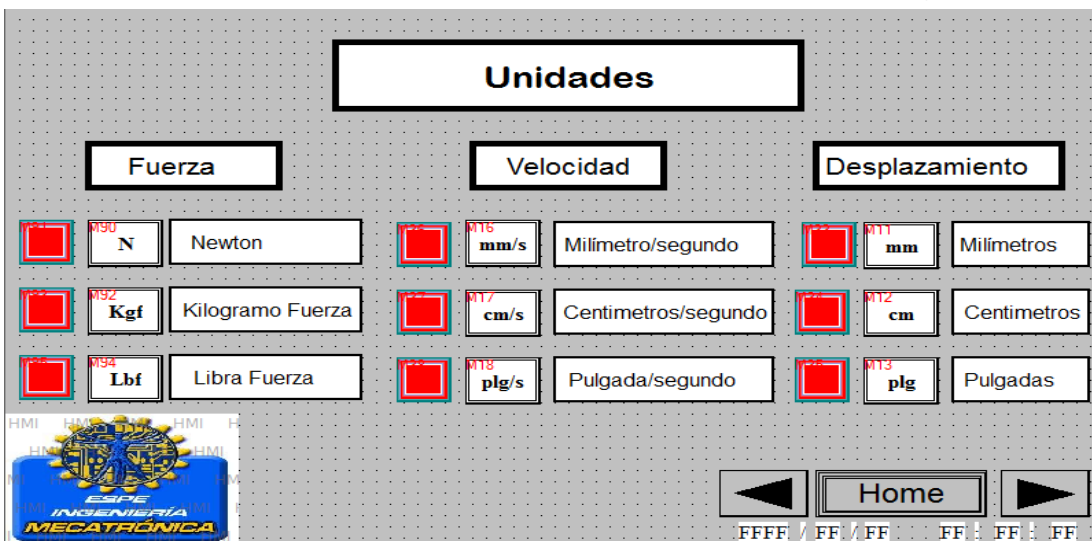
Si el operador elige la opción Ensayos se le desplegará una ventana previa antes de la elección del tipo de ensayo. La cual permite la calibración de la celda de carga, siendo el primer paso guardar el registro de valores de voltaje de la celda sin ejercer carga (Pulsando SET), luego aplicar una carga de 2 500 N a compresión y guardar el registro del voltaje que emite la celda de carga bajo esta fuerza (Pulsando SET). El indicador indicara el valor de 2 500


N si se ha calibrado correctamente. Presione la flecha  para continuar con la función Ensayos que ofrece la interfaz.



➤ Ventana Unidades

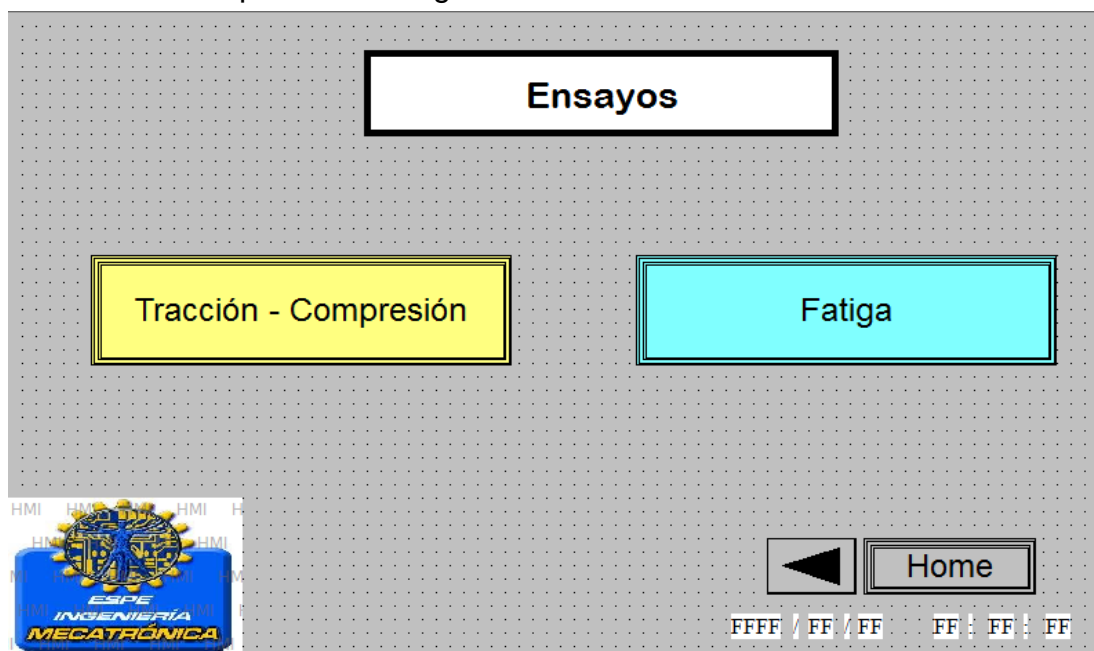
A continuación de la calibración de la celda de carga, el usuario deberá elegir las unidades las cuales desea trabajar durante el ensayo. Así pues, se despliega las opciones de Fuerza, Velocidad y Desplazamiento con sus diferentes unidades de medidas, dichas unidades fueron exigidas por el



operador bajo sus necesidades de implementación. El indicador led indicara la selección de la unidad. Presione la flecha  para continuar con la función Ensayos que ofrece la interfaz.

➤ Ventana Ensayos

El usuario podrá elegir la función en la que desea opera la máquina: Tracción – Compresión o Fatiga.





➤ Ventana Tracción/Compresión

Si el operador eligió la función Tracción-Compresión se le desplegara una ventana multifuncional como se muestra y se detalla su funcionamiento a continuación.

Existe dos botones Compresión/Tracción cada uno con luz de función indicadora, el operario deberá seleccionar la función de operación de la

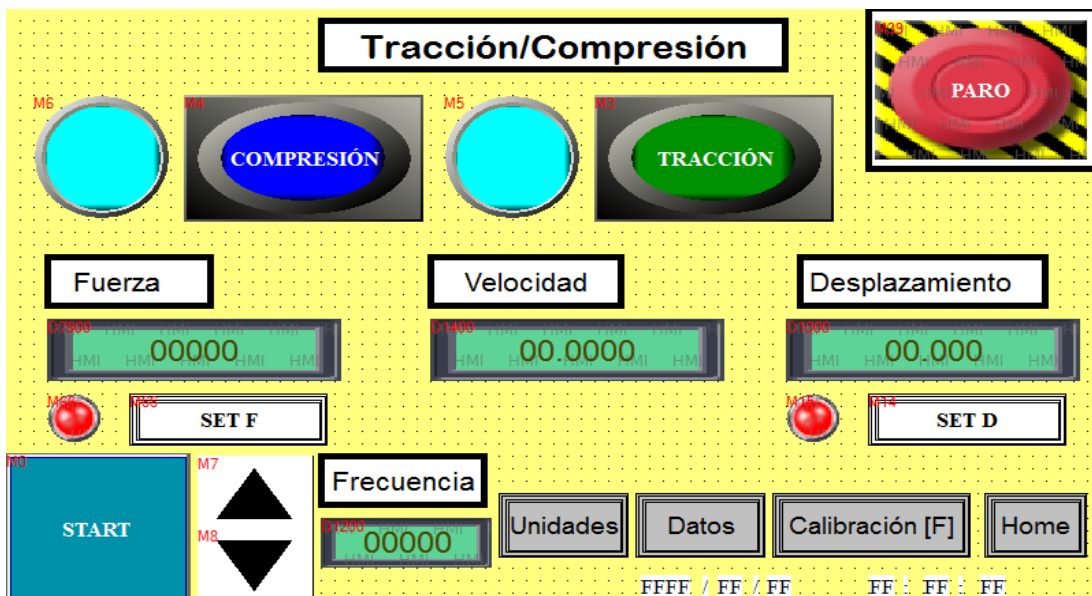
maquina por medio de estos dos botones y la luz indicadora de cada uno se encenderá confirmando la selección.

El operador puede variar la frecuencia del motor por medio de los dos botones los   cuales sirven para aumentar y disminuir la velocidad del motor de forma directa. Para el encendido del motor y la ejecución del ensayo el operador tendrá que presionar START

El usuario podrá observar la Fuerza que se está aplicando al material en tiempo real durante el ensayo. Con la opción SET F la cual permite resetear los valores de fuerza de la celda de carga, es aconsejable presionar este botón SET F antes de empezar cualquier ensayo.

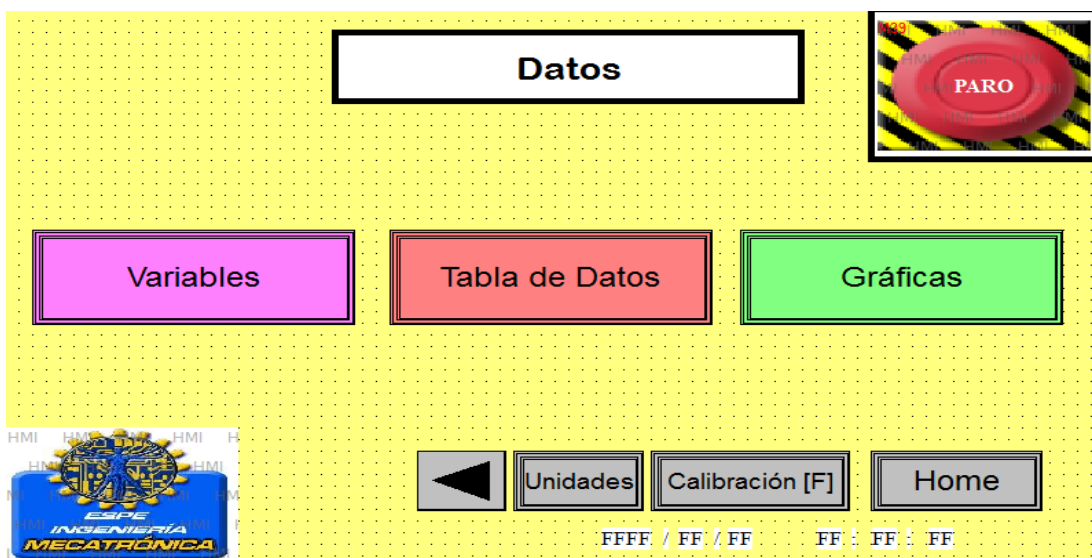
La velocidad con la que se desplaza la mordaza móvil se mostrara en la pantalla en un tiempo de espera de 5 segundos (tiempo que tarda en calcular la velocidad) después de iniciar el ensayo, siendo positiva en tracción y negativa a compresión. Antes de calcular la velocidad o iniciar el ensayo es aconsejable presionar el botón SET D para que la máquina realice un cálculo exacto de las variables a controlar.

El operador podrá observar el desplazamiento que realiza la mordaza móvil en tiempo real, así como también podrá elegir el punto de referencia de medición del desplazamiento presionando el botón SET D, el cual coloca dicha posición como referencia siendo el desplazamiento positivo en tracción y negativo en compresión. En la parte inferior el operador podrá elegir las opciones: Unidades, Datos, Calibración Fuerza y Home; las cuales lo llevarán a dicha ventana de control que ofrece la interfaz de la máquina.



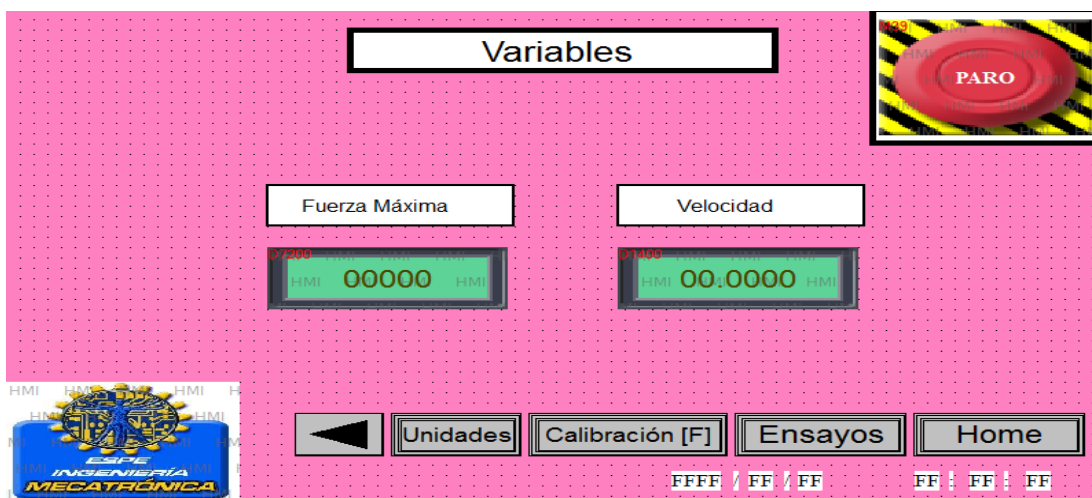
➤ Ventana Datos

Si el operador selecciona la opción *Datos* de la pantalla *Tracción/Compresión*, se indicará la pantalla *Datos*, en la cual podrá elegir las opciones: *Variables*, *Tabla de Datos* y *Gráficas*.



➤ Ventana Variables

En la opción *Variables*, nos indicará la *Fuerza Máxima* y la *Velocidad* con las que se trabajó en el ensayo.



➤ Ventana Tabla de Datos



En la opción *Tabla de Datos*, nos indica tres elecciones las cuales el operador podrá elegir para desplegar los datos: *Fuerza/Desplazamiento*, *Fuerza/Tiempo*, *Desplazamiento/Tiempo*. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



➤ Ventana Fuerza v.s. Desplazamiento

En esta ventana el usuario podrá visualizar y obtener los datos de *Fuerza* y *Desplazamiento*, a continuación, se detalla su funcionamiento.

En la parte superior de la ventana el usuario podrá elegir los dos tipos de ensayos *Tracción* y *Compresión* cada uno con su respectivo indicador.

En la parte superior izquierda de la ventana se colocó los botones  y  los cuales cumplen la misma función indicada anteriormente, también el usuario podrá observar la frecuencia a la q está trabajando el motor mediante el indicador digital que se encuentra bajo el botón *START*.

