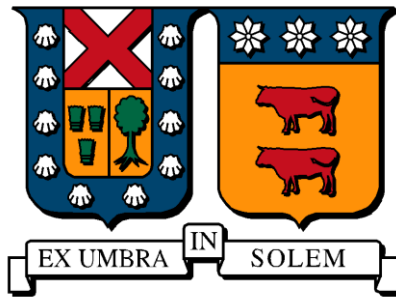


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAISO – CHILE



**“PROYECTO DE RECUPERACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL
SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA MÁQUINA UNIVERSAL DE
ENSAYOS MECÁNICOS LOSENHAUSENWERK UHP-40
(ALEMANIA 1952)”**

MARTÍN JESÚS FERNÁNDEZ VIVANCO.

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL.**

PROFESOR GUÍA: DR. ING. LUIS CARLOS PEREZ POZO.
PROFESOR CORREFERENTE: ING. MAURICIO ANDRES SOLIS HERNANDEZ.

Agosto, 2024.

Agradecimientos.

Gracias a Dios por acompañarme en todo momento y por poner en mi camino a todas las personas que me apoyaron y que confiaron en mis capacidades. Agradezco especialmente a mi padre Octavio, a mi madre Cecilia, a mi hermano Patricio, a mi hermana Makarena y a mi sobrina Isabella por el apoyo incondicional, pues sin el amor que me brindan no hubiera sido capaz de alcanzar esta meta. También agradezco a mi abuela Nora y a mi tata Charolo, por los valores y por todo el cariño que pudieron brindarme. Quiero agradecer además al profesor Luis Pérez por entregarme la confianza y la responsabilidad de realizar este trabajo en el laboratorio de tecnología mecánica. A los apoyos académicos del laboratorio, don Vicente, don Juan y don Gerardo, gracias por la paciencia y por el apoyo técnico. Por último, gracias a todas aquellas personas con las que me cruce en este largo y bonito proceso, pues siento que de alguna manera me ayudaron a cumplir con mi objetivo.

Resumen.

En el siguiente trabajo se informa y documenta el proyecto de recuperación y actualización del sistema de medición de una máquina universal de ensayos mecánicos Losenhausenwerk modelo UHP-40 que se encuentra instalada en el laboratorio de tecnología mecánica (LTMEC) de la Universidad Técnica Federico Santa María, campus casa central. Dicho equipo fue fabricado en Alemania el año 1952 por la empresa Losenhausenwerk y actualmente es utilizado para realizar ensayos mecánicos de tracción, flexión y cizalle con fines docentes. Para el proceso de recuperación se analizaron todos los sistemas que permiten el funcionamiento del equipo y se evaluó la viabilidad del funcionamiento de los componentes mecánicos en su estado inicial. A su vez, se desarrolló un análisis de aceite con el objetivo de identificar la viscosidad del lubricante presente en la unidad oleohidráulica junto con un catastro de las partículas contaminantes que este presentaba. Además, dentro del proceso de recuperación se llevaron a cabo tareas tales como: cambio de aceite, reparación de fugas y cambio de correa del sistema de potencia de la unidad oleohidráulica. Paralelamente se desarrollaron tareas pertenecientes al proceso de actualización del sistema de medición, el cual en su estado inicial se encontraba funcional, pero solo era utilizado para la medición de carga mediante la lectura análoga del reloj presente en el equipo. Dentro de este proceso se determinó el uso de un transductor de presión MPI modelo MHP, el cual, mediante un módulo acondicionador de señal ICP modelo SG 3016 entrega una lectura de variación de voltaje en función de la presión dentro del sistema oleohidráulico del equipo. Dicha señal de voltaje se relacionó con la carga realizada por el pistón de trabajo de la máquina mediante un proceso de calibración de carga en función del voltaje empleando una celda de carga adicional sometida a cargas de compresión. También se determinó el uso de un transductor de desplazamiento LVDT (transformador diferencial de variación lineal), el cual, mediante un módulo acondicionador de señal Macro Sensors modelo LVC, entrega una señal de voltaje en función del desplazamiento del pistón de trabajo de la máquina. Esta señal de voltaje se relacionó mediante un proceso de calibración de desplazamiento en función del voltaje empleando un micrómetro de calibración. Las señales de voltaje obtenidas fueron adquiridas por una placa de Arduino UNO y comunicadas por puerto USB a un computador para ser recepcionadas e interpretadas por el software Labview, en el cual se programó una interfaz gráfica que permite obtener una gráfica de carga [kg] en función del desplazamiento [mm], además dicha interfaz permite generar un archivo Excel con los datos de medición para un análisis posterior. En cuanto a los resultados obtenidos, se contrastaron los parámetros medidos en la máquina Losenhausenwerk respecto a los parámetros medidos por una máquina de tracción calibrada marca INSTRON disponible en el LTMEC mediante la realización de un ensayo de tracción en una probeta de material SAE 4140 en cada equipo. De este contraste de información se obtuvo una diferencia porcentual de 2.2% para el esfuerzo máximo en tracción. Este valor evidencia que el sistema de medición actualizado de la máquina Losenhausenwerk es confiable para realizar ensayos mecánicos en materiales con fines docentes.

Abstract.

This paper reports and documents the recovery and updating process of the measurement system of a Losenhausenwerk UHP-40 universal testing machine, which is installed in the mechanical technology laboratory (LTMEC) of the Universidad Técnica Federico Santa María, main campus. This equipment was manufactured in Germany in 1952 by Losenhausenwerk and is currently used for tensile, bending, and shear mechanical tests for educational purposes. For the recovery process, all systems that enable the equipment's operation were analyzed, and the feasibility of the mechanical components' operation in their initial state was evaluated. An oil analysis was also conducted to identify the viscosity of the lubricant present in the hydraulic unit, along with an inventory of the contaminant particles it contained. Additionally, tasks such as oil change, leak repair, and power system belt replacement were carried out as part of the recovery process.

Parallel to this, tasks related to the measurement system update were performed. Initially, the system was functional but was only used for load measurement via the analog reading of the clock on the equipment. During this process, the use of an MPI MHP model pressure transducer was determined, which, through an ICP SG 3016 signal conditioning module, provides a voltage variation reading based on the pressure within the hydraulic system of the equipment. This voltage signal was correlated with the load exerted by the machine's working piston through a load calibration process using an additional load cell subjected to compression loads. The use of an LVDT (linear variable differential transformer) displacement transducer was also determined, which, through a Macro Sensors LVC signal conditioning module, provides a voltage signal based on the displacement of the machine's working piston. This voltage signal was correlated through a displacement calibration process using a calibration micrometer.

The obtained voltage signals were acquired by an Arduino UNO board and communicated via USB to a computer for reception and interpretation by LabVIEW software, where a graphical interface was programmed to obtain a load [kg] vs. displacement [mm] graph. Additionally, this interface allows generating an Excel file with the measurement data for further analysis. Regarding the results obtained, the measured parameters of the Losenhausenwerk machine were compared with the parameters measured by a calibrated INSTRON tensile machine available at LTMEC through a tensile test of an SAE 4140 material specimen on each machine. This comparison showed a percentage difference of 2.2% for the maximum tensile stress, indicating that the updated measurement system of the LOS machine is reliable for conducting mechanical tests on materials for educational purposes.

Índice general.

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	4
Índice general.....	5
1. Introducción.....	7
1.1. Objetivo general.....	8
1.2. Objetivos específicos.....	8
2. Antecedentes.....	9
2.1. Máquina universal de ensayos mecánicos.....	9
2.2. Funcionamiento.....	11
2.2.1. Sistema oleohidráulico.....	12
2.2.2. Sistema de medición y registro.....	13
2.2.3. Elementos auxiliares.....	16
3. Desarrollo.....	19
3.1. Estado actual.....	19
3.1.1. Levantamiento de información.....	20
3.2. Plan de trabajo.....	24
3.2.1. Recuperación y mantenimiento de la máquina.....	24
3.2.2. Actualización del sistema de medición.....	24
3.3. Recuperación.....	25
3.3.1. Cambio de correa.....	25
3.3.2. Reparación de fuga de aceite.....	26
3.3.3. Cambio aceite unidad hidráulica.....	27
3.3.4. Recuperación del sistema eléctrico.....	28
3.4. Actualización del sistema de medición.....	29
3.4.1. Arduino.....	29
3.4.2. Labview.....	30
3.4.3. Medición de presión.....	30

3.4.4.	Medición de desplazamiento.	36
3.4.5.	Conexión electrónica.	43
3.4.6.	Diagrama de bloques Labview.	45
3.4.7.	Interfaz Labview.	46
4.	Resultados.	48
4.1.	Contraste de resultados.	50
5.	Conclusiones.	53
6.	Referencias.	54
7.	Anexos.	55
7.1.	Anexo 1. Sistema de transmisión de potencia de la unidad oleohidráulica.	55

1. Introducción.

El laboratorio de tecnología mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María en campus casa central cuenta con un amplio equipamiento con fines tanto docentes como industriales. En dicho equipamiento se pueden encontrar máquinas para ensayos de propiedades mecánicas en materiales, bancos de prueba y máquinas herramienta. Es para el estudio de propiedades mecánicas de materiales que justamente el laboratorio cuenta con una máquina universal de ensayos mecánicos marca Losenheim. El término “universal” responde a que este equipo fue diseñado para poder realizar en él ensayos mecánicos de tracción, compresión, flexión y cizalladura. Actualmente este equipo solo se utiliza para realizar ensayos de cizalle y de flexión, ambos con fines docentes. El poco uso que se le da a esta máquina se debe a su antigüedad, pues su sistema de medición y registro de datos es completamente mecánico, lo que dificulta la realización de ensayos considerando el tiempo de ejecución de estos. Una característica diferenciadora que resalta a la máquina universal de ensayos mecánicos por sobre los demás equipos del laboratorio es, que ésta puede llegar a ejercer hasta 40 toneladas de carga sobre las probetas de ensayo, por lo cual una recuperación y una actualización de su sistema de medición le entregaría a la máquina mejores herramientas y se ampliarían sus aplicaciones respecto a uso actual.

El proceso de recuperación y actualización del sistema de medición de la máquina universal de ensayos se desarrollará dentro de un plan de modernización llevado a cabo por la administración del laboratorio de tecnología mecánica, el cual busca reacondicionar equipos de ensayos mecánicos cuya tecnología se encuentra desactualizada.