En la parte central izquierda se encuentra la tabla de las variables fuerza, desplazamiento y tiempo, el usuario podrá observar en tiempo real la adquisición de datos durante el ensayo. El tiempo de adquisición de dato es de 1 s.

En la parte central derecha se colocó dos indicadores digitales de fuerza y desplazamiento cada uno con su botón *SET F* y *SET D*, estos dos botones se los coló para que el operador antes de cada ensayo tiene que setear estas dos variables para que los datos sean los exactos. El usuario puede descargar los datos del ensayo en una memoria, si presiona el botón *ON* asegurándose que el indicador junto a este cambie de color, los datos se guardan en una carpeta con el nombre de *Fuerza* la cual contiene un archivo de tipo .xlsx, para así el estudiante tenga registro y pueda utilizar para sus investigaciones. El botón *CLEAR* sirve para limpiar la tabla, es decir borrar los datos para así poder empezar con un nuevo registro del ensayo.



En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



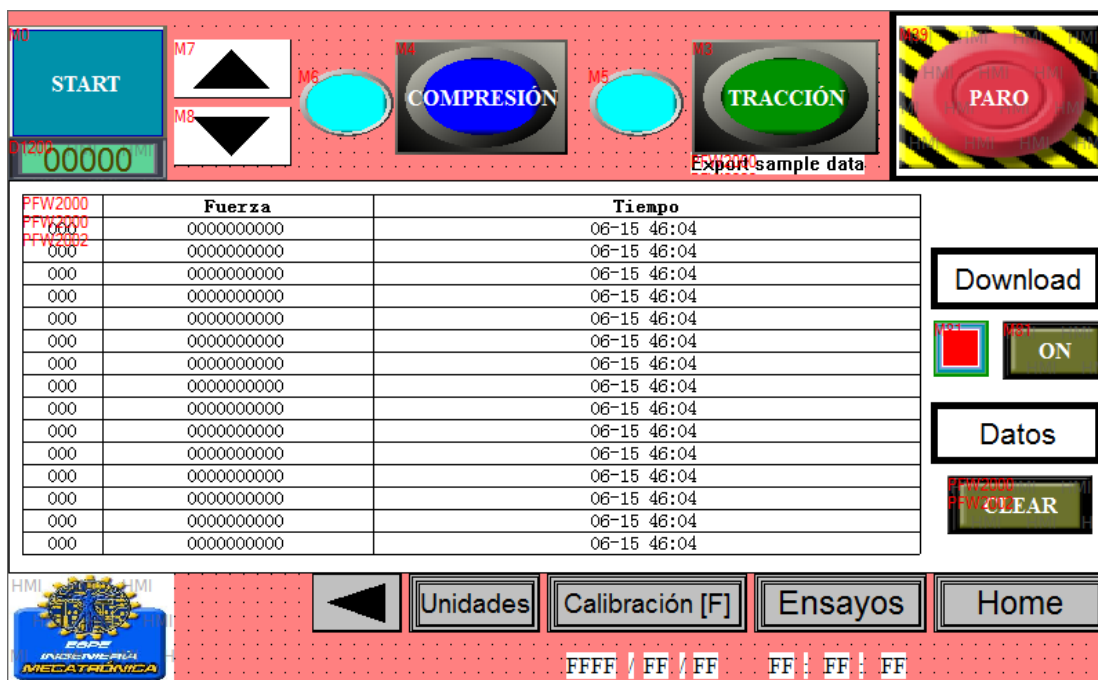
➤ Ventana Fuerza v.s Tiempo

En esta ventana el usuario podrá visualizar y obtener los datos de *Fuerza* y *Tiempo*, a continuación, se detalla su funcionamiento.

En la parte superior de la ventana el usuario podrá elegir los dos tipos de ensayos *Tracción* y *Compresión* cada uno con su respectivo indicador.

En la parte superior izquierda de la ventana se colocó los botones  y  los cuales cumplen la misma función indicada anteriormente, también el usuario podrá observar la frecuencia a la q está trabajando el motor mediante el indicador digital que se encuentra bajo el botón *START*.

En la parte central izquierda se encuentra la tabla de las variables fuerza y tiempo, el usuario podrá observar en tiempo real la adquisición de datos durante el ensayo. El tiempo de adquisición de dato es de 1 s.



El usuario puede descargar los datos del ensayo en una memoria, al igual que en la ventana Fuerza v.s. Tiempo. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.

➤ Ventana Desplazamiento v.s Tiempo

En esta ventana el usuario podrá visualizar y obtener los datos de *Desplazamiento* y *Tiempo*, a continuación, se detalla su funcionamiento.

En la parte superior de la ventana el usuario podrá elegir los dos tipos de ensayos Tracción y Compresión cada uno con su respectivo indicador.

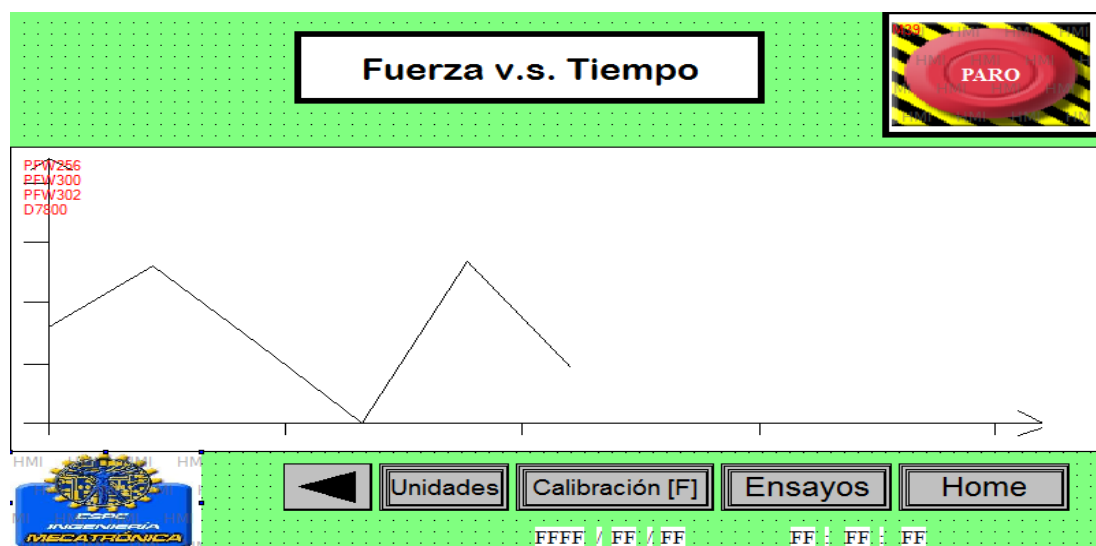
➤ Ventana Gráficas

Si el usuario selecciono en la ventana de *Datos* la opción *Gráficas* se le desplegara la pantalla a continuación. En donde podrá elegir dos opciones a visualizar: *Fuerza v.s Tiempo* y *Desplazamiento v.s. Tiempo*. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



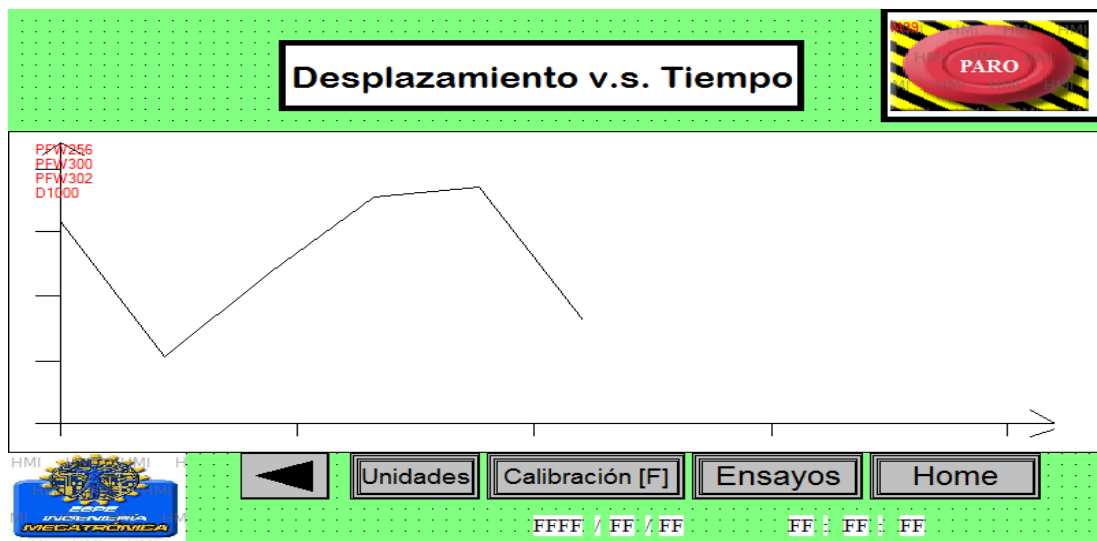
➤ Ventana Gráfica Fuerza v.s. Tiempo

Grafica en tiempo real la fuerza en el eje Y, y el tiempo en el eje X.



➤ Ventana Gráfica Desplazamiento v.s. Tiempo

Grafica en tiempo real el desplazamiento en el eje Y, y el tiempo en el eje X



➤ Ventana Calibración de Velocidad de Fatiga


Se despliega esta interfaz, si el usuario seleccionó la función *Fatiga* en la ventana Ensayos. Antes de que la máquina pueda operar de forma eficaz esta función, el operador deberá calibrar la velocidad de la mordaza móvil a la que quiere trabajar durante el ensayo.

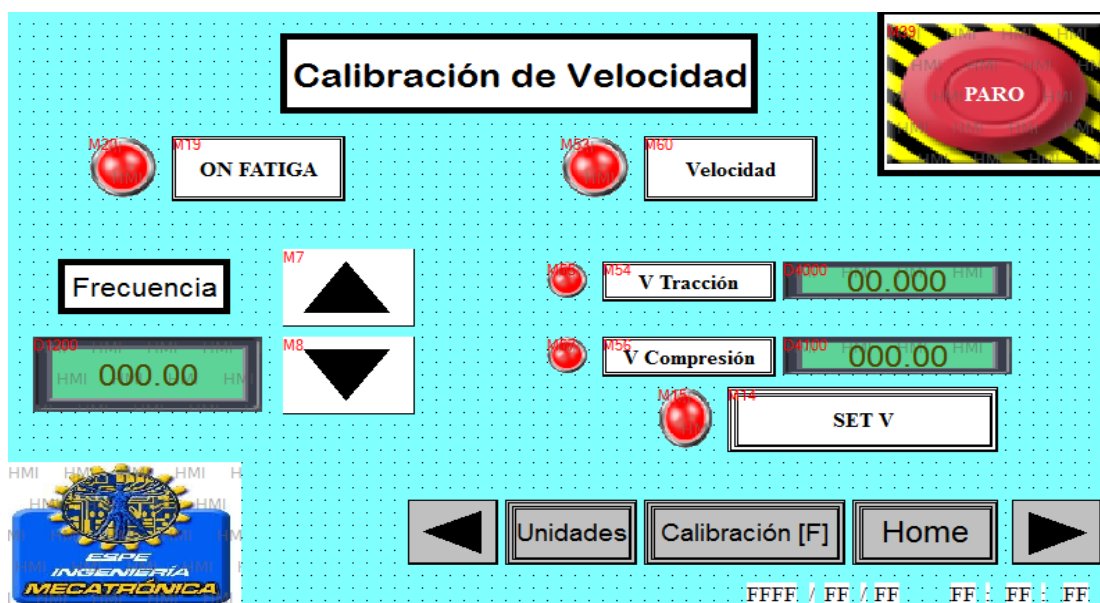
En la parte superior izquierda el usuario deberá activar el botón *ON FATIGA* asegurándose que el led indicador cambie de color, esta opción tiene que estar activada durante todo el ensayo, para que el operador pueda manipular todas las funciones de fatiga que ofrece el software máquina.

Para la calibración de la velocidad de trabajo de la mordaza móvil, es necesario que el operador determine la frecuencia a la que el motor quiere trabajar durante el ensayo, para ello se coló el indicador digital de frecuencia

y los dos botones variadores de frecuencia en la parte inferior izquierda de la pantalla.

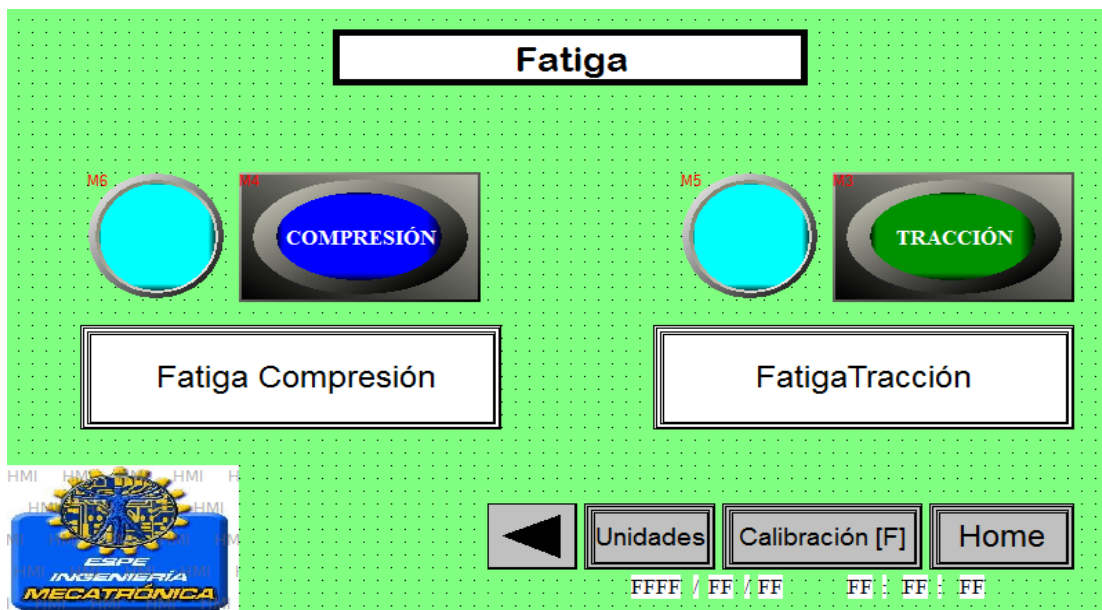
Después de determinar la frecuencia a la que desea trabajar, el usuario deberá presionar el botón *Velocidad* para que el software pueda calcular la velocidad promedio, esto se debe a que la velocidad de tracción no es la misma que la de compresión ya que se comprobó en el capítulo estado de la máquina. Siendo así el usuario deberá pulsar el botón *V Tracción* para determinar velocidad a tracción y luego pulsar el botón *V Compresión* para determinar la velocidad a compresión. Si no se ha cumplido de forma correcta la secuencia (*Velocidad-V tracción-V Compresión*) de para establecer la velocidad de fatiga promedio, el operador deberá presionar el botón *SET V* para volver a empezar el cálculo de la velocidad de la mordaza móvil.

Presione la flecha  para continuar con la función *Fatiga* que ofrece la interfaz. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



➤ Ventana Fatiga

Luego de haber calibrado la velocidad de fatiga, el operador deberá escoger si el ensayo de fatiga empieza a *Compresión* o *Tracción*. Para ello deberá presionar cualquiera de las dos funciones asegurándose que el led indicador este encendido de acuerdo a la selección, luego deberá seleccionar la opción bajo la función escogida previamente.



➤ Ventanas Fatiga Compresión-Tracción

El usuario se le desplegará la misma interfaz, sea cual sea la elección de *Fatiga Compresión* o *Fatiga Tracción*.


En la parte superior de la ventana se encuentra los controladores de *Frecuencia/Encendido* del motor y funciones de *Tracción/Compresión*, para que el operador pueda controlar las condiciones iniciales del ensayo de fatiga. Esta interfaz ofrece al usuario cuatro funciones de control: función fuerza, desplazamiento, ciclos y pre-carga. La función de fuerza o desplazamiento trabajan de forma separada, es decir una sola a la vez.

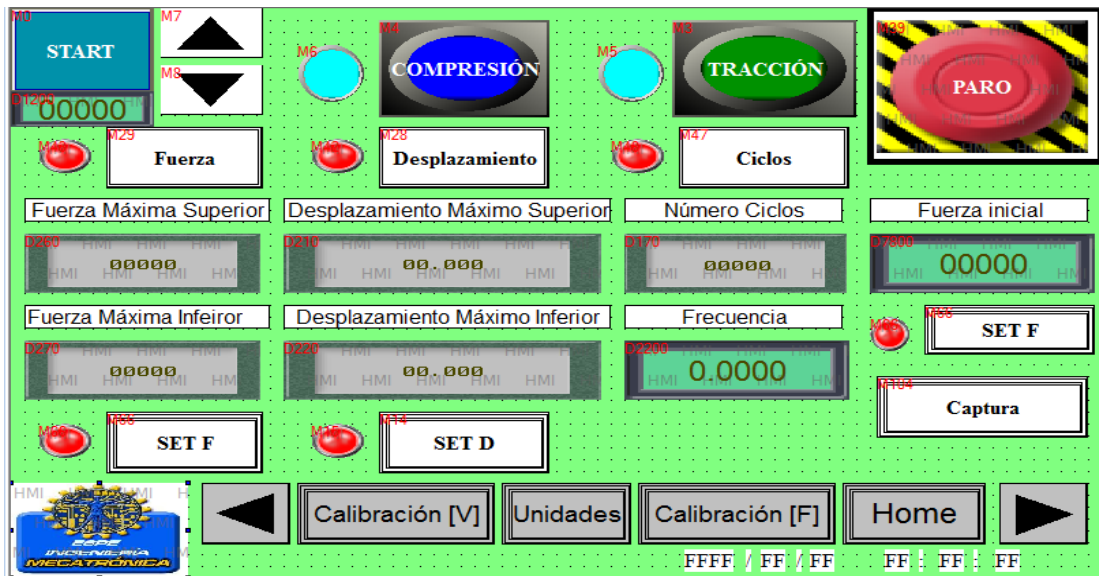
Si el operador selecciona la función fuerza el indicador cambiara de color, lo cual permitirá establecer los rangos de fuerza máxima superior e inferior de la onda senoidal formada por fatiga sea está a tracción o a compresión, estos límites de fuerza que establece el operador generan el cambio de giro del motor para así producir fatiga.

Si el operador selecciona la función desplazamiento el indicador cambiara de color, lo cual permitirá establecer los rangos de desplazamiento máximo superior e inferior de la onda senoidal formada por fatiga sea está a tracción o a compresión, estos límites de desplazamiento que establece el operador generan el cambio de giro del motor para así producir fatiga. La función ciclos permite establecer el límite de ciclos de fatiga que desea que la máquina trabaje durante el ensayo.

La función pre-carga, guarda el valor de la fuerza inicial con la que comienza el ensayo de fatiga. Para ello el operador tendrá que presionar la opción *Captura* para guardar la fuerza de pre-carga en las variables del ensayo.

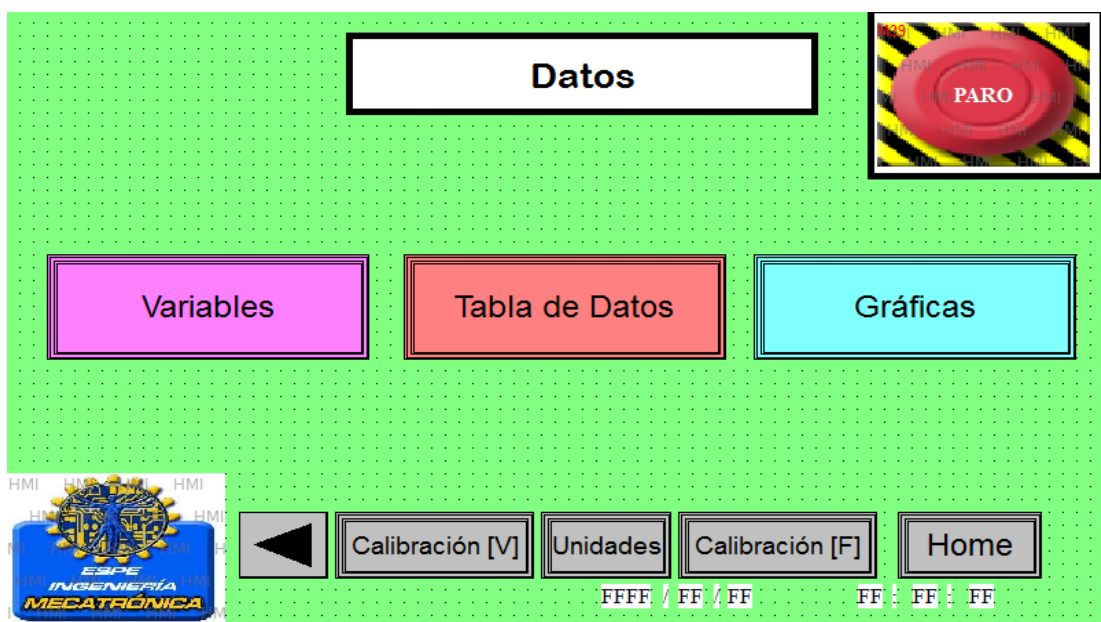
Es recomendable antes de ingresar cualquier valor a controlar de Fuerza, Desplazamiento, Ciclos o Fuerza Inicial, presionar las opciones *SET F* y *SET D* para que el software pueda calcular de forma exacta las variables necesarias para el análisis del ensayo de fatiga y así poder descargar todos estos datos. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.

Presione la flecha  para continuar con la función *Fatiga* que ofrece la interfaz.



➤ Ventana Datos Fatiga

Si el operador selecciona la opción de la pantalla *Fatiga Tracción/Compresión*, se indicará la pantalla *Datos*, en la cual podrá elegir las opciones: *Variables*, *Tabla de Datos* y *Gráficas*.



➤ Ventana Variables Fatiga

En la opción *Variables*, nos indicará la *Fuerza Máxima Superior, Inferior e Inicial*, el *Desplazamiento Máximo Superior e Inferior*, la *Velocidad*, los *Ciclos* y la *Frecuencia*; todas estas variables son las calcula el software y que interpretan las ondas senoidales de fuerza y desplazamiento que se forma durante el ensayo de fatiga.

En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



➤ Ventana Tabla de Datos Fatiga



En la opción *Tabla de Datos Fatiga*, nos indica tres elecciones las cuales el operador podrá elegir para desplegar los datos: *Fuerza/Desplazamiento*, *Fuerza/Tiempo*, *Desplazamiento/Tiempo*. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



➤ Ventana Fuerza v.s. Desplazamiento Fatiga

En esta ventana el usuario podrá visualizar y obtener los datos de *Fuerza* y *Desplazamiento a Fatiga*, a continuación, se detalla su funcionamiento.

En la parte superior de la ventana el usuario podrá elegir los dos tipos de ensayos *Tracción* y *Compresión* a fatiga cada uno con su respectivo indicador.

En la parte superior izquierda de la ventana se colocó los botones  y  los cuales cumplen la misma función indicada anteriormente, también el usuario podrá observar la frecuencia a la q está trabajando el motor mediante el indicador digital que se encuentra bajo el botón *START*.

En la parte central izquierda se encuentra la tabla de las variables fuerza, desplazamiento y tiempo, el usuario podrá observar en tiempo real la adquisición de datos durante el ensayo. El tiempo de adquisición de dato es de 1 s.

En la parte central derecha se colocó dos indicadores digitales de fuerza y desplazamiento cada uno con su botón *SET F* y *SET D*, estos dos botones


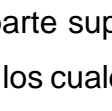
se los coló para que el operador antes de cada ensayo tiene que setear estas dos variables para que los datos sean los exactos. El usuario puede descargar los datos del ensayo en una memoria, si presiona el botón *ON* asegurándose que el indicador junto a este cambie de color, los datos se guardan en una carpeta con el nombre de *Fuerza* la cual contiene un archivo de tipo *.xlsx*, para así el estudiante tenga registro y pueda utilizar para sus investigaciones. El botón *CLEAR* sirve para limpiar la tabla, es decir borrar los datos para así poder empezar con un nuevo registro del ensayo.



➤ Ventana Fuerza v.s. tiempo Fatiga

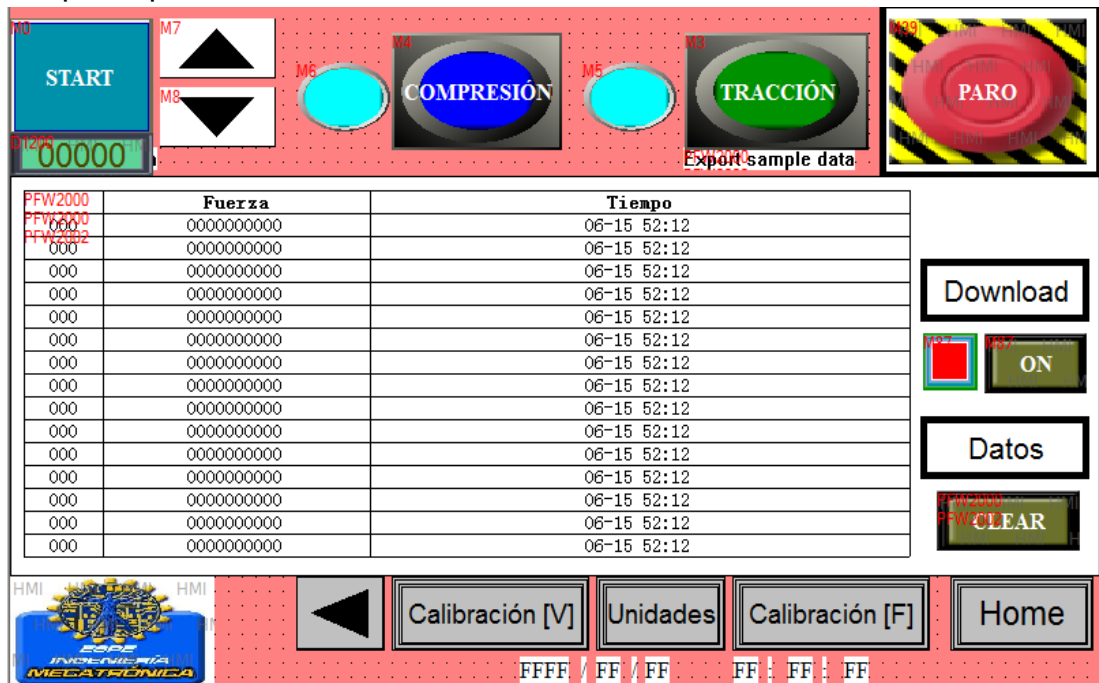
En esta ventana el usuario podrá visualizar y obtener los datos de *Fuerza* y *Tiempo a fatiga*, a continuación, se detalla su funcionamiento.

En la parte superior de la ventana el usuario podrá elegir los dos tipos de ensayos *Tracción* y *Compresión a fatiga* cada uno con su respectivo indicador.

En la parte superior izquierda de la ventana se colocó los botones  y  los cuales cumplen la misma función indicada anteriormente, también el usuario podrá observar la frecuencia a la q está trabajando el motor mediante el indicador digital que se encuentra bajo el botón *START*.

En la parte central izquierda se encuentra la tabla de las variables fuerza y tiempo, el usuario podrá observar en tiempo real la adquisición de datos durante el ensayo. El tiempo de adquisición de dato es de 1 s.

El usuario puede descargar los datos del ensayo en una memoria, al igual que en la ventana Fuerza v.s. Tiempo. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.