El proyecto de recuperación y actualización del sistema de medición de la máquina universal de ensayos mecánicos se llevará a cabo desarrollando 2 líneas de trabajo. La primera línea se centrará en recuperación de la máquina, en donde se evaluará su estado inicial y se repararán o reemplazarán los elementos mecánicos necesarios para su funcionamiento óptimo. Paralelamente, la segunda línea de trabajo se centrará en la actualización del sistema de medición de la máquina, en donde se estudiarán y seleccionarán los transductores necesarios para la digitalización de la medición de los parámetros presentes en el equipo para luego diseñar una interfaz de usuario que permita presentar las medidas, graficarlas y guardarlas en una base de datos para un análisis posterior.

1.1. Objetivo general.

El objetivo principal de este trabajo de título es recuperar la máquina universal de ensayos Losenhausenwerk ubicada en el Laboratorio de Tecnología Mecánica (LTMEC) y actualizar su sistema de medición, pasando de un sistema original análogo, a un sistema digital. Se identificarán los elementos a restaurar y/o fabricar y se diseñarán partes y piezas faltantes para su funcionamiento.

La digitalización del sistema de medición permitirá el monitoreo en tiempo real y se llevará a cabo empleando microcontroladores apropiados y componentes electrónicos accesibles de bajo costo.

1.2. Objetivos específicos.

Para realizar el estudio señalado anteriormente se deberán contemplar los siguientes objetivos:

- Realizar un levantamiento del estado actual del equipo en estudio.
- Elaborar un plan de trabajo acorde a los objetivos y alcances del proyecto, que detalle las tareas a llevar a cabo durante el desarrollo de esta memoria y las actividades que se realizarán posteriormente.
- Implementar un sistema digital de mediciones que no altere el funcionamiento original del equipo.
- Crear una interfaz para la toma de mediciones y visualización de datos en tiempo real utilizando el software LabView.
- Diseñar y llevar a cabo una estrategia de experimentación que permita validar los parámetros monitoreados.

2. Antecedentes.

2.1. Máquina universal de ensayos mecánicos.



Figura 1-Máquina Losenhausenwerk UHP-40.

La máquina universal de ensayos mecánicos Losenhausenwerk modelo UHP-40 (figura 1) fue fabricada por la empresa alemana Losenhausenwerk AG el año 1952. La máquina se encuentra instalada sobre una cimentación especial de acuerdo con las instrucciones indicadas por el fabricante. Este tipo de equipos cuentan con un sistema de potencia oleohidráulico con accionamiento eléctrico y en ellos se pueden llevar a cabo ensayos mecánicos en probetas bajo cargas de tracción, compresión, flexión o cizalle.

La máquina universal de ensayos está construida principalmente de fundición de hierro y acero. Consta de 2 grandes cuerpos conectados entre sí. Uno de ellos corresponde a un sólido bastidor vertical denominado sistema mecánico de trabajo (sector izquierdo de la fig.1), en donde se llevan a cabo los ensayos respectivos. El otro cuerpo corresponde al banco de control y medición, en donde se encuentran la unidad oleohidráulica de potencia junto con el sistema mecánico de medición y registro (sector derecho de la figura 1).

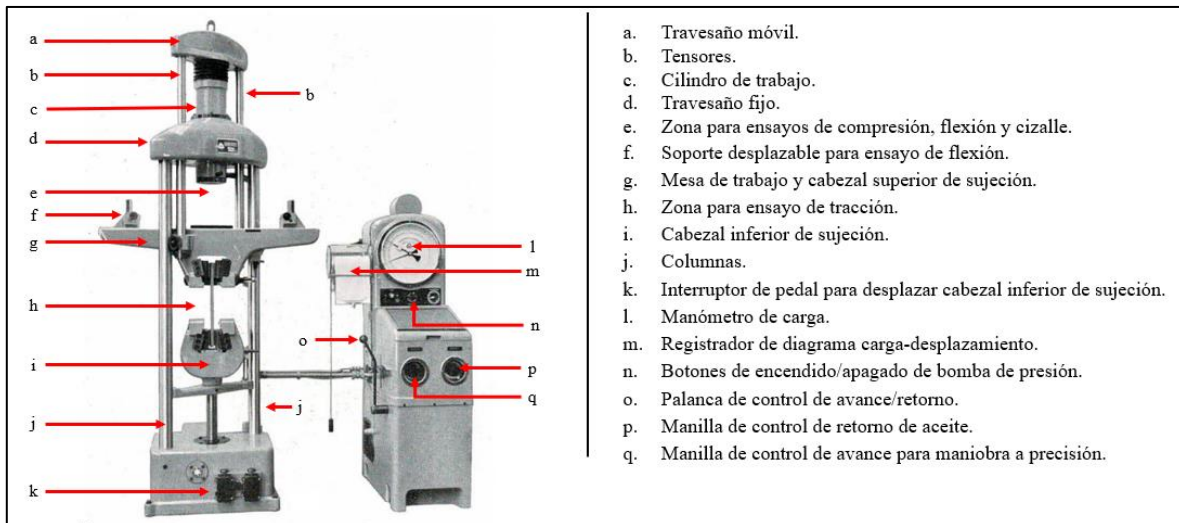


Figura 2-Elementos principales máquina Losenhausenwerk UHP-40

En la figura 2 se pueden apreciar los elementos principales que componen la máquina universal de ensayos. De manera general, la zona mecánica de trabajo se constituye de dos sólidas columnas (j) que en sus extremos superiores se conectan con un travesaño fijo en el cual se encuentra instalado el cilindro de trabajo (c). El extremo del vástago del cilindro de trabajo se une a un travesaño móvil (a) que se desplaza junto con el vástago señalado. El travesaño móvil cuenta con 2 tensores (b) que soportan el peso de la mesa de trabajo (g). De esta manera el avance del vástago del cilindro de trabajo genera el desplazamiento vertical ascendente de la mesa señalada. Este desplazamiento da origen a la zona para ensayos de compresión (e) y a la zona para ensayos de tracción (h).

Las especificaciones técnicas de la máquina Losenhausenwerk se presentan en la tabla 1.

Tabla 1- Ficha técnica Máquina Losenhausenwerk UHP-40

LOSENHAUSENWERK UHP-40	
Marca	Losenhausenwerk
Modelo	UHP-40
Año de fabricación	1952
Tipo de carga	Tracción – compresión.
Tipos de ensayos	Tracción – compresión – flexión – cizalladura
Escala de carga	4000 – 8000 – 20.000 – 40.000 [kg]
Resolución	10 – 20 – 50 – 100 [kg]
Exactitud	1% del valor indicado
Altura (pistón extendido)	3005 [mm]
Diámetro de columnas de soporte	80 [mm]
Diámetro pistón de trabajo	138 [mm]
Carrera pistón de trabajo	250 [mm]

2.2. Funcionamiento.

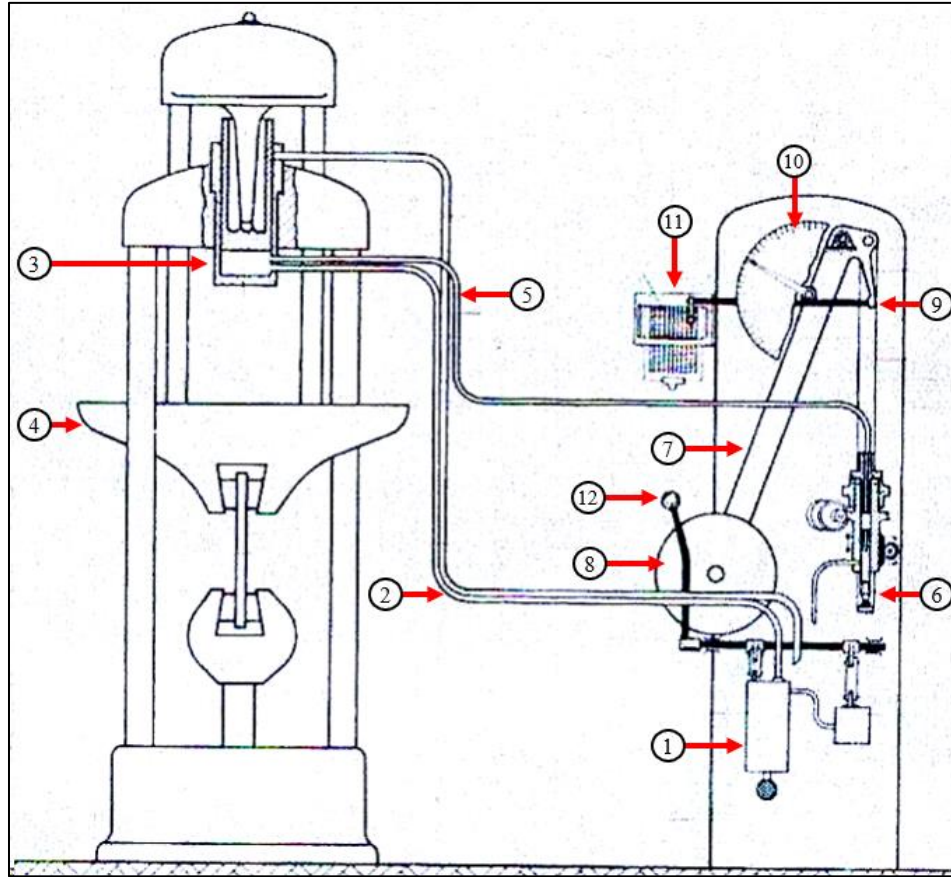


Figura 3-Funcionamiento general Máquina Losenhausenwerk UHP-40.

En la figura 3 se pueden apreciar los elementos mecánicos principales que dan funcionamiento interno a la máquina. Partiendo por el sistema oleohidráulico de potencia que consta de una bomba de caudal regulable sumergida en el estanque de la unidad oleohidráulica (1). El aceite bombeado se desplaza por la línea de presión (2) hacia la admisión del cilindro oleohidráulico de trabajo (3), el cual se encarga de ejercer la carga necesaria para el ensayo en cuestión. La fuerza ejercida por el pistón en su carrera de avance se transmite a la probeta ensayada mediante el desplazamiento vertical ascendente de la mesa o cabezal superior de sujeción (4).