The screenshot shows the HMI control interface with the following elements:

- Top Left:** A blue 'START' button with a digital display showing '00000' below it.
- Top Center:** Two black arrow buttons (M7 up, M8 down) and two cyan circular indicators (M6 and M5).
- Top Right:** A blue 'COMPRESIÓN' button, a green 'TRACCIÓN' button, and a red 'PARO' button with a yellow and black hazard border.
- Table:** A table with columns 'Fuerza' and 'Tiempo'. The 'Fuerza' column contains values like '0000000000' and '0000000000'. The 'Tiempo' column contains values like '06-15 52:12'.
- Bottom Right:** A 'Download' button, a red 'ON' button, a 'Datos' button, and a 'CLEAR' button.
- Bottom:** Navigation buttons: 'Calibración [V]', 'Unidades', 'Calibración [F]', and 'Home'. Below these are status indicators: 'FFFF / FF / FF' and 'FF : FF : FF'.

➤ Ventana Desplazamiento v.s. tiempo Fatiga

En esta ventana el usuario podrá visualizar y obtener los datos de *Desplazamiento* y *Tiempo*, a continuación, se detalla su funcionamiento.

En la parte superior de la ventana el usuario podrá elegir los dos tipos de ensayos Tracción y Compresión cada uno con su respectivo indicador.

En la parte superior izquierda de la ventana se colocó los botones  y  los cuales cumplen la misma función indicada anteriormente, también el usuario podrá observar la frecuencia a la q está trabajando el motor mediante el indicador digital que se encuentra bajo el botón *START*.

En la parte central izquierda se encuentra la tabla de las variables fuerza y tiempo, el usuario podrá observar en tiempo real la adquisición de datos durante el ensayo. El tiempo de adquisición de dato es de 1 s.

El usuario puede descargar los datos del ensayo en una memoria, al igual que en la ventana Desplazamiento y Tiempo. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar.



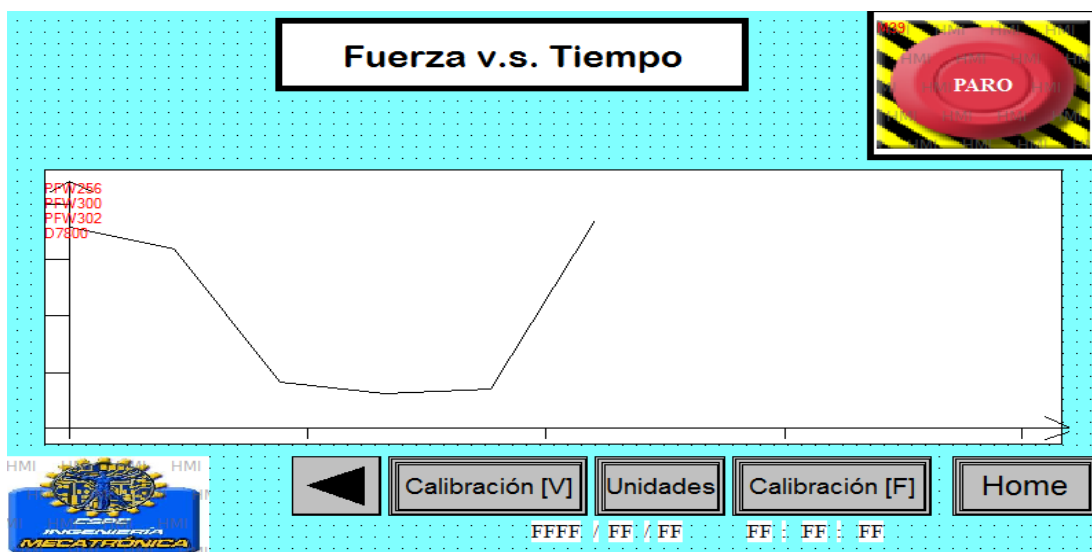
➤ Ventana Gráficas Fatiga

Si el usuario selecciono en la ventana de *Datos Fatiga* la opción *Gráficas* se le desplegara la pantalla a continuación. En donde podrá elegir dos opciones a visualizar: *Fuerza v.s Tiempo* y *Desplazamiento v.s. Tiempo*. En la parte inferior de la ventana se encuentra los botones de navegación los cuales abren la función de la máquina que desea controlar



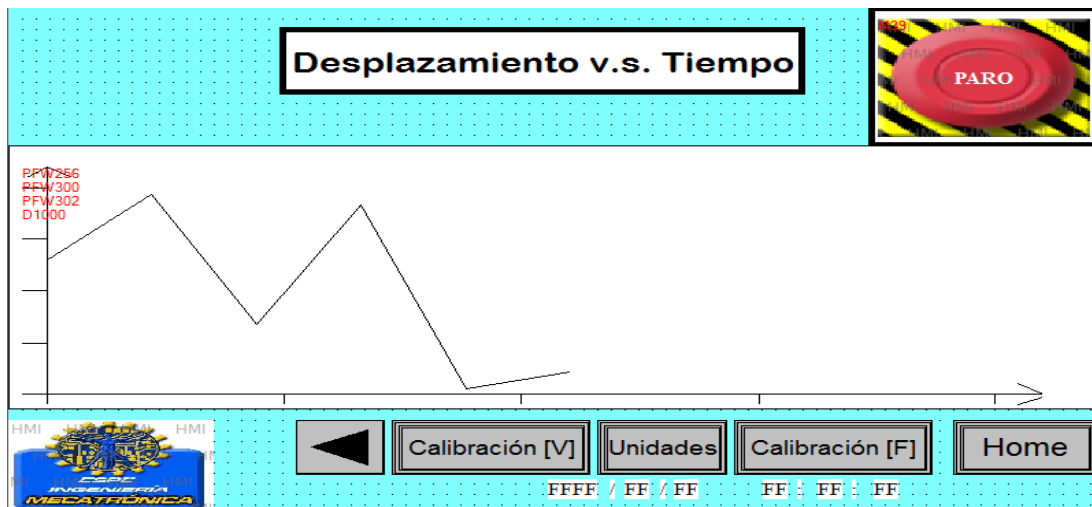
➤ Ventana Gráfica Fuerza v.s. Tiempo Fatiga

Gráfica en tiempo real la fuerza en el eje Y, y el tiempo en el eje X.




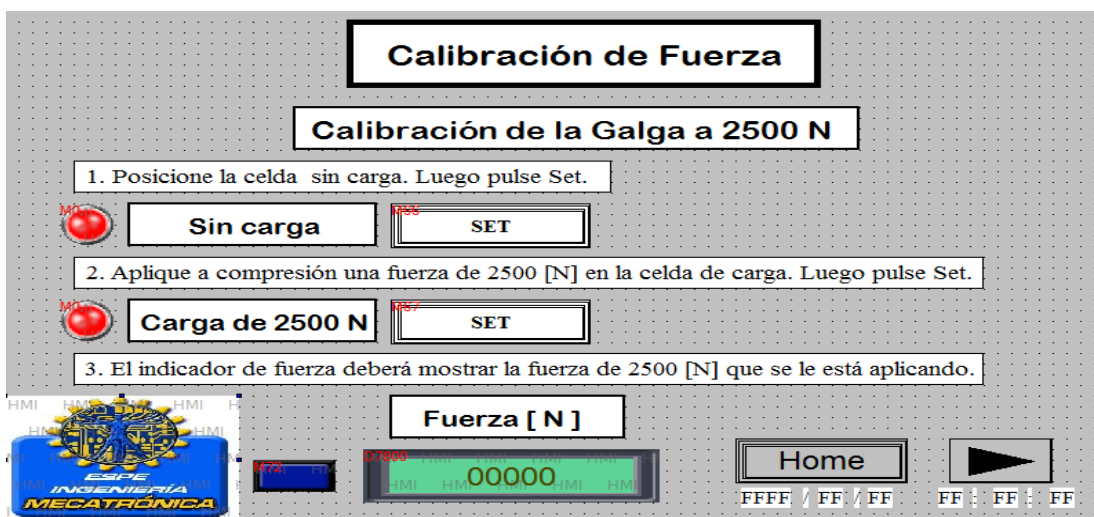
➤ Ventana Gráfica Desplazamiento v.s. Tiempo Fatiga

Gráfica en tiempo real la Desplazamiento en el eje Y, y el tiempo en el eje X.



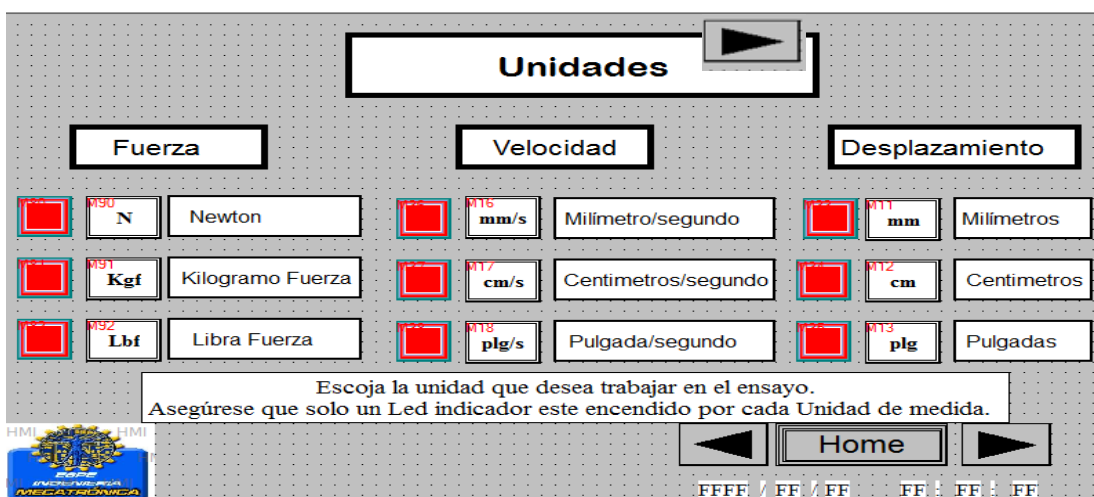
➤ Ventana Calibración de Fuerza Tutorial

Esta interfaz se desplegará si el usuario selecciona el modo *Tutorial Ensayos* de la ventana Home. En esta pantalla se muestra de forma detallada en forma de tutorial como calibrar la celda de carga. Si el operador selecciona la opción de la pantalla lo llevará al  siguiente tutorial del software.



➤ Ventana Unidades Tutorial

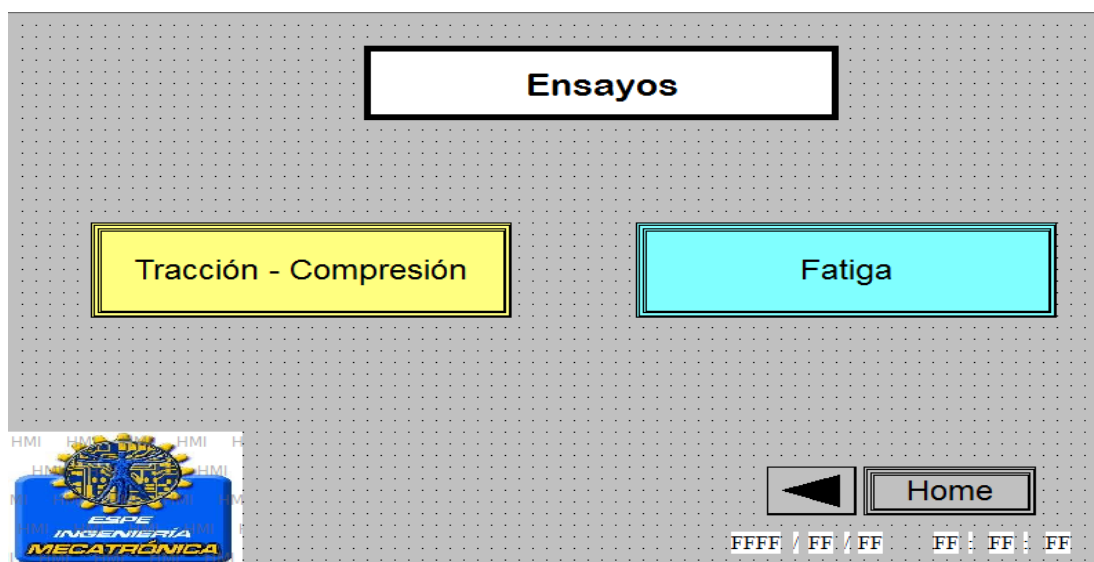
En esta pantalla se muestra de forma detallada en forma de tutorial como seleccionar las Unidades las cuales desea trabajar durante el ensayo. Si el




operador selecciona la opción de la pantalla lo llevará al siguiente tutorial del software.

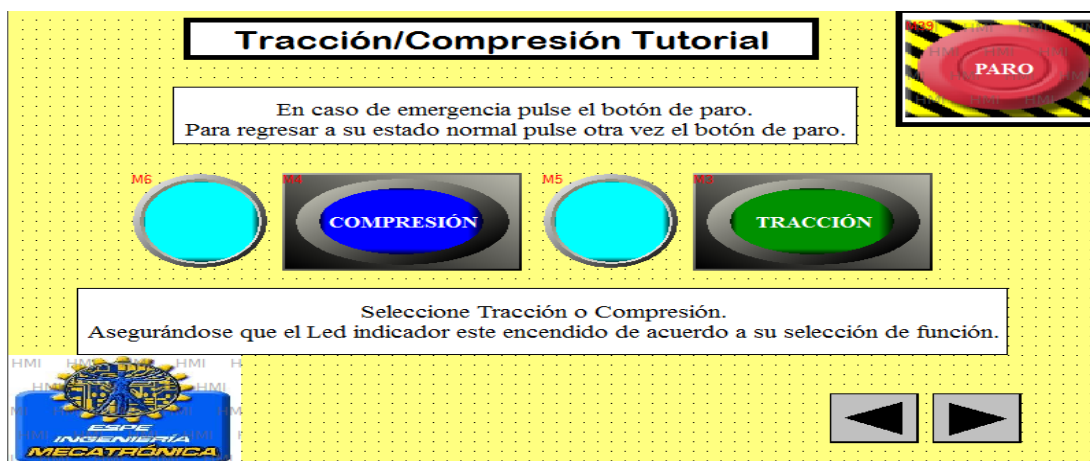
➤ Ventana Ensayos Tutorial

El usuario podrá elegir el tutorial de la máquina: Tracción – Compresión o Fatiga.

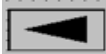


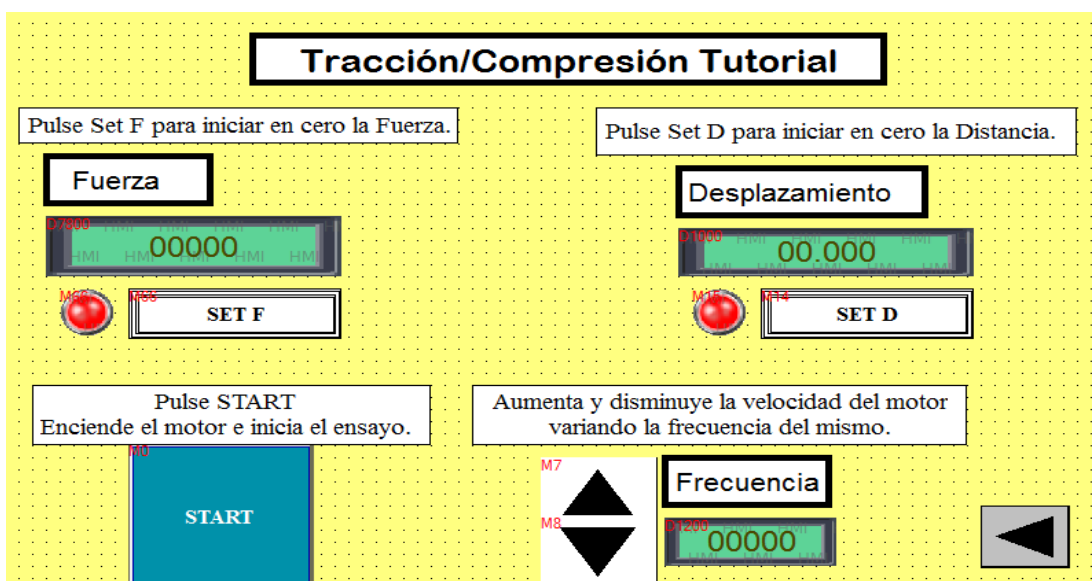
➤ Ventana Selección de función Tracción o Compresión Tutorial

En esta pantalla se muestra de forma de tutorial como seleccionar la función de *Tracción* o *Compresión* las cuales desea trabajar durante el ensayo. Si el operador selecciona la opción de la  pantalla lo llevará al siguiente tutorial del software.




➤ Ventana manipulación Tracción o Compresión Tutorial

En esta pantalla se indica de forma detallada todas las funciones y control de la máquina cuando se encuentra operando en *Tracción o Compresión*. Si el operador selecciona la opción de la pantalla lo  llevará al anterior tutorial del software.



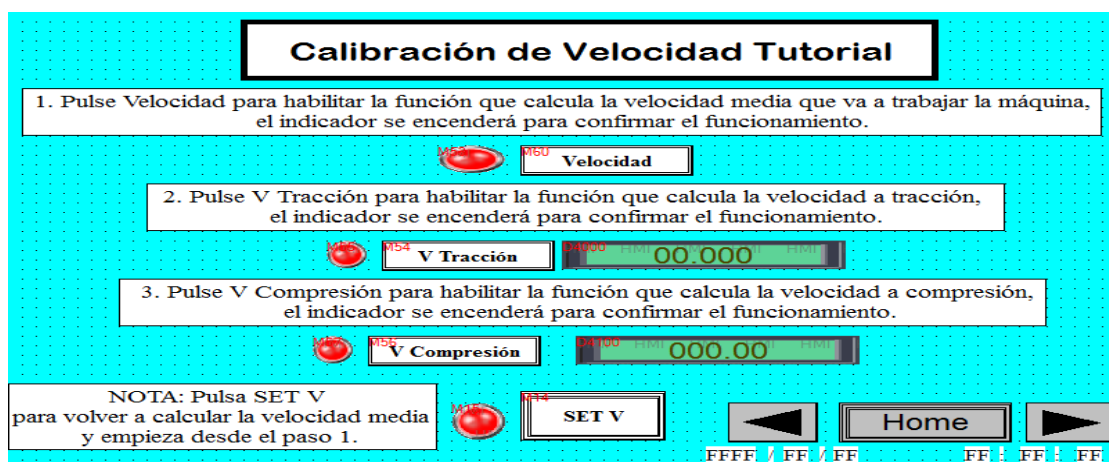
➤ Ventana función Fatiga Tutorial

Se despliega esta interfaz, si el usuario seleccionó la función *Fatiga Tutorial* en la ventana *Ensayos Tutorial*. Antes de que la máquina pueda operar de forma eficaz esta función, el operador deberá seleccionar la función fatiga y calibrar la frecuencia del motor a trabajar, para ello se ha explicado paso a paso como deber realizar el operador dicha operación. Si el operador selecciona la opción de la pantalla lo  llevará al siguiente tutorial del software.




➤ Ventana calibración velocidad Fatiga Tutorial

En esta interfaz el software muestra de forma detallada como debe el usuario calibrar la velocidad de trabajo de la mordaza móvil durante el ensayo de fatiga.




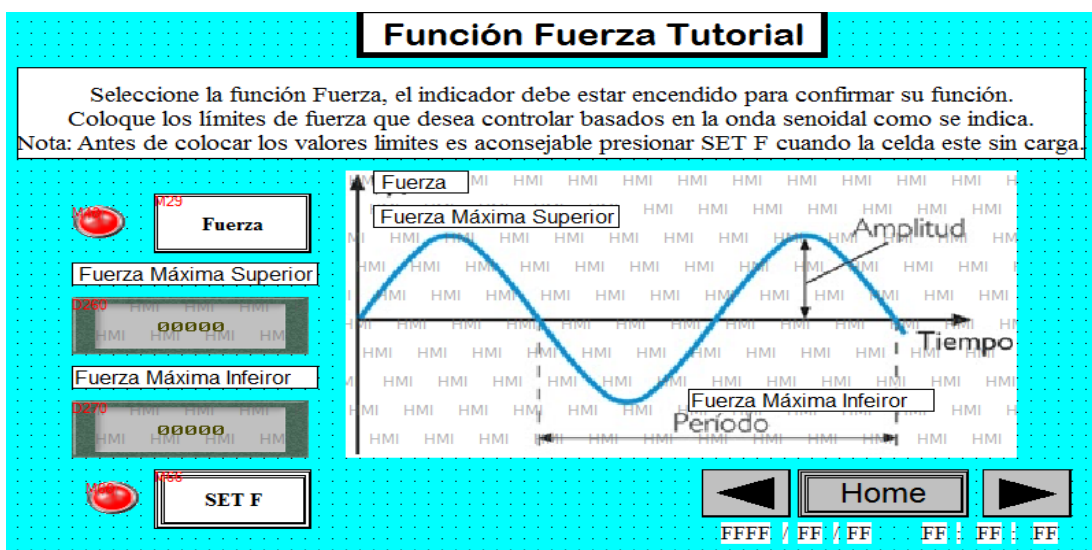
➤ Ventana selección Fatiga Tutorial

Luego de haber calibrado la velocidad de fatiga, el operador deberá escoger si el ensayo de fatiga empieza a *Compresión* o *Tracción tutorial*. Si el operador selecciona la opción de la  pantalla lo llevará al siguiente tutorial del software.



➤ Ventana función fuerza Fatiga Tutorial

En esta interfaz nos indica cómo funciona y la forma de manipulación del control de fuerza por fatiga. Si el operador selecciona la opción  de la pantalla lo llevará al siguiente tutorial del software.



➤ Ventana función desplazamiento Fatiga Tutorial

En esta interfaz nos indica cómo funciona y la forma de manipulación del control de desplazamiento por fatiga. Si el operador selecciona la opción de



la pantalla lo llevará al siguiente tutorial del software

Función Desplazamiento Tutorial

Seleccione la función Desplazamiento, el indicador debe estar encendido para confirmar su función.
 Coloque los límites de desplazamiento que desea controlar basados en la onda senoidal como se indica.
 Nota: Antes de colocar los valores límites es aconsejable presionar SET D para encender los valores de desplazamiento.

Desplazamiento 0729

Desplazamiento Máximo Superior

0930 00.000

Desplazamiento Máximo Inferior

0920 00.000

SET D 04

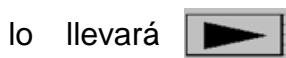
The graph shows a sinusoidal wave on a grid. The vertical axis is labeled 'Desplazamiento' and the horizontal axis is 'Tiempo'. The peak is labeled 'Desplazamiento Máximo Superior' and the trough is 'Desplazamiento Máximo Inferior'. The vertical distance between peak and trough is 'Amplitud'. The horizontal distance for one full cycle is 'Periodo'.

◀
Home
▶

FFFF / FF / FF FF : FF : FF

➤ Ventana función ciclos Fatiga Tutorial

En esta interfaz nos indica cómo funciona y la forma de manipulación del control de ciclos por fatiga. Si el operador selecciona la opción de la pantalla lo



llevará al siguiente tutorial del software

Función Ciclos Tutorial

Seleccione la función Ciclos, el indicador debe estar encendido para confirmar su función.
 Coloque los límites de ciclos que desea controlar basados en la onda senoidal como se indica.
 Nota: Se indicara la frecuencia de trabajo en el transcurso del ensayo.

Ciclos 047

Número Ciclos

0170 00000

Frecuencia

09200 0.0000

The graph shows a sinusoidal wave on a grid. The vertical axis is labeled 'F/D' and the horizontal axis is 'Tiempo'. The peak is labeled 'Amplitud'. The horizontal distance for one full cycle is 'Periodo'.

◀
Home
▶

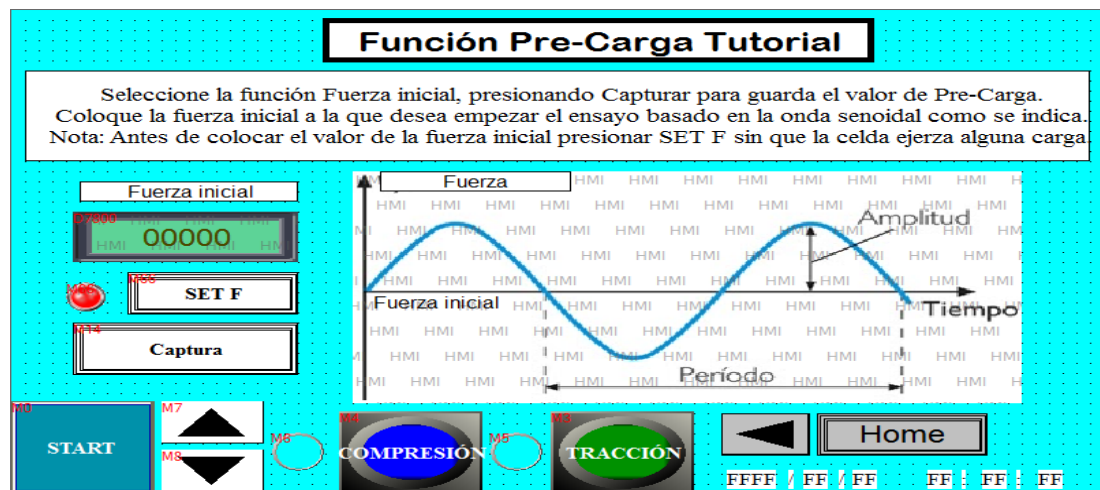
FFFF / FF / FF FF : FF : FF

➤ Ventana función pre-carga Fatiga Tutorial

En esta interfaz nos indica cómo funciona y la forma de manipulación del control de pre-carga por fatiga. Si el operador selecciona la opción de la



pantalla lo llevará al anterior tutorial del software



4.3.3. Diseño de interface de resultado Excel

Para la comprobación de los resultados que se obtiene durante la realización de los ensayos, se procedió a realizar los tres tipos de ensayos: tracción, compresión y fatiga. Verificando la obtención de datos y graficas del comportamiento del material, para ellos se utilizó probetas de madera.

➤ Tracción

Para descargar los resultados de tracción en un archivo .xlsx ya sean estos de Fuerza v.s Tiempo, Desplazamiento v.s Tiempo o Fuerza v.s Desplazamiento, el operador tendrá que realizar el ensayo desde la ventana *Tabla de Datos*. Así pues, se procedió a realizar el ensayo de tracción desde

la ventana que permite descargar todos los datos (Fuerza v.s Desplazamiento) obteniendo los siguientes resultados. Ver Figuras 33, 34.

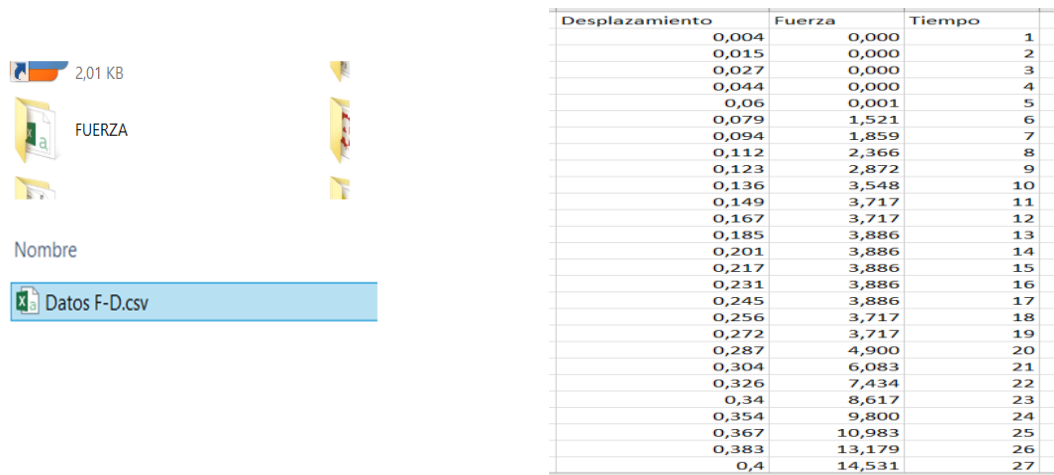


Figura 32 Datos de Tracción archivo .xlsx. Fuerza y Desplazamiento.