Una segunda línea (5), denominada línea de medición conduce aceite a otro cilindro simple efecto, denominado cilindro de medición (6), que se ubica en el banco de medición y control. Este cilindro recibe la presión oleohidráulica presente en la zona de trabajo y genera el avance de su respectivo pistón, el cual a su vez genera un desplazamiento angular en un péndulo (7) provisto de una serie de discos (8) configurados de acuerdo con la escala de medición que se requiera. El movimiento angular del péndulo es transformado en un desplazamiento lineal mediante un vástago (9), el cual transmite el movimiento a la aguja del manómetro graduado

(10) en donde se puede leer la carga en kilogramos [kg] de acuerdo con la escala configurada con los discos en el péndulo. A su vez, dicho vástago también transmite movimiento al lápiz del sistema de registro (11).

Tanto el caudal de admisión de la bomba como el caudal de retorno del sistema se pueden regular mediante la palanca de control (12).

2.2.1. Sistema oleohidráulico.

El sistema oleohidráulico de potencia (figura 4) cuenta con una unidad oleohidráulica de 100 [lts] ubicada en la parte inferior del banco de control y medición. Esta unidad tiene instalada una bomba de pistones axiales y caudal regulable marca Bosch que puede alcanzar una presión de trabajo máxima de 35 [Mpa]. La bomba funciona gracias a un sistema de potencia compuesto por un motor eléctrico y una transmisión por correa (Anexo 1).

El caudal entregado por la bomba es regulado tanto por la palanca de control del sistema como por la manilla de control para avance de precisión. El aceite a presión descargado por la bomba es dirigido por la línea de presión hasta la admisión del cilindro de trabajo (actuador lineal de simple efecto). Una segunda línea (línea de medición) transmite aceite a presión desde el cilindro de trabajo hasta el cilindro de medición (actuador lineal de simple efecto). Existe una tercera línea denominada línea de retorno que conecta el cilindro de trabajo con el estanque de la unidad oleohidráulica, esta línea entra en funcionamiento solo cuando falla el sello del émbolo en el cilindro de trabajo, dirigiendo el aceite fugado directamente hacia el estanque.

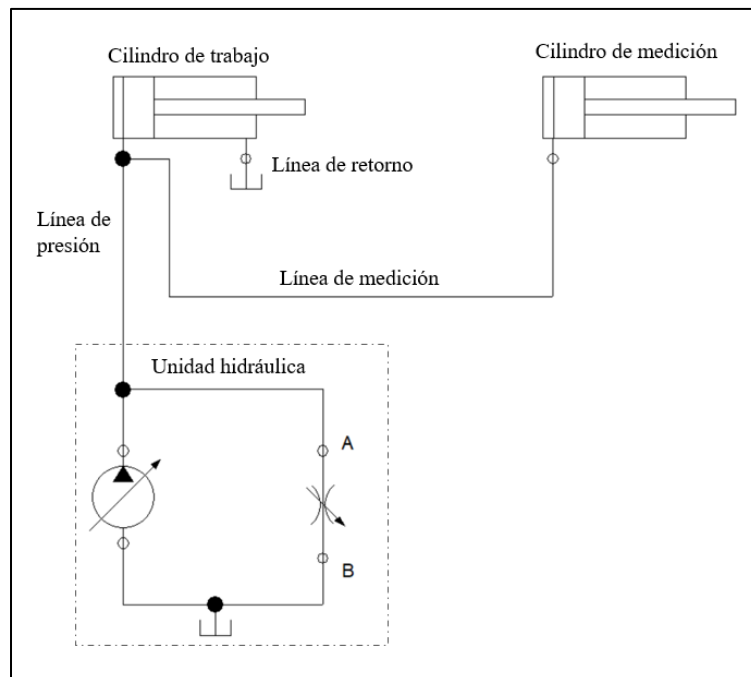


Figura 4-Plano oleohidráulico. Máquina Losenhausenwerk UHP-40.

Dentro de la unidad oleohidráulica se encuentran conectadas en paralelo una sublínea de presión con una sublínea de retorno, es en esta última en donde se ubica una válvula reguladora de caudal, cuya regulación se realiza por el accionamiento tanto de la palanca de control del sistema como por la manilla de control de retorno de aceite.

Las carreras de retroceso de ambos actuadores se producen por gravedad en función de la apertura de la válvula de retorno.

2.2.2. Sistema de medición y registro.

El sistema de medición y registro se compone de un cilindro oleohidráulico de simple efecto (cilindro de medición) que recibe aceite desde el actuador de trabajo a través de la línea de medición. Al recibir presión el vástago del cilindro de medición avanza desplazando de manera vertical descendente una horquilla fijada a este (figura 5).

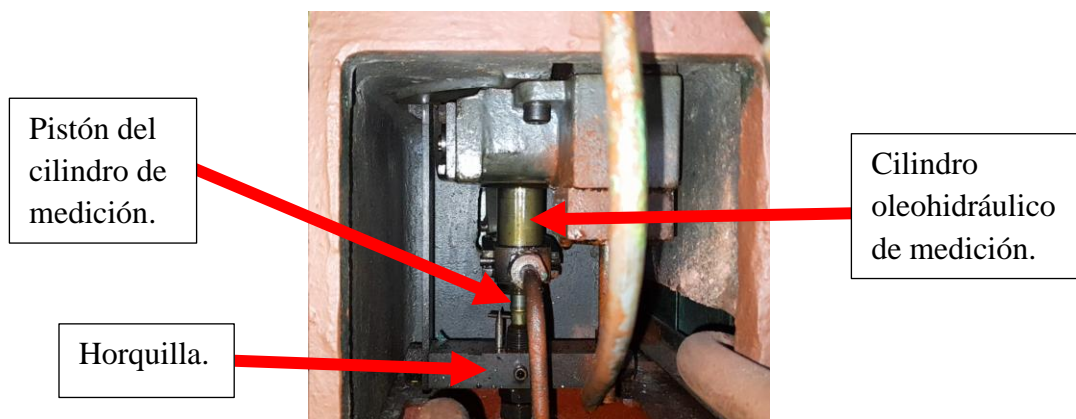


Figura 5-Cilindro oleohidráulico de medición.

El desplazamiento de la horquilla genera un momento en un eje en el cual se encuentra acoplado un péndulo (figura 6), este último se mueve angularmente en función del desplazamiento de la horquilla.

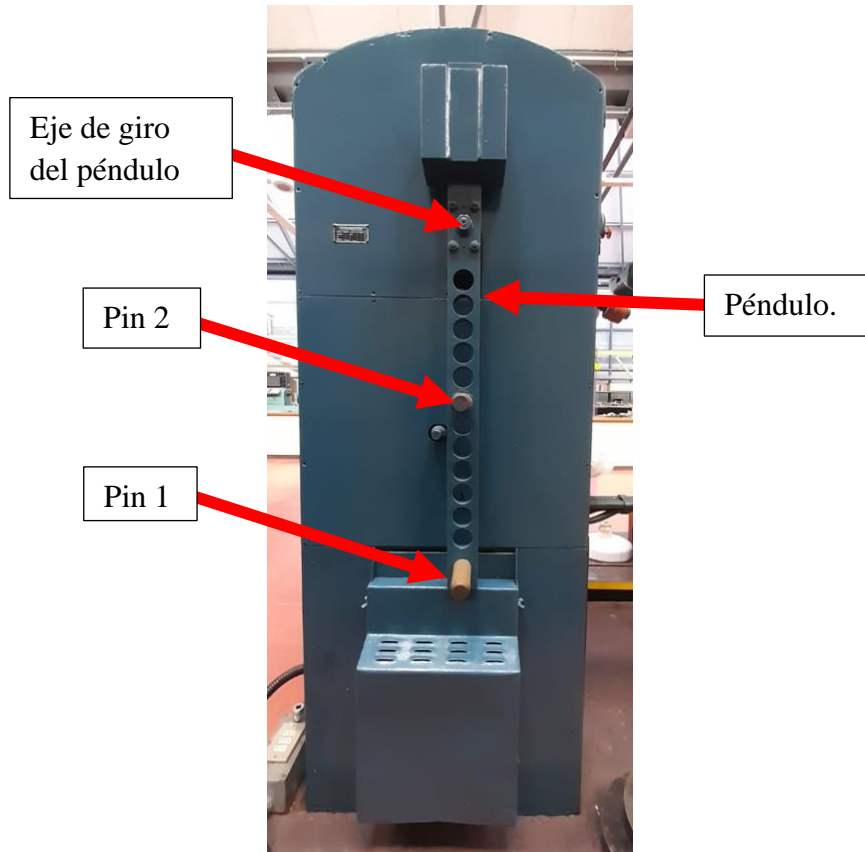


Figura 6-Péndulo del sistema de medición y registro.

El péndulo de medición cuenta con una serie de discos (figura 7) de contrapeso los cuales se montan en los pines respectivos de acuerdo con la escala de medición en la cual se desea trabajar. Es importante precisar que la configuración de contrapesos en el péndulo solo determina el movimiento angular de este respecto a su eje de giro.



(a) Disco A



(b) Disco B



(c) Disco C

Figura 7-Discos de contrapeso. Sistema de medición.

Tanto las características de los discos como la configuración de estos en el péndulo de acuerdo con la escala a trabajar se presentan en la tabla 2.

Tabla 2-Ficha técnica. Discos de contrapeso del sistema de medición y registro.

	Disco A	Disco B	Disco C
Peso [kg]	25.84	20.69	5.28
Diámetro [mm]	300	300	300
Altura [mm]	45	36	9
0-4000[kgf]	-	-	Pin 1
0-8000[kgf]	-	Pin 2	-
0-20000[kgf]	-	Pin 1	Pin 1
0-40000[kgf]	Pin 1	Pin 1	Pin 1

El movimiento angular del péndulo es convertido en un desplazamiento lineal horizontal mediante un sistema auxiliar, el cual se encarga de hacer girar las agujas del manómetro de carga graduado y de transmitir en movimiento al lápiz del tambor de registro.

El manómetro de carga de la máquina (figura 8) cuenta con dos agujas, una motriz y otra conducida. La aguja motriz transmite el giro a la aguja conducida, teniendo esta última la función de indicar la carga máxima ejercida cuando la presión en el sistema oleohidráulico comienza a disminuir una vez alcanzada la falla en la probeta ensayada. El manómetro de carga está graduado con las cuatro escalas de carga con sus respectivas resoluciones.