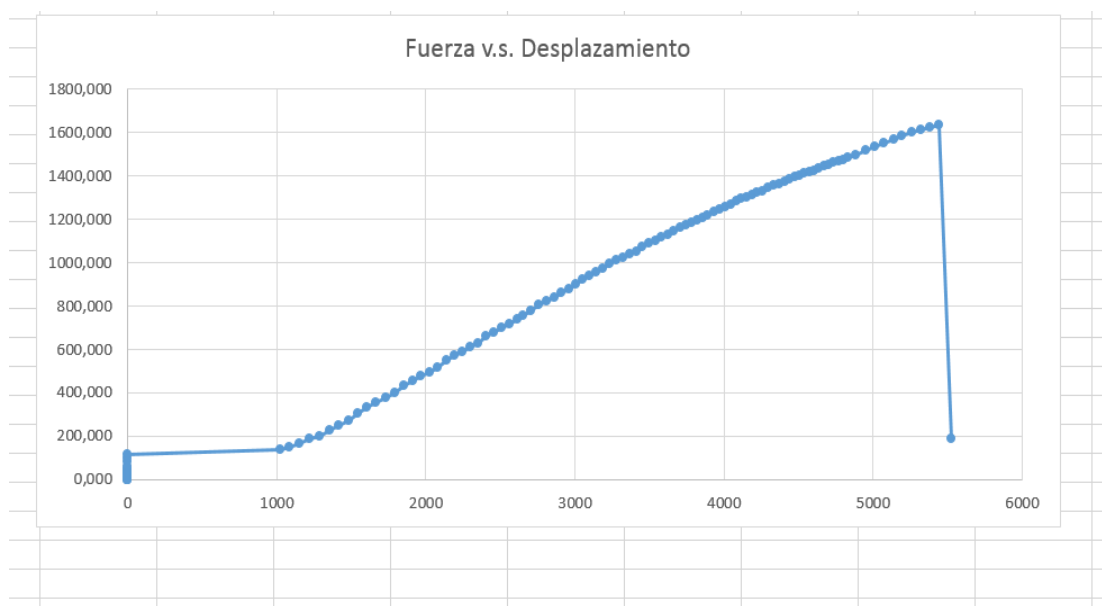


Figura 33 Gráficas de Tracción Fuerza y Desplazamiento .xlsx

➤ Compresión

Para descargar los resultados de compresión en un archivo .xlsx ya sean estos de Fuerza v.s Tiempo, Desplazamiento v.s Tiempo o Fuerza v.s Desplazamiento, el operador tendrá que realizar el ensayo desde la ventana *Tabla de Datos*. Así pues, se precedió a realizar el ensayo de compresión desde la ventana que permite descargar todos los datos (Fuerza v.s Desplazamiento) obteniendo los siguientes resultados. Ver Figuras 35, 36.

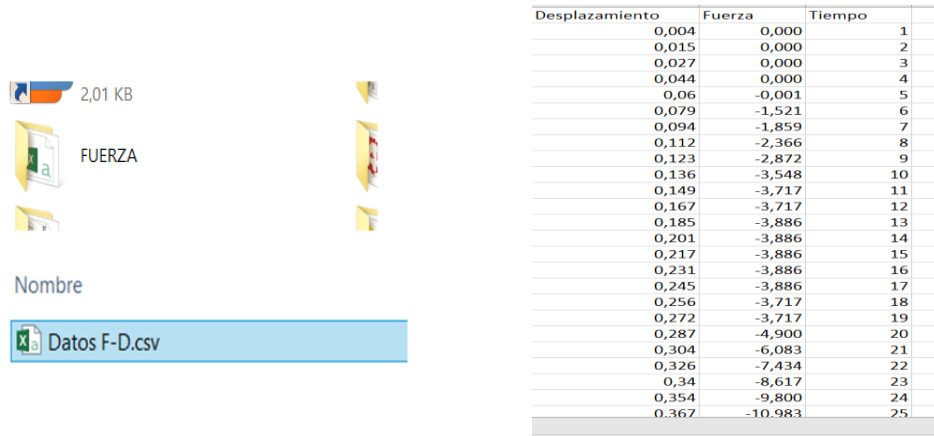


Figura 34 Datos de Compresión archivo .xlsx. Fuerza y Desplazamiento.

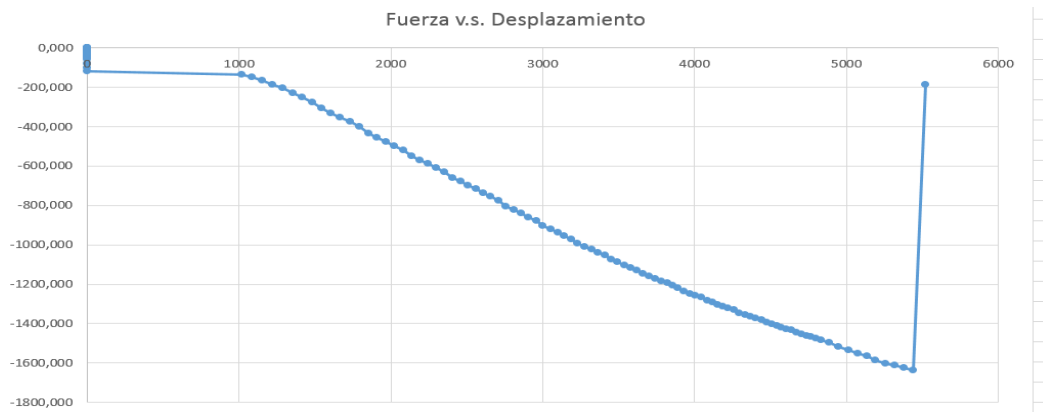


Figura 35 Gráficas Compresión de Fuerza y Desplazamiento .xlsx

➤ Fatiga

Para descargar los resultados de fatiga en un archivo .xlsx ya sean estos de Fuerza v.s Tiempo, Desplazamiento v.s Tiempo o Fuerza v.s Desplazamiento, el operador tendrá que realizar el ensayo desde la ventana *Tabla de Datos*. Así pues, se procedió a realizar el ensayo de fatiga desde la ventana que permite descargar todos los datos (Fuerza v.s Desplazamiento) obteniendo los siguientes resultados. Ver Figuras 36,37.

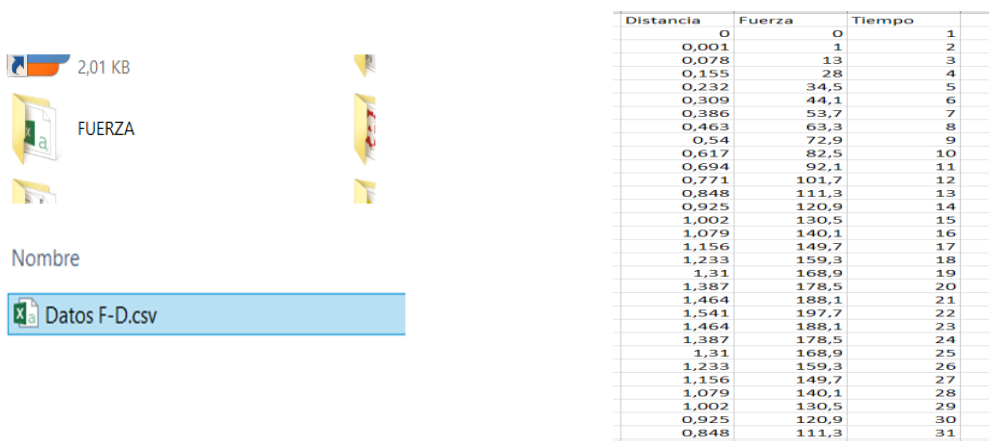


Figura 36 Datos de Fatiga archivo .xlsx. Fuerza y Desplazamiento.

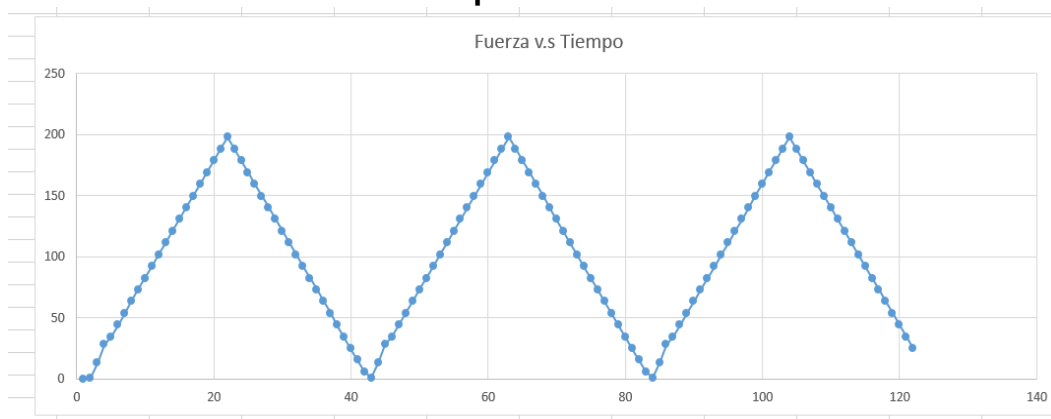


Figura 37 Gráficas Fatiga de Fuerza y Tiempo .xlsx

La adquisición de datos y gráficas por medio de la interfaz HMI es satisfactoria cumpliendo con todos los requerimientos planteados para este proyecto.

4.3.4. Comunicación entre todos los componentes

Para identificar y comprobar la comunicación en la que operan los elementos de la máquina de ensayos universales se elaboró una tabla donde indica el tipo de comunicación de cada elemento y su estado de funcionamiento, así el operador podrá verificar de forma más eficaz la comunicación cuando se realice mantenimiento del equipo. Ver Tabla 27.

Tabla 27
Comunicación entre componentes de la máquina de ensayos universales.

Elemento	Comunicación
Sensor de desplazamiento.	Se comunica al PLC XINJE de forma serial. Verificar el catálogo anexado para más información.
Celda de Carga	Se comunica al PLC XINJE de forma serial.
PLC y Módulo XINJE	Se comunica entre los dos de manera serial. Verificar el catálogo anexado para más información.
HMI TOUCH WIN	Se comunica al PLC XINJE de forma serial. Verificar el catálogo anexado para mayor información.
Variador de Frecuencia	Se comunica al PLC XINJE de forma serial. Verificar el catálogo anexado para mayor información.
Elementos de indicadores	Se comunica de forma directa cable N° 18.
Descarga de Datos HMI	USB 2.0

CAPÍTULO V

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El presente capítulo se muestran los resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas a la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 capacidad de 5 KN, estas pruebas consisten en evaluar todos los sistemas Mecánico, Eléctrico/Electrónico y de Control de la máquina y pruebas funcionales para la verificación de la precisión del equipo.

5.1. SISTEMA MECÁNICO

5.1.1. Activación de mecanismos

En este tipo de pruebas se tomó en cuenta, el trabajo y comportamiento del sistema mecánico ante la realización de los ensayos. Así pues, se verificó el correcto funcionamiento de cada elemento mecánico. Estas pruebas han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver Tabla 28.

Tabla 28
Resusltados de trabajo de los elementos del sistema mecánico.

Elemento	Estado de Trabajo	Observaciones
Mordaza Fija	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Mordaza Móvil	Funcional	Existe un juego entre el tornillo sin fin; en el momento del acople de la mordaza y el tornillo sin fin al ejecutar su desplazamiento inicial.



Motor 1LA7	Funcional	Opera correctamente.
Tornillos sin fin	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Barra Guía	Funcional	Opera correctamente.
Poleas	Funcional	Opera correctamente.
Corona	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Bandas	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Flecha	Funcional	Opera correctamente.
Acoples	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Estructura	Funcional	Opera correctamente.

5.1.2. Comprobación de velocidades

Se evaluó el funcionamiento y se comprobó adquisición de datos de velocidad que entrega la máquina de ensayos universales para ello se documentó los resultados. Ver Tabla 29.

Tabla 29
Verificación de velocidad del cabezal móvil.

Velocidad del cabezal móvil	Velocidad Máxima	Velocidad Mínima
Velocidad en mm	0.4	0.001
Velocidad en cm	0.04	0.0001
Velocidad en plg	0.016	0.000039

5.1.3. Puesta en marcha mecánica

En este tipo de pruebas se tomó en cuenta, la ejecución correcta de todos los ensayos y funciones de control establecido para la máquina de ensayos universales. Estas pruebas han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver Tabla 30.

Tabla 30
Verificación de control de los ensayos.

Ensayo	Interfaz HMI	Actuadores Físicos
Tracción	Buen control y manipulación de las variables a tracción.	Excelente activación de actuadores en el control de tracción.
Compresión	Buen control y manipulación de las variables a compresión.	Excelente activación de actuadores en el control de compresión.
Fatiga Fuerza	Buen control y manipulación de las variables a fatiga fuerza.	Excelente activación de actuadores en el control de fatiga fuerza.
Fatiga Desplazamiento	Buen control y manipulación de las variables a fatiga desplazamiento.	Excelente activación de actuadores en el control de fatiga desplazamiento.

5.2. SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

5.2.1. Conexiones y verificación

Se verificó todas las conexiones del sistema eléctrico/electrónico y su correcto funcionamiento. Estas pruebas han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver tabla 31.

Tabla 31
Resusltados de funcionamiento del sistema eléctrico/electrónico.

Elemento	Conexión	Verificación de Estado
Sensor de desplazamiento.	Serial	Excelente comunicación
Celda de Carga	Serial	Excelente comunicación
PLC y Módulo XINJE	Serial	Excelente comunicación
HMI TOUCH WIN	Serial	Excelente comunicación
Variador de Frecuencia	Serial	Excelente comunicación
Elementos de indicadores	Cable N° 18.	Excelente comunicación
Descarga de Datos HMI	USB 2.0	Excelente comunicación
Módulo de pesaje	Serial	Excelente comunicación

5.2.2. Activación de actuadores y controles

Para las pruebas de trabajo y comportamiento del sistema eléctrico/electrónico ante la realización de los ensayos, se verificó el correcto funcionamiento de cada elemento. Estas pruebas han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver Tabla 32.

Tabla 32
Resusltados de trabajo de los elementos del sistema electrico/electrónico.

Elemento	Tipo de elemento	Estado de trabajo	Observaciones
Sensor de desplazamiento	Encoder	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.



Celda de Carga	Quantrol by DILLON	Funcional	Si se requiere una mejor presión en la medicación de fuerza, se sugiere reemplazar por una celda de carga de mayor exactitud.
Fines de carrera	Genérico	Funcional	Opera correctamente, se aconseja mantenimiento periódico.
Tarjeta de acondicionamiento	Módulo de pesaje P/XC 1 Canal	Funcional	Opera correctamente, sin necesidad de mantenimiento.
Módulo de expansión	XINJE, módulo 4IN /2 OUT ANALOGICA P/XC	Funcional	Opera correctamente sin necesidad de mantenimiento.
PLC	PLC XC3, XINJE 14IN 24VDC/10OUT RY	Funcional	Opera correctamente sin necesidad de mantenimiento.
Variador de frecuencia	MICROMASTER 420	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Cables de transmisión de señales	Cable N° 18	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
Breakers y fusibles	Genéricos	Funcional	Ofrecer un mantenimiento por periodo de trabajado, para evitar futuras fallas.
HMI	TOUCH WIN	Funcional	Opera correctamente sin necesidad de mantenimiento.

5.3. SISTEMA DE CONTROL

5.3.1. Verificación de programación

En este tipo de pruebas se tomó en cuenta, la ejecución correcta de cada bloque de programación, y que cumpla el control establecido para la máquina de ensayos universales. Estas pruebas han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver Tabla 33.

Tabla 33

Comprobación del funcionamiento de la programación de control

Bloque de programación	Comunicación HMI	Control de funciones
Control del encendido de la máquina.	Compilación correcta.	Eficaz
Control paro de emergencia.	Compilación correcta.	Eficaz
Control giro anti horario del motor.	Compilación correcta.	Eficaz
Control giro horario del motor.	Compilación correcta.	Eficaz
Registro de la frecuencia del motor.	Compilación correcta.	Eficaz
Control y registro del desplazamiento tracción y compresión.	Compilación correcta.	Eficaz
Conversión de unidades de desplazamiento.	Compilación correcta.	Eficaz
Control de set de registros internos.	Compilación correcta.	Eficaz

Registro y conversión de unidades de velocidad.	Compilación correcta.	Eficaz
Conversión de unidades de velocidad.	Compilación correcta.	Eficaz
Función ciclo de fatiga en desplazamiento y fuerza.	Compilación correcta.	Eficaz
Control ciclo de fatiga en desplazamiento y fuerza.	Compilación correcta.	Eficaz
Conteo de ciclos.	Compilación correcta.	Eficaz
Control velocidad de fatiga.	Compilación correcta.	Eficaz
Calibración de ciclos de trabajo.	Compilación correcta.	Eficaz
Indicadores de velocidad de fatiga.	Compilación correcta.	Eficaz
Medición de velocidad de desplazamiento de mordaza móvil.	Compilación correcta.	Eficaz
Luces indicadoras de velocidad.	Compilación correcta.	Eficaz
Control de registros de velocidad.	Compilación correcta.	Eficaz
Tiempo de enceramiento desplazamiento.	Compilación correcta.	Eficaz
Registro de velocidades de fatiga.	Compilación correcta.	Eficaz
Control función límite de desplazamiento.	Compilación correcta.	Eficaz
Registro lectura celda de carga.	Compilación correcta.	Eficaz

Calibración celda de carga a 3800 N.	Compilación correcta.	Eficaz
Calibración celda de carga a 4 200 N.	Compilación correcta.	Eficaz
Calibración celda de carga rango descenso.	Compilación correcta.	Eficaz
Set de fuerza.	Compilación correcta.	Eficaz
Enceramiento de la celda de carga.	Compilación correcta.	Eficaz
Indicadores de fuerza.	Compilación correcta.	Eficaz
Selección de funciones de fatiga.	Compilación correcta.	Eficaz
Cálculos variables del ensayo.	Compilación correcta.	Eficaz
Registros variables cíclicas.	Compilación correcta.	Eficaz
Cálculo de fuerzas tracción y compresión.	Compilación correcta.	Eficaz
Registro de fuerza y desplazamiento fatiga.	Compilación correcta.	Eficaz
Conversión unidades de fuerza.	Compilación correcta.	Eficaz
Control función fatiga fuerza.	Compilación correcta.	Eficaz
Control función fatiga frecuencia.	Compilación correcta.	Eficaz

5.3.2. Normas GEDIS

Las interfaces que se implementó para que el usuario pueda operar de manera eficaz la máquina de ensayos universales, se las diseño en base a los requerimientos del usuario y bajo las Normas GEDIS. Para ello se evaluó todas

las interfaces del HMI las cuales han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver Tabla 34.

Tabla 34
Verificación del cumplimiento de la Norma GEDIS

Norma GEDIS	Característica	Cumplimiento de la norma
Arquitectura	Distribución jerárquica de interfaces.	✓
Navegación	Esquema de navegación es intuitivo y fácil de usar.	✓
Distribución	Información detallada en cada ventana.	✓
Color	Uso del color en forma conservadora, convencional y consistente.	✓
Texto	Información textual, cumple con las directrices de la norma.	✓
Equipos	Definición estándar de gráficos de símbolos e iconos que representen el estatus de los diversos equipos.	✓
Valores	Despliegue de los datos analógicos más importantes del ensayo de manera que se informa al operador sobre el estado del ensayo.	✓
Tablas	Información de tablas, cumple con las directrices de la norma.	✓
Comandos e ingreso de datos	EL operador al suministra datos al sistema de la máquina de manera que se comporte de acuerdo a sus objetivos.	✓
Alarma	Informa al operador sobre el estado de la planta.	✓

5.4. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO GLOBAL

Se tomó en cuenta, la precisión en la que opera la máquina de ensayos universales, para ello se evaluó los datos de fuerza y el desplazamiento que nos entrega el equipo durante el ensayo. Estas pruebas han sido documentadas y se presentan a continuación. Ver tabla 35.

Tabla 35
Comprobación de Fuerza

Patrón Fuerza [N]	HMI Fuerza [N]	% Error
0	0	0
100	105	5
200	205	2,5
300	310	3,3
400	410	2,5
500	520	4,0
600	621	3,5
700	724	3,4
800	828	3,5
900	931	3,4
1000	1035	3,5
1100	1138	3,5
1200	1242	3,5
1300	1345	3,5
1400	1449	3,5
1500	1552	3,5
1600	1656	3,5
1700	1780	4,7
1800	1890	5,0
1900	1999	5,2
2000	2110	5,5
2100	2221	5,8
2200	2332	6,0

2300	2443	6,2
2400	2554	6,4
2500	2665	6,6
2600	2776	6,8
2700	2887	6,9
2800	2998	7,1
2900	3110	7,2
3000	3221	7,4
3100	3332	7,5
3200	3443	7,6
3300	3415	3,5
3400	3572	5,1
3500	3664	4,7
3600	3755	4,3
3700	3846	3,9
3800	4000	5,3
3900	4112	5,4
4000	4235	5,9
4100	4357	6,3
4200	5480	30,5
4300	5174	20,3
4400	5404	22,8
4500	5633	25,2
4600	5863	27,5
4700	6093	29,6
4800	6322	31,7
4900	6552	33,7
5000	6782	35,6

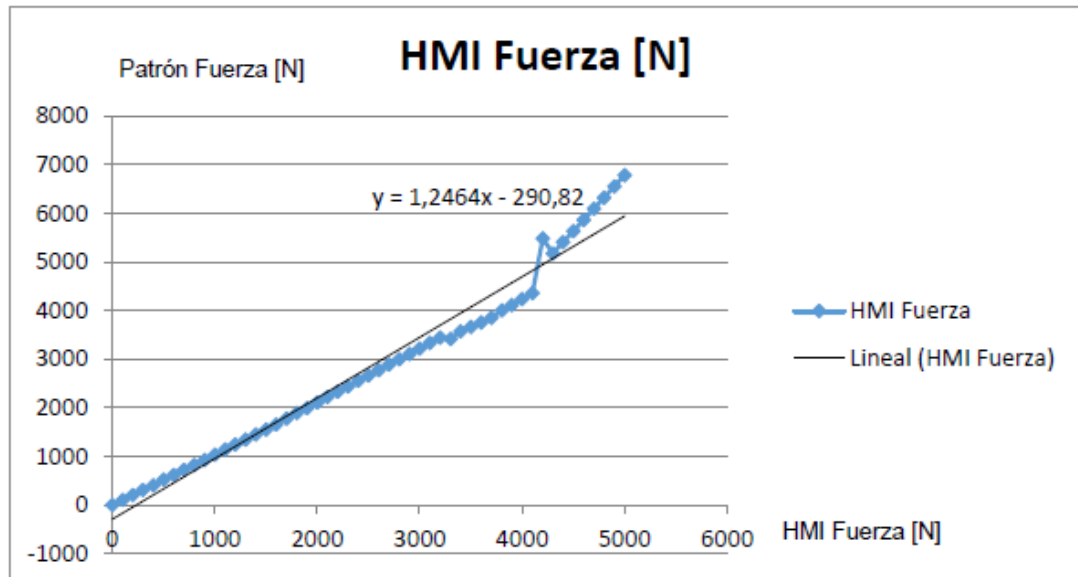


Figura 38 Gráfica de Error Fuerza

Tabla 36
Comprobación Desplazamiento.

Patrón Distancia [mm]	HMI Distancia [mm]	% Error
0	0	0
0,5	0,501	0,2
1	1,002	0,2
1,5	1,6	6,7
2	2,133	6,7
2,5	2,683	7,3
3	3,232	7,7
3,5	3,782	8,1
4	4,331	8,3
4,5	4,881	8,5
5	5,43	8,6
5,5	5,98	8,7
6	6,529	8,8
6,5	7,079	8,9
7	7,628	9,0
7,5	8,178	9,0
8	8,727	9,1

8,5	9,277	9,1
9	9,826	9,2
9,5	10,376	9,2
10	10,925	9,3
10,5	11,475	9,3
11	12,024	9,3
11,5	12,574	9,3
12	13,123	9,4
12,5	13,673	9,4
13	14,222	9,4
13,5	14,772	9,4
14	15,321	9,4
14,5	15,871	9,5
15	16,42	9,5
15,5	16,97	9,5
16	17,519	9,5
16,5	18,069	9,5
17	18,618	9,5
17,5	19,168	9,5
18	19,717	9,5
18,5	20,267	9,6
19	20,816	9,6
19,5	21,365	9,6
20	21,915	9,6
20,5	22,465	9,6
21	23,014	9,6
21,5	23,564	9,6
22	24,113	9,6
22,5	24,663	9,6
23	25,212	9,6
23,5	25,762	9,6
24	26,311	9,6

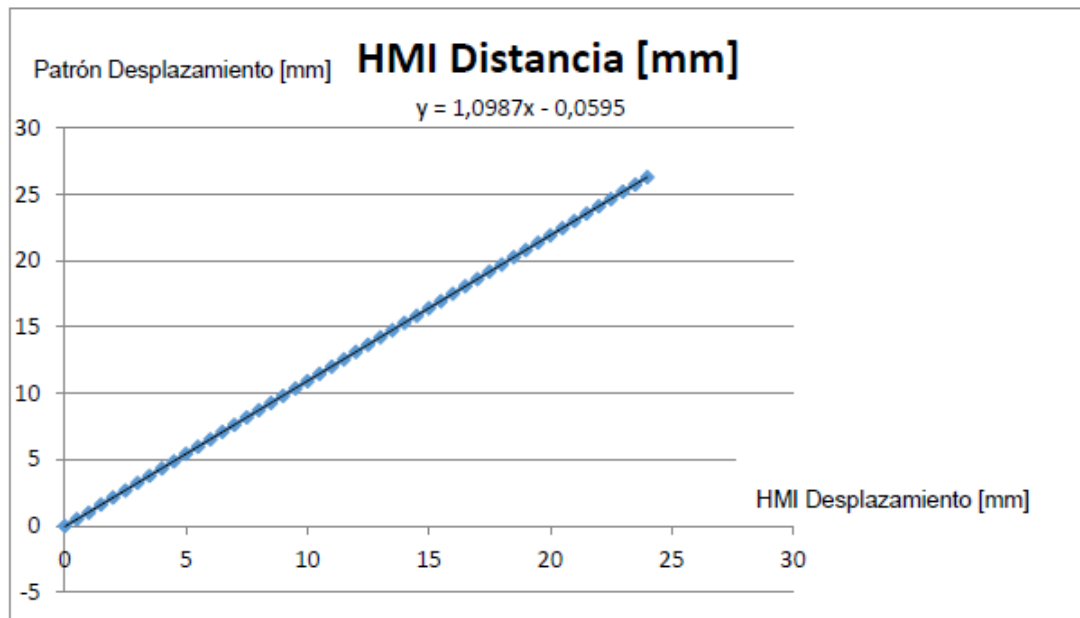


Figura 39 Gráfica de Error Desplazamiento

Tabla 37
Calibración de Fuerza menor al 1% de error.