Figura 8- Manómetro de carga.

En cuanto al tambor de registro (figura 9), este cuenta con un lápiz fijado a un brazo, el cual se mueve linealmente en función de giro del péndulo de medición. Este movimiento lineal registra la fuerza ejercida en un papel cuadriculado dispuesto en el manto del tambor. A su vez, el tambor cuenta con una polea acoplada a su eje, la cual lo hace girar en función del desplazamiento vertical ascendente de la mesa de flexión gracias a un sistema de poleas.

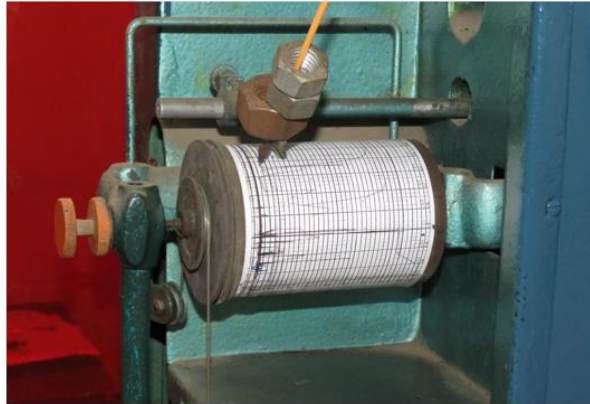


Figura 9-Tambor de registro. Carga v/s desplazamiento.

2.2.3. Elementos auxiliares.

La máquina universal de ensayos está equipada con una variedad de elementos auxiliares diseñados específicamente para llevar a cabo los distintos tipos de ensayos mecánicos que fueron señalados anteriormente. La versatilidad de la máquina se debe, en gran medida, a la presencia y funcionalidad de estos elementos auxiliares.

2.2.3.1. Mordazas planas de sujeción.

Las mordazas planas (figura 10) se instalan en los cabezales de sujeción (superior e inferior) y permiten sujetar de manera efectiva probetas para ensayos de tracción. Este tipo de mordazas pueden utilizarse para la sujeción de probetas de geometrías tanto cilíndricas como planas.

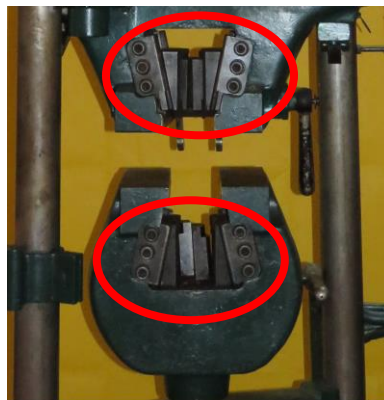


Figura 10-Mordazas planas de sujeción.

2.2.3.2. Cabezales con empuñadura para tracción.

Los cabezales para ensayos de tracción (figura 11), también conocidos como mordazas partidas, son empleados para realizar ensayos de tracción en probetas normalizadas cuya geometría cilíndrica cuenta con empuñaduras en las cuales se sujeta la pieza para ser traccionada. Al igual que las mordazas planas, estos cabezales se instalan en los cabezales de sujeción (superior e inferior).



Figura 11-Cabezales con empuñadura.

2.2.3.3. Soportes para ensayo de flexión.

Los soportes para ensayo de flexión en tres puntos son dos apoyos instalados sobre la mesa de trabajo, los cuales pueden desplazarse a lo largo de esta en función de la longitud de la viga a ensayar. Estos soportes cuentan con un apoyo cilíndrico en su parte superior, en donde descansa la probeta de ensayo, estos permiten puntualizar las fuerzas de reacción sobre el material ensayado.



Figura 12-Soportes para ensayo de flexión.

2.2.3.4. Vástago de carga.

El vástago de carga (figura 13) es un conjunto mecánico compuesto de un rodillo acoplado a un cuerpo, el cual permite aplicar una carga puntualizada en las probetas ensayadas,

especialmente en vigas sometidas a flexión en tres puntos. El vástago de carga se instala en la base del cilindro de trabajo de la zona de ensayos de compresión.

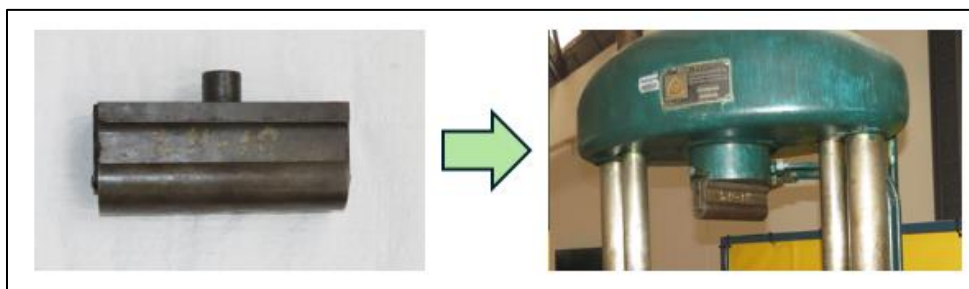


Figura 13-Vástago de carga.

2.2.3.5. Conjunto para ensayo de cizalle.



(a) Horquilla.



(b) Sufridera central.



(c) Vástago de carga.



(d) Arreglo de ensayo de cizalle.

Figura 14-Conjunto para ensayo de cizalle.

El conjunto mecánico de ensayo de cizalle (figura14). se compone de una horquilla (a) que oficia de descanso para una probeta de ensayo. La probeta con forma de eje se dispone horizontalmente en la horquilla señalada atravesando la sufridera central (b), la cual se encarga de distribuir de manera uniforme la carga ejercida por el vástago de carga (c) sobre la probeta. El conjunto mecánico de ensayo (d) también es conocido como “Sufridera para ensayo de cizalle”

3. Desarrollo.

3.1. Estado actual.

El desarrollo del proyecto de recuperación y actualización del sistema de medición de la máquina Losenhausenwerk comienza con un levantamiento de información de la situación actual del equipo. Para llevar a cabo dicho proceso se identificaron los sistemas que inciden directamente en el funcionamiento de la máquina, los cuales pueden apreciarse en la figura 15.

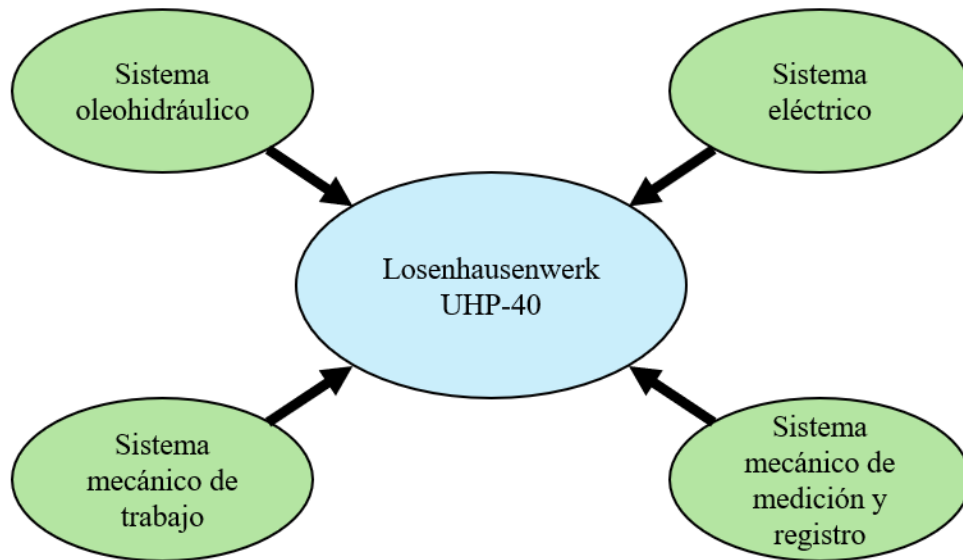


Figura 15-Sistemas máquina Losenhausenwerk UHP-40.

Para cada uno de los sistemas se evaluó si su estado contribuye a un funcionamiento óptimo de la máquina mediante la realización de 3 ensayos (tracción, flexión y cizalle) siguiendo los pasos señalados en la figura 16.

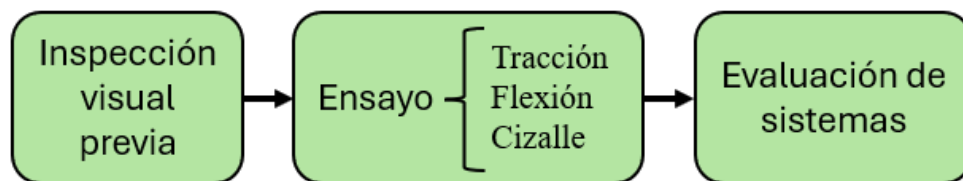


Figura 16-Procedimiento de evaluación de estado actual.

El arreglo de medición y el montaje mecánico de los elementos necesarios para cada ensayo pueden apreciarse en la figura 17.



(a) *Ensayo de cizalladura*



(b) *Ensayo de tracción*



(c) *Ensayo de flexión*

Figura 17- Montaje de ensayos de prueba.

Paralelamente se realizó un análisis de aceite en el sistema oleohidráulico, pues se desconocían las características del lubricante presente en la unidad. El análisis del lubricante fue desarrollado por la empresa Bel Ray Chile y se centró en la identificación de la viscosidad del aceite junto con un estudio de los elementos contaminantes presentes en él de acuerdo con la norma ISO4406 [1].

3.1.1. Levantamiento de información.

Realizados los ensayos de prueba y el análisis de aceite correspondiente se presentaron los siguientes hallazgos:

3.1.1.1. Sistema oleohidráulico.

Luego de la realización de los 3 ensayos de prueba se detectó una evidente fuga de aceite en la conexión de la línea de presión con el cilindro de trabajo (figura 18).

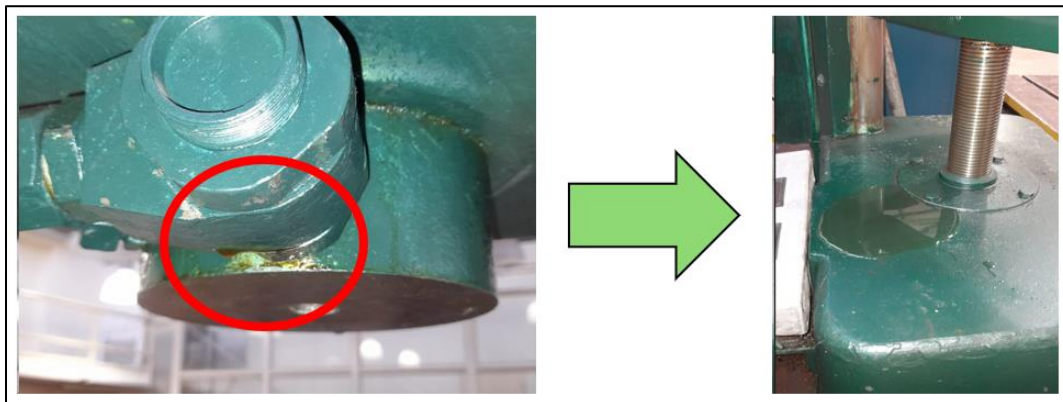


Figura 18-Fuga de aceite. Sistema oleohidráulico.

Producto de la fuga de aceite descrita se genera un charco en la base del bastidor del sistema mecánico de trabajo. Una alta acumulación de aceite en la zona representa un serio peligro para los operadores y asistentes del laboratorio ya que el lubricante puede escurrir hacia el piso o bien entrar en contacto con el sistema eléctrico de la máquina.

En cuanto al análisis de aceite, se tomaron 2 muestras desde el estanque, la primera a nivel superficial y la segunda en el fondo de este. Los resultados de ambas muestras se presentan en la tabla 3:

Tabla 3-Resultados de análisis de aceite.

	Muestra 1	Muestra 2
Viscosidad [cSt]	152	152
Grado ISO	150	150
Partículas mayores a 4 [µm] \ [part/ml]	46462	40637
Partículas mayores a 6 [µm] \ [part/ml]	5967	9467
Partículas mayores a 14 [µm] \ [part/ml]	539	330
ISO 4406	23/20/16	23/20/16
Partículas por corte [part/ml]	117.9	131.5
Partículas por deslizamiento [part/ml]	70.8	165.2
Partículas de fatiga [part/ml]	74.1	37.1
Partículas no metálicas [part/ml]	394.2	229.3
Fibras [part/ml]	80.9	279.9

La viscosidad identificada corresponde a un grado ISO150 [2], el cual representa un valor elevado considerando las solicitaciones a las cuales se encuentra sometida la unidad oleohidráulica, por esta razón se recibió la recomendación de estandarizar el aceite de la unidad con un aceite de grado ISO68. En cuanto a los contaminantes presentes en ambas

muestras, las concentraciones de estos se encuentran dentro de rangos aceptables (de acuerdo con lo señalado por la empresa Bel Ray). Además, la presencia de partículas metálicas que pueden indicar desgastes en los elementos mecánicos del sistema oleohidráulico no es constitutiva de falla dadas las bajas concentraciones de este tipo de contaminantes (figura 19).

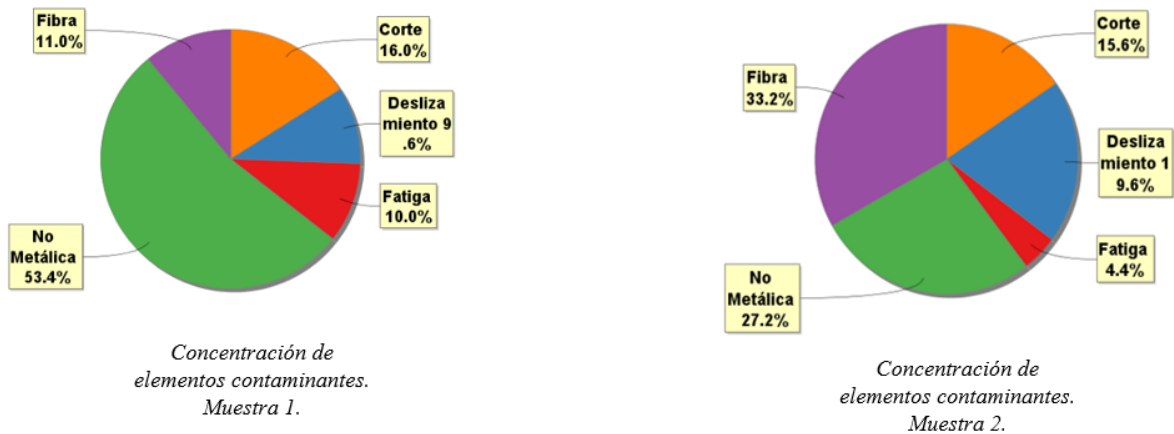


Figura 19- Concentraciones de elementos contaminantes.

Por último, se descubrió que la principal fuente emanadora de material contaminante no metálico corresponde al desgaste de la correa del sistema de transmisión de potencia en la unidad oleohidraulica.

3.1.1.2. Sistema eléctrico.

Realizada la inspección visual previa se detectó que el sistema eléctrico fue intervenido con anterioridad, sin embargo, no existen documentación ni registros asociados a las reparaciones específicas que se han desarrollado en el sistema. Como se aprecia en la figura 20, la máquina cuenta con parte de su cableado interno descubierto a simple vista, lo que podría derivar en un riesgo para la seguridad tanto de los operadores como de los asistentes al laboratorio. Identificada la condición del sistema, se desarrollan los 3 ensayos de prueba sin inconvenientes, no detectándose anomalías en el funcionamiento eléctrico de la máquina.

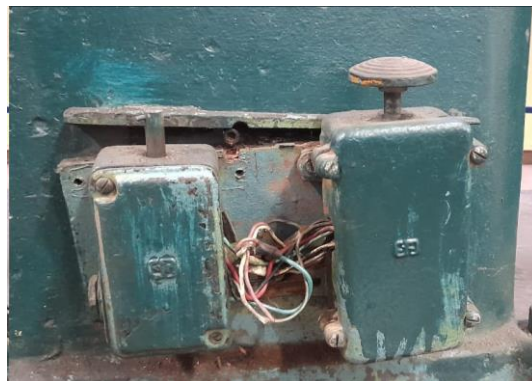


Figura 20- Cableado eléctrico de pedales.

3.1.1.3. Sistema mecánico de trabajo.

El sistema mecánico de trabajo (constituido por el cilindro de trabajo, la mesa de trabajo, cabezales de sujeción y elementos auxiliares) no presentó fallas en la realización de los ensayos de prueba. Sin embargo, con la inspección visual previa se detectó una fractura del sistema porta mordazas de sujeción del cabezal inferior (figura 21), dicha fractura provoca que la mordaza derecha no se mantenga en su posición cuando ésta no se encuentra bajo carga. A pesar de la condición señalada, las mordazas funcionan de manera óptima y generan el apriete necesario para la sujeción de las probetas en un ensayo de tracción.



Figura 21- Fractura de porta mordazas planas de sujeción.

3.1.1.4. Sistema mecánico de medición y registro.

Mediante la inspección visual previa se detectó que el tambor de registro no se encuentra en condiciones óptimas, esto debido que el lápiz respectivo fue remplazado por un lápiz pasta común sujetado por tuercas (figura 22), las cuales interfieren con la funcionalidad tanto estética como mecánica del sistema. Dicho estado se convierte en una evidente fuente de error en la generación de la gráfica de carga en función del desplazamiento.

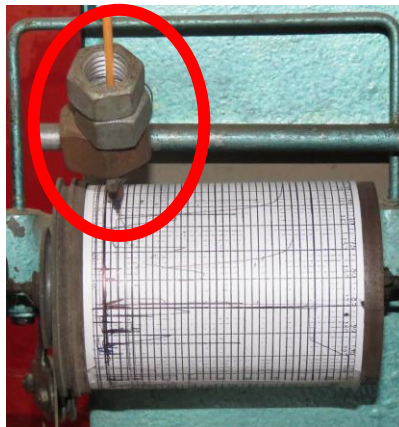


Figura 22- Estado actual del tambor de registro.

3.2. Plan de trabajo.

Realizados los tres ensayos de prueba para el levantamiento de información del estado actual de la máquina se evaluaron cuáles eran los sistemas que necesitaban reparación para alcanzar un funcionamiento óptimo de esta. En base a esta evaluación se desarrolló un plan de trabajo con las tareas de recuperación de la máquina y de actualización de su sistema de medición. Las tareas contempladas en este trabajo de título son:

3.2.1. Recuperación y mantenimiento de la máquina.

- Reparación de fuga de aceite.
- Cambio de aceite de unidad hidráulica.
- Cambio de correa.

3.2.2. Actualización del sistema de medición.

- Definición del transductor de presión a utilizar.
- Calibración transductor de presión: Interpretar señal de presión, convertirla en carga y comunicarla desde Arduino a Labview.
- Definición del transductor de desplazamiento a utilizar.
- Calibración transductor de desplazamiento: Interpretar señal de desplazamiento y comunicarla desde Arduino a Labview.
- Programación de la interfaz de usuario en Labview que permita obtener una gráfica de carga [kg] en función de desplazamiento [mm]
- Instalación de transductores en la máquina y montaje de circuito electrónico definitivo.
- Pruebas y ajustes.
- Validación de parámetros medidos.

Los tiempos de ejecución del proyecto se detallan en la tabla 4.

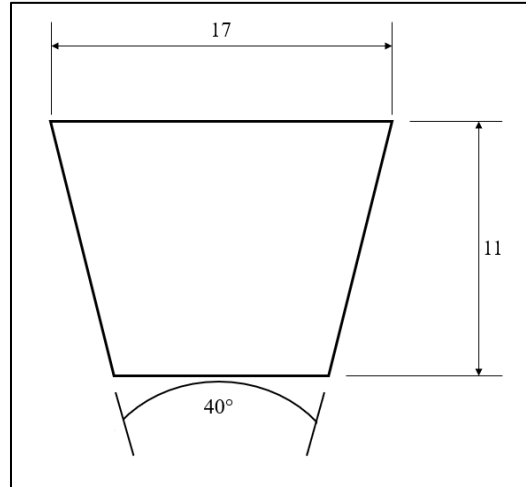
Tabla 4- Carta Gantt del proyecto.