Patrón Fuerza [N]	HMI Fuerza [N]	% Error
0	0	0
100	100	0
200	200	0
300	300	0,0
400	400	0,0
500	500	0,0
600	600	0,0
700	700	0,0
800	800	0,0
900	900	0,0
1000	1000	0,0
1100	1103	0,3
1200	1202	0,2
1300	1303	0,2

1400	1404	0,3
1500	1504	0,3
1600	1604	0,3
1700	1705	0,3
1800	1805	0,3
1900	1906	0,3
2000	2006	0,3
2100	2106	0,3
2200	2207	0,3
2300	2307	0,3
2400	2408	0,3
2500	2508	0,3
2600	2609	0,3
2700	2709	0,3
2800	2809	0,3
2900	2910	0,3
3000	3010	0,3
3100	3111	0,4
3200	3211	0,3
3300	3312	0,4
3400	3412	0,4
3500	3512	0,3
3600	3623	0,6
3700	3727	0,7
3800	3823	0,6
3900	3930	0,8
4000	4034	0,9
4100	4137	0,9
4200	4241	1,0
4300	4344	1,0
4400	4438	0,9
4500	4542	0,9
4600	4642	0,9
4700	4743	0,9

4800	4843	0,9
4900	4944	0,9
5000	5044	0,9

El porcentaje de error promedio con la que está operando la máquina de ensayos universales es del 0,4 %, es decir que el equipo cumple con las normas establecidas para su funcionamiento y verificación de fuerza de todos los ensayos. Ver Figura 40

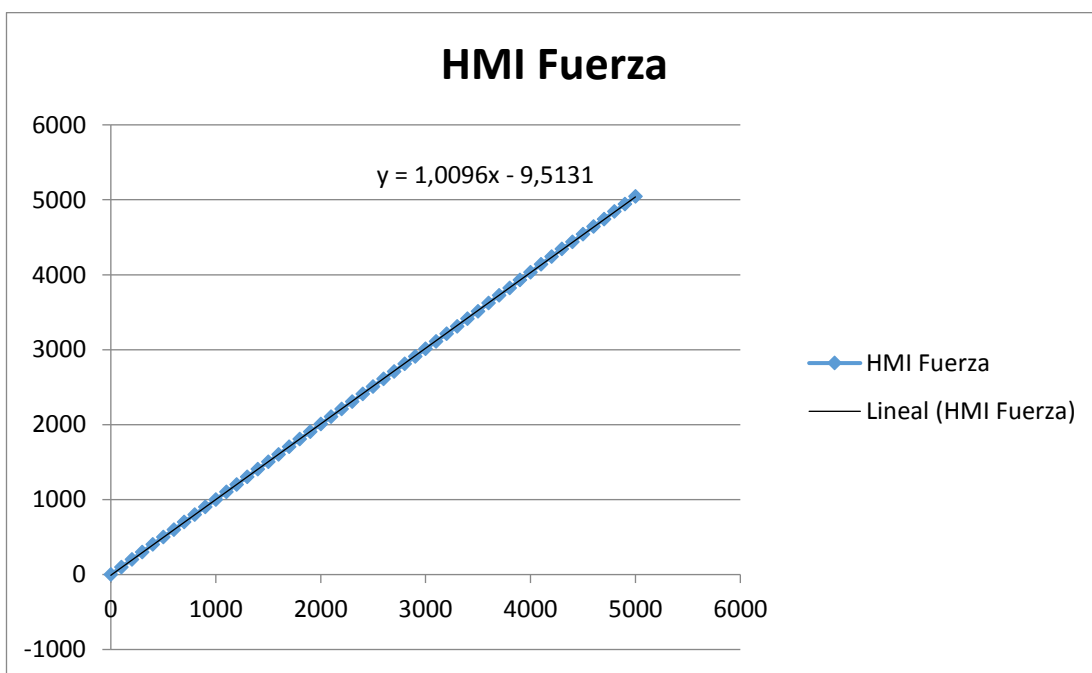


Figura 40 Calibración de fuerza

Tabla 38
Calibración de Desplazamiento menor al 1 % de error

Patrón Distancia (mm)	HMI Distancia (mm)	% Error
0	0	0
0,5	0,501	-0,2
1	1,002	-0,2

1,5	1,505	-0,3
2	1,998	0,1
2,5	2,495	0,2
3	2,994	0,2
3,5	3,507	-0,2
4	4,008	-0,2
4,5	4,486	0,3
5	4,982	0,4
5,5	5,511	-0,2
6	6,017	-0,3
6,5	6,519	-0,3
7	7,022	-0,3
7,5	7,513	-0,2
8	8,023	-0,3
8,5	8,523	-0,3
9	9,026	-0,3
9,5	9,527	-0,3
10	10,028	-0,3
10,5	10,529	-0,3
11	11,030	-0,3
11,5	11,532	-0,3
12	12,033	-0,3
12,5	12,535	-0,3
13	13,036	-0,3
13,5	13,538	-0,3
14	14,039	-0,3
14,5	14,540	-0,3
15	15,042	-0,3
15,5	15,543	-0,3
16	16,044	-0,3
16,5	16,546	-0,3
17	17,047	-0,3
17,5	17,548	-0,3
18	18,050	-0,3
18,5	18,551	-0,3
19	19,052	-0,3
19,5	19,554	-0,3
20	20,055	-0,3
20,5	20,556	-0,3

21	21,058	-0,3
21,5	21,559	-0,3
22	22,060	-0,3
22,5	22,562	-0,3
23	23,063	-0,3
23,5	23,565	-0,3
24	24,066	-0,3

El porcentaje de error promedio con la que está operando la máquina de ensayos universales es del 0,2 %, es decir que el equipo cumple con las normas establecidas para su funcionamiento y verificación de desplazamiento de todos los ensayos. Ver Figura 41

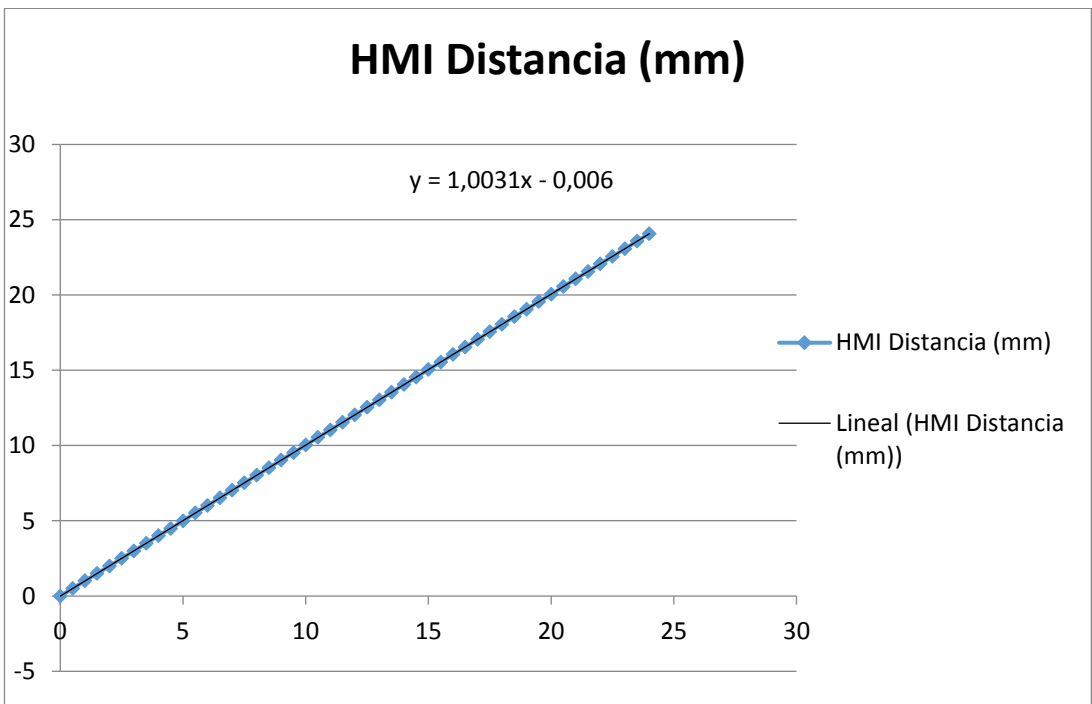


Figura 41 Calibración de Desplazamiento

Se pudo obtener estos resultados de calibración, gracias a que se realizó un ajuste de la curva de fuerza que nos entrega la celda de carga. Para ello se dividió a la curva del sensor en tres partes. La primera se la tomó

desde los 0 [N] hasta los 3 800 [N] dándonos una ecuación lineal, la segunda se la tomó desde los 3 800 [N] hasta los 4 400 [N] aquí los valores se los reestructuró para tener la tendencia a dicha gráfica obteniendo una ecuación lineal y por último la tercera parte se la evaluó desde los 4 400 [N] hasta los 5 000 [N] que al igual que la segunda, manipulamos los valores para obtener la tendencia de la parte final de la curva característica dando como resultado una ecuación lineal.

CAPÍTULO VI

COSTOS

En este capítulo se muestran los costos de implementación que se financió para la automatización y actualización de la máquina de ensayos universales MTS TK/ T5002 capacidad de 5 KN.

6.1. COSTOS DE MODERNIZACIÓN

6.1.1. Componentes y materiales utilizados

El costo de los elementos que se adquirió para realización de este proyecto de grado fue. Ver Tabla 39.

Tabla 39
Costos de materiales.

Elemento	Costo
PLC XC3, XINJE 14IN 24VDC/10OUT RY	270
TOUCH PANEL DE 7 ", TG-765 FULL COLOR TOUCH WIN	800
CABLE PLC-TOUCH	31
CABLE PLC-PC (SERIAL) PROG.	63
MODULO DE PESAJE P/XC 1 CANAL	261
MODULO 4IN /2 OUT ANALOGICA P/XC	351
ENCODER	150

El gasto total que se invirtió en la adquisición de estos elementos fue de 1926 dólares americanos.

6.1.2. Mantenimiento

El costo de mantenimiento que se le realizó a los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos fueron. Ver Tabla 40.

Tabla 40
Costos de mantenimiento.

Sistema de mantenimiento	Costo
Sistema Mecánico.	20
Sistema Eléctrico/Electrónico.	20

El gasto total que se invirtió en el mantenimiento de la máquina de ensayos universales fue de 40 dólares americanos.

6.2. COSTOS DE MANO DE OBRA

Costos que corresponden a las personas que intervinieron en la implementación del proyecto. En este caso constan la mano de obra para la elaboración del tablero de control. Ver tabla 41.

Tabla 41
Costos de mano de obra.

Sistema Mecánico	Costo
Tablero de Control	25

El gasto total que se invirtió en mano de obra de la máquina de ensayos universales fue de 25 dólares americanos.

6.3. RELACIÓN INVERSIÓN/BENEFICIO

Después de haber concluido con el desarrollo de este proyecto de titulación, se procedió a realizar el análisis de costo – beneficio con el fin de evaluar la rentabilidad de la implementación de dicho proyecto.

Para obtener dicha relación se procedió a al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos entre el Valor Actual de los Costos de inversión del un proyecto.

Dandonos como resultado en la relación costo-beneficio es mayor que 1, podemos afirmar que nuestro proyecto será rentable en los próximos 10 años.

BIBLIOGRAFÍA

Askeland. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. México: Thomson Editores.

Beer, F. y. (1993). Mecanica de Materiales. Colombia: McGRAW-HILL.

Berrocal, L. O. (2007). Resistencia de materiales, Madrid. Madrid: McGraw-Hill.

Botero, P. A. (Noviembre de 2007). Diseño mecánico de una máquina universal de ensayos para polimeros. Risaralda , Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1113/621815G166dm.pdf?sequence=1>

Botero, P. G., & Claros, R. C. (1 de Noviembre de 2007). Diseño Mecánico de una máquina universal de ensayos para polímeros. Risaralda, Pereira.

Brook, B. &. (1999). Smithells Metals Reference Book. Butterworth-Heinemann.

Callister, W. D. (2007). Materials Science and Engineering. New York.

Callister, W. (s.f.). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Barcelona: Reverté S.A.

Carrillo, S. (s.f.). Carrillo, Sanchez. Obtenido de ensayos de compresion: <http://sanchez-carrillo.blogspot.com/p/ensayos-de-compresion.html>

Davis, H. E. (1964). Ensaye e Inspección de los Materiales en Ingeniería. McGRAW-HILL.

Diario de la Construcción. (2015). Obtenido de Resistencia a la compresion del hormigon: <http://www.diariodelaconstruccion.cl/guia-util-consideraciones-para-el-ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-del-hormigon/>

Elmer, D. H. (1982). Testing of Engineering Materials. US: McGraw-Hill Inc.

Figueroa, C. D., & Fuertes, D. R. (11 de Diciembre de 2006). DISEÑO Y construcción de accesorios y adaptación de una celda de carga para la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002. Sangolqui, Pichincha, Ecuador.

Figueroa, C. G., & Fuertes, D. R. (11 de Diciembre de 2006). Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de repositorio.espe.edu.ec/

Henao, G. C. (18 de Agosto de 2009). Dureza rockwell. Obtenido de laboratorio de resistencia de materiales: <http://www.utp.edu.co/~gcalle/durezarockwell.pdf>

Méndez, J. L., & Méndez, M. L. (s.f.). Tecnología Industrial. Everest.

Nikulin, D. y. (1983). Estudio de Materiales Eléctricos. La Habana: Pueblo y Educación. .

Ortiz Berrocal, L. (1991). Resistencia de Materiales. . Madrid: McGraw-Hill.

Placa del motor 1LA7 siemens. (s.f.).

Ponce, R. E. (s.f.). Materiales. Obtenido de Ensayos: <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/ensayos.htm>

Ramírez, A. E. (Agosto de 1998). centro nacional de metrología. Obtenido de Trazabilidad y Unificación de las escalas de Dureza en México: http://www.cenam.mx/fyp/Archivos%20PDF/Durezaytena/traz_unif.pdf

Timoshenko, S. (1951). Theory of elasticity. McGraw-Hill.

Useche, L. V. (2 de Febrero de 2011). Laboratorio de Resistencia de Materiales. Obtenido de Materiales bajo Esfuerzo: <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/disI/Cap2.pdf>

Wikipedia. (24 de Septiembre de 2013). Máquina Universal. Obtenido de Wiki: https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_universal

Wikipedia. (18 de Junio de 2015). Ensayo de materiales. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_materiales

Wikipedia. (08 de Junio de 2016). Dureza Brinell. Obtenido de Ensayo de Materiales: https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Brinell

Wikipedia. (04 de Mayo de 2016). Dureza Rockwell. Obtenido de Ensayo de Materiales: https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Rockwell

Wikipedia. (24 de Abril de 2016). Ensayo de compresión. Obtenido de Esfuerzo de Compresión : https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_de_compresi%C3%B3n