Proyecto de recuperación y actualización del sistema de medición de la máquina universal de ensayos mecánicos Losenhausenwerk.								
Tareas	2023		2024					
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Levantamiento de información								
Actualización del sistema de medición								
Recuperación								
Ajustes								
Verificación								
Documentación								

3.3. Recuperación.

3.3.1. Cambio de correa.

La correa presente en el sistema de potencia de alimentación de la unidad hidráulica es de perfil americano liso tipo B (figura 30). La longitud total de la correa es de 42 [pulgadas.]



*Figura 23-Geometría de la correa sistema de potencia.
Unidad oleohidráulica.*

La correa presentaba un evidente desgaste que correspondía a la principal fuente de emanación de material particulado no metálico que fue encontrado en los contaminantes identificados en el análisis de aceite realizado. Se procedió a retirar la correa desgastada para luego instalar una correa nueva (figura 31). Una vez realizado el cambio se comprobó el funcionamiento de este sistema de transmisión de potencia, no detectándose anomalías posteriores a la intervención.



*Figura 24-Cambio de correa en sistema de potencia.
Unidad oleohidráulica.*

3.3.2. Reparación de fuga de aceite.

El conector hidráulico de 90° instalado en la admisión del cilindro de trabajo en donde se encontraba la fuga de aceite se conforma de tres piezas, una tapa, un conector interior y un conector exterior (figura 23).

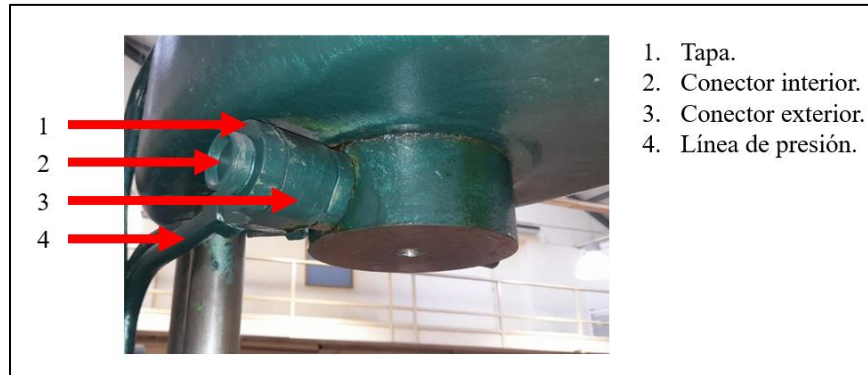


Figura 25- Elementos del conector oleohidráulico en el cilindro de trabajo.

Se desmontó la conexión oleohidráulica retirando la tapa del conector, para luego desmontar el conector exterior tanto del conector interior como de la línea de presión (figura 24). El conector interior quedó fijo en el cilindro de trabajo.

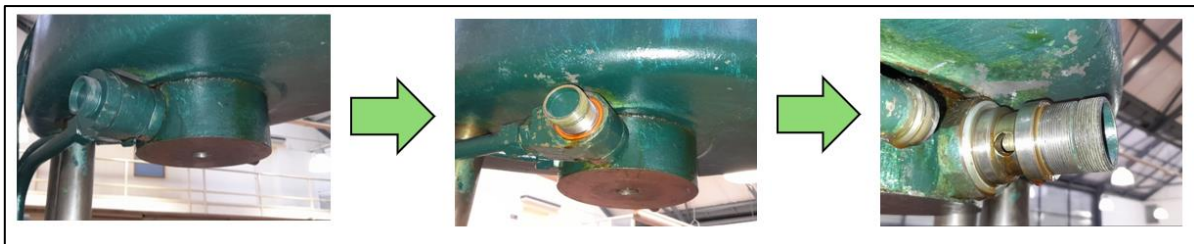


Figura 26- Proceso de desmontaje del conector oleohidráulico.

Se descubrió que el conector contaba con 2 sellos de latón deformados producto de un apriete excesivo (figura 25), dicha deformación era la principal causa de la fuga de aceite.



Figura 27- Sellos de latón presentes en el conector exterior.

Para reparar la fuga se determinó el uso de dos oring`s (anillos de goma), cada uno pegado al sello de latón respectivo (figura 26).

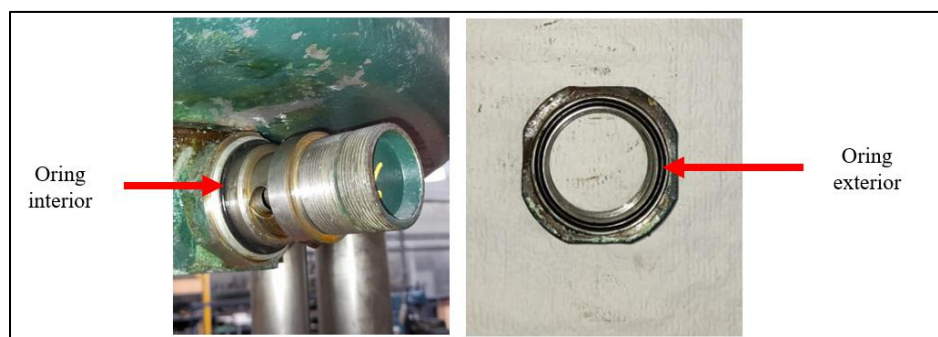


Figura 28-Instalación de oring`s.

Una vez rearmado el conector hidráulico (figura 27) se verificó el estado de la conexión y la funcionalidad de los oring`s incorporados. Realizando una prueba de carga en compresión alcanzando los 40.000 [kg] se comprobó la inexistencia de fugas de aceite en la conexión.



Figura 29- Conector oleohidráulico reparado.

3.3.3. Cambio aceite unidad hidráulica.

Como fue señalado anteriormente, la empresa encargada de desarrollar el análisis de aceite presente en la unidad oleohidráulica entregó la recomendación de cambiar el lubricante por uno de menor viscosidad, de preferencia un aceite grado ISO68. Luego de cotizar distintas alternativas de marcas y variedades se determinó el uso de un aceite Lubrax Hydra 68, el cual es recomendado para sistemas oleohidráulicos con presiones máximas cercanas a 5000 [psi]. Los datos técnicos de este aceite se presentan en la tabla 5.

Tabla 5- Ficha técnica de aceite Lubrax Hydra 68.

Color ASTM.		<0.5
Densidad relativa \ 15°C \ [kg/lts].		0.868
Viscosidad.	cSt@40°C.	68.0
	cSt@100°C.	9.0
Índice de viscosidad.		107
Punto de inflamación.		248

El proceso de cambio de aceite se desarrolló siguiendo los pasos presentes en la figura 28.

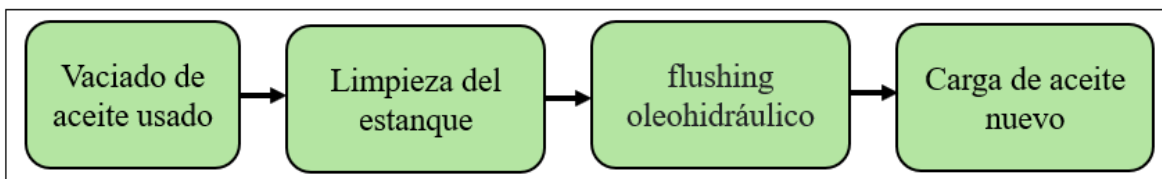


Figura 30- Procedimiento de cambio de aceite en unidad oleohidráulica.

El flushing oleohidráulico se realizó con el aceite nuevo y consistió en recircular el nuevo lubricante por el sistema oleohidráulico con el objetivo de remover restos de aceite contaminado e impurezas presentes en el sistema.

La ejecución del procedimiento de cambio de aceite puede apreciarse en la figura 29.

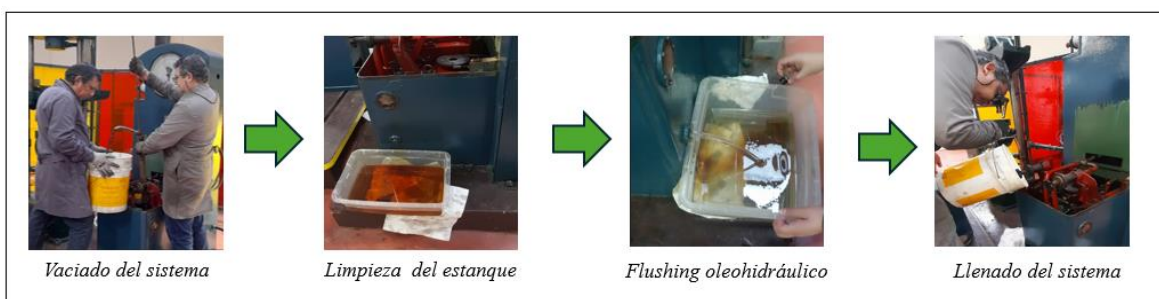


Figura 31- Ejecución de cambio de aceite. Unidad oleohidráulica.

3.3.4. Recuperación del sistema eléctrico.

Si bien actualmente no se han identificado problemas adicionales en el sistema eléctrico de la máquina universal de ensayos, es importante tener en cuenta su antigüedad y las diversas intervenciones que ha experimentado a lo largo del tiempo. Estas consideraciones hacen recomendable llevar a cabo una inspección eléctrica exhaustiva realizada por un técnico electricista especialista, con el objetivo de resguardar tanto la integridad de la máquina como también la seguridad de los operadores y asistentes del laboratorio.

3.4. Actualización del sistema de medición.

Los parámetros de medición originales de la máquina universal de ensayos mecánicos son desplazamiento (distancia recorrida por la mesa de trabajo) en milímetros [mm] y carga en kilogramos [kg]. Ambos parámetros deben ser medidos por transductores independientes que conviertan el parámetro de medición respectivo en una señal eléctrica. Dichas señales deben ser leídas por un adquisidor de datos, el cual debe comunicar los datos adquiridos a un computador para que estos sean procesados y analizados.

Para este proyecto se utilizó una placa de Arduino Uno R3 como adquisidor de datos y el software Labview para diseñar una interfaz con el objetivo de controlar la adquisición de los parámetros, graficarlos en tiempo real y guardarlos para un análisis posterior.

El tratamiento de las señales respectivas a cada parámetro de medición es el representado en la figura 32.

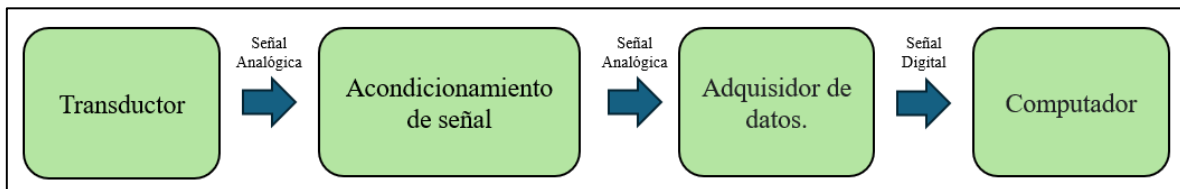


Figura 32- Procesamiento de la señal eléctrica de cada parámetro de medición.

Un factor para considerar es la existencia de diversas normas que determinan los procedimientos de medición y herramientas a utilizar para la realización de ensayos mecánicos. En este contexto las normas ISO 6892 [3] y ASTM E8 [4] describen y normalizan la realización de ensayos de tracción. En ambas normas se recomienda el uso de un extensómetro para la medición de desplazamiento en las probetas ensayadas, pues esta es la manera en que se puede medir la tasa de deformación directa en la probeta ignorando los efectos de los elementos de sujeción. Sin embargo, el uso de un transductor de desplazamiento que mida el avance del pistón de trabajo puede entregar una información cercana a los valores de deformación y del comportamiento de la carga respecto a esta, por lo cual, para usos docentes, es una alternativa factible el uso de un transductor de desplazamiento que mida el avance del vástago en el cilindro de trabajo o el desplazamiento vertical ascendente de la mesa de trabajo.

3.4.1. Arduino.

Arduino es una plataforma de desarrollo para creaciones electrónicas. Esta plataforma cuenta con hardware y software libre, lo que permite su amplio uso a nivel industrial y educativo. La utilización de una placa de Arduino UNO R3 (figura 33) como adquisidor de datos se debe principalmente al bajo costo económico que esta representa y a su fácil comunicación con el software Labview para el tratamiento de los parámetros adquiridos.



Figura 33-Placa Arduino Uno R3 utilizada.

La placa cuenta con 6 pines de entrada analógica, en los cuales se pueden leer señales de voltaje en corriente continua comprendidos en un rango de 0 a 5[V]. Estas señales son convertidas en una señal digital gracias al conversor análogo digital (DAC) incorporado en la placa.

3.4.2. Labview.

LabView (figura 33) es un entorno de programación gráfica desarrollado por la empresa National Instruments en el cual se pueden desarrollar interfaces que permitan controlar o monitorear sistemas de instrumentación.



Figura 34- Logotipo software Labview 2023.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la librería *LINX* disponible en el *VI Package manager*. Esta herramienta permite comunicar directamente una placa de Arduino con el software cargando previamente un código establecido, permitiendo obtener los valores de las señales analógicas de voltaje adquiridas por la tarjeta de Arduino. Las señales de voltaje adquiridas son convertidas en el parámetro respectivo para ser visualizadas y graficadas en la interfaz programada.

3.4.3. Medición de presión.

Para obtener una medición de presión en el sistema oleohidráulico se decidió utilizar un transductor de presión en desuso disponible en el laboratorio de tecnología mecánica. Dicho transductor se instaló en la línea de medición, en una posición anterior a la admisión del cilindro de medición (figura 35). Para la instalación del transductor en la línea de medición se utilizó un conector oleohidráulico en “T” aprovechando una intervención previa realizada en el equipo.

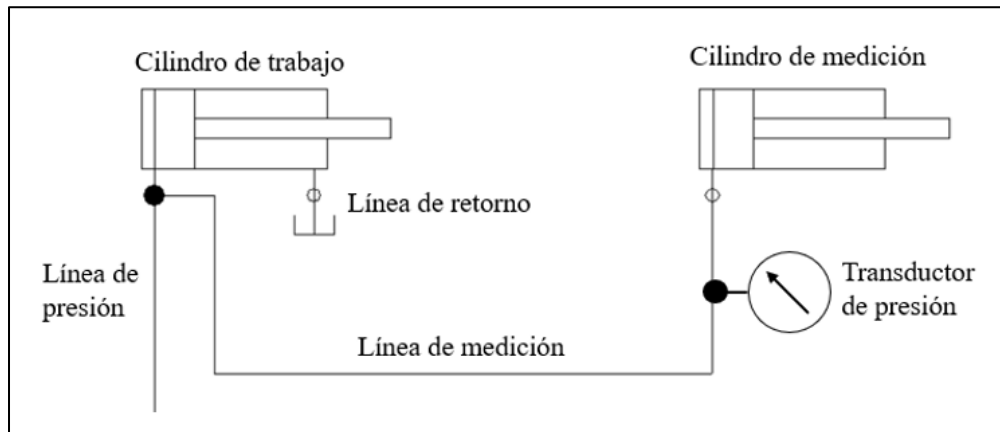


Figura 35- Posicionamiento de transductor de presión.

3.4.3.1. Transductor de presión MPI.

El transductor utilizado es de la marca MPI, modelo MHP 3P 5.0M 4S (figura 36). Su principio de funcionamiento corresponde a un arreglo de resistencias junto con una galga extensiométrica configuradas en un puente de Wheatstone.



Figura 36-Transductor de presión MPI MHP 3P 5.0M 4S.

Los datos técnicos de este transductor se pueden apreciar en la figura 37.

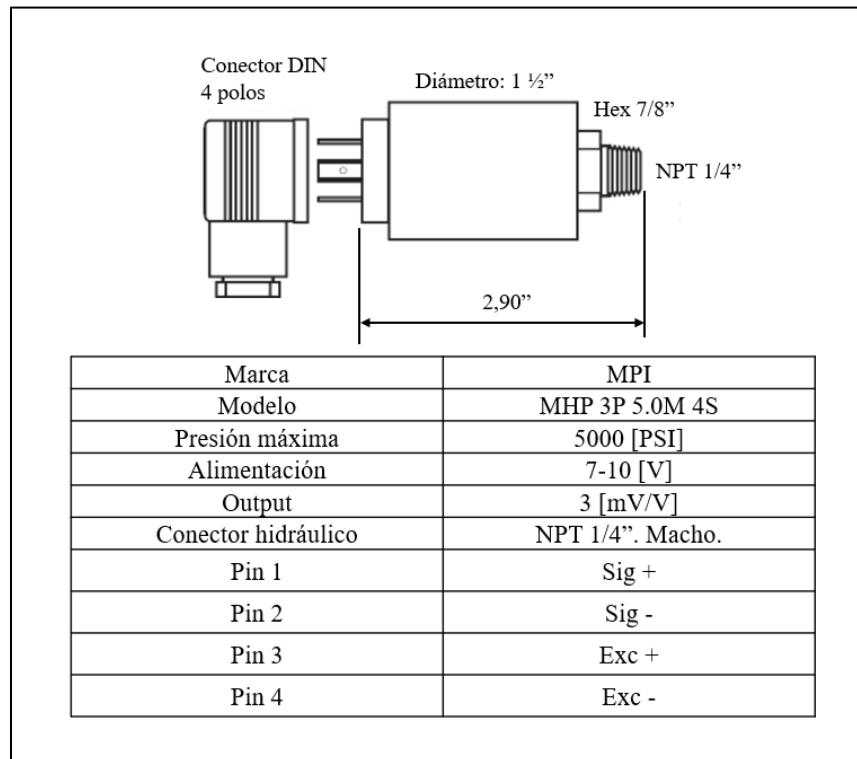


Figura 37-Datos técnicos del transductor de presión MPI MHP 3P 5.0M 4S.

Si bien el transductor puede utilizarse manera directa, es decir, alimentarlo desde una fuente externa y medir directamente la señal de voltaje entregada para un valor de presión determinado, se optó por la opción de utilizar un módulo acondicionador de señal, el cual se encarga de alimentar el transductor, recibir la señal de salida que éste entrega, filtrar y amplificar dicha señal, de manera que esta pueda ser manejada en un rango de 0 a 5 [V] en corriente continua. Para utilizar dicho módulo acondicionador de señal fue necesario comprobar el funcionamiento de ambos elementos conectados, evaluar su comportamiento y encontrar la relación entre presión-carga y voltaje.

3.4.3.2. Módulo acondicionador de señal ICP Sg3016.

El módulo acondicionador de señal utilizado, al igual que el transductor de presión, fue reutilizado de un proyecto anterior desarrollado en el laboratorio de tecnología mecánica. Este módulo es de la marca ICP modelo Sg3016 (figura 38).



Figura 38- Módulo acondicionador de señal ICP Sg3016.

La particularidad de este módulo es que permite alimentar el transductor con una tensión ajustable, además de recibir la señal del transductor puede filtrarla y amplificarla a un rango de salida determinado y configurable. En la figura 39 se presentan las dimensiones generales del módulo y los rangos de señal de entrada y salida en los cuales puede trabajar.

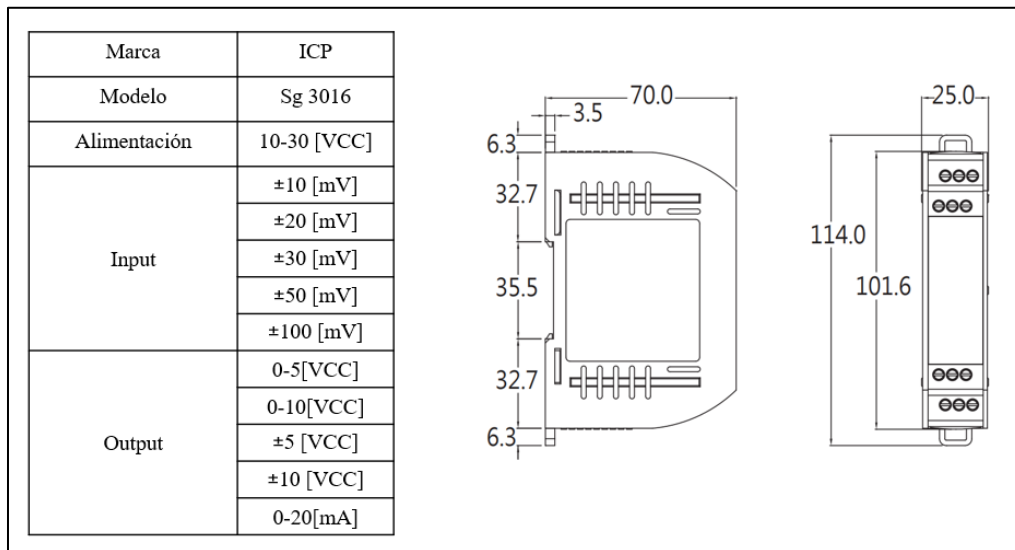


Figura 39- Datos técnicos del módulo acondicionador ICP Sg3016.

El módulo cuenta con 12 pines de conexión, 3 controles de ajuste y 12 switch's para configurar los rangos de entrada y salida de señal en el instrumento. Todos los elementos mencionados pueden identificarse en la figura 40.

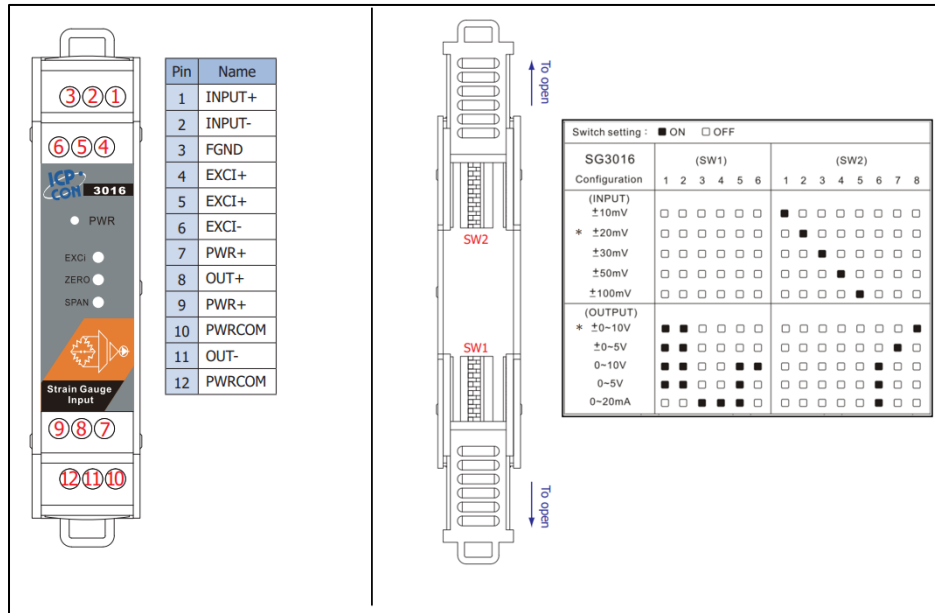


Figura 40-Pines y switch`s. Módulo ICP Sg3016.

3.4.3.3. Calibración: carga en función de voltaje.

La relación entre la carga ejercida por el cilindro de trabajo y el voltaje entregado por el transductor de presión instalado en la línea de medición se obtuvo mediante un proceso de calibración utilizando una celda de carga de 20000[kg] conectada a un multímetro con fuente de poder incluida. Dicha celda de carga fue sometida a fuerzas de compresión en la máquina. Los parámetros de funcionamiento de la celda señalada se presentan en la tabla 6.

Tabla 6- Parámetros de celda de carga y multímetro/fuente de poder.

Carga máxima.	20000 [kgf]
Alimentación celda de carga.	10 [V]
Output.	1 [µV/kg]

Como puede apreciarse en la figura 41, se leyó en el multímetro el valor de tensión entregado por la celda de carga sometida a compresión.

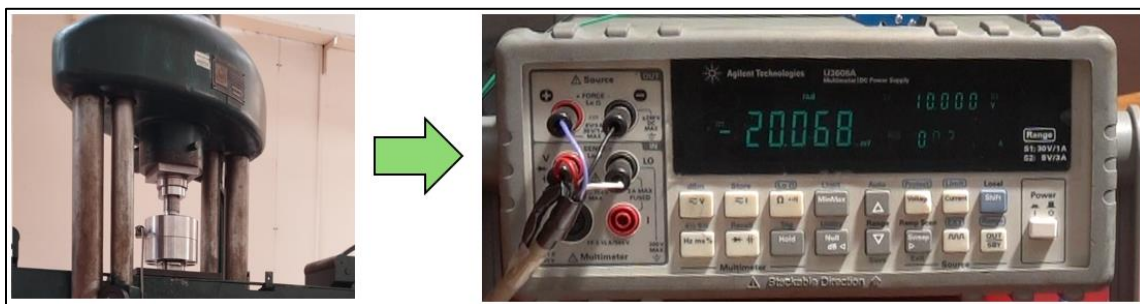


Figura 41- Conexión de celda de carga y multímetro/fuente de poder. Calibración de carga en función del voltaje.

Simultáneamente, se midió el voltaje de salida entregado por el módulo ICP conectado al transductor de presión instalado utilizando la placa de Arduino conectada a un computador. (figura 42).

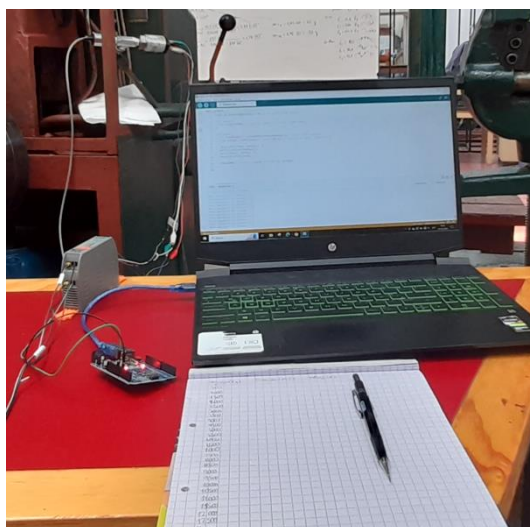


Figura 42- Conexión de transductor de presión.
Módulo ICP- Arduino – Computador.

Los parámetros asociados al proceso de calibración se presentan en la tabla 7.

Tabla 7-Parámetros de funcionamiento del transductor de presión y módulo ICP Sg3 3016.

Alimentación módulo	24 [VCC]
Alimentación Transductor (EXC)	9 [VCC]
Input	± 30 [mVCC]
Output	0-5[VCC]
Rango de medición de carga	0-20.000[kg]
Incremento de carga	500[kg]

La relación entre carga ejercida por el cilindro de trabajo y el voltaje entregado por el módulo ICP se observa en la figura 43.

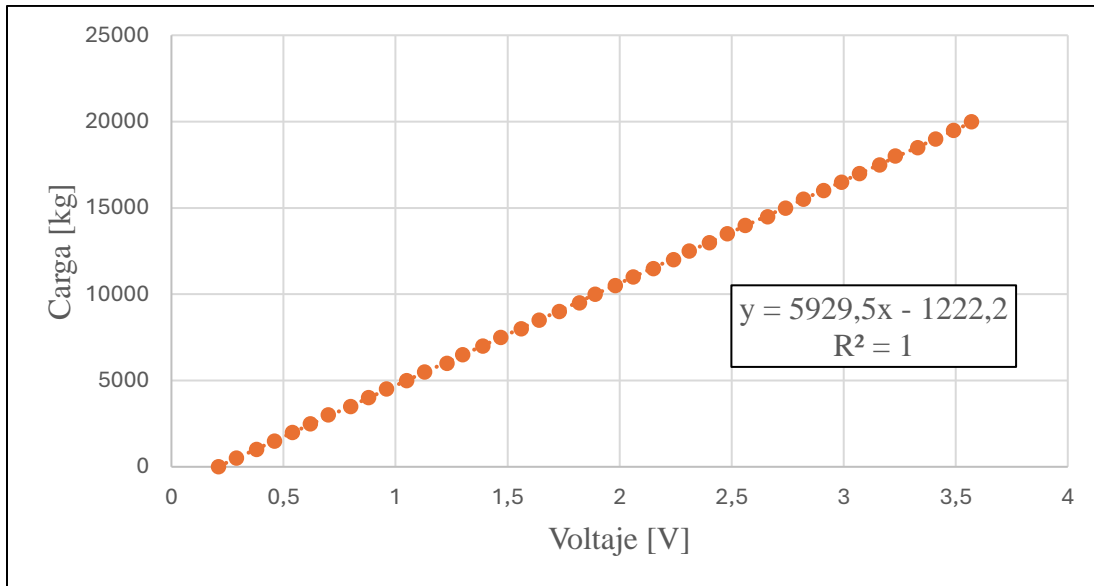


Figura 43- Gráfica de carga en función del voltaje. Transductor de presión MPI y módulo ICP SG3016.

En la gráfica presentada en la figura 43 es claramente observable la relación lineal entre la carga ejercida por la máquina y el voltaje entregado por el transductor de presión instalado, dicha relación queda determinada por la ecuación 1.

$$Carga(v) = 5929,5 \left[\frac{kg}{V} \right] \cdot v - 1222,2[kg] \quad (1)$$

Donde v es el valor de tensión en [V] entregado por el módulo acondicionador de señal ICP Sg 3016.

3.4.4. Medición de desplazamiento.

Para la medición de desplazamiento se decidió el uso de un transductor LVDT y un módulo acondicionador de señal facilitados por el Laboratorio de Ensaye de Materiales y Control de Obras (LEMCO) del campus casa central.

3.4.4.1. Transductor LVDT Macro Sensors PR 750-2000.

Un transductor LVDT es un transductor de desplazamiento cuyo funcionamiento se basa en un Transformador Diferencial de Variación Lineal (LVDT por su sigla en inglés). Este instrumento se compone de un tubo o camisa en la cual están configuradas 3 bobinas (una primaria y dos bobinas secundarias) y de un núcleo magnético (core), el cual se desplaza por el interior de la camisa (figura 44). Al alimentar la bobina primaria con un valor fijo de tensión en corriente alterna se induce una corriente alterna en las bobinas secundarias debido a la presencia de núcleo magnético. El desplazamiento lineal del núcleo dentro de la camisa del transductor provocará una variación en la tensión inducida en las bobinas secundarias.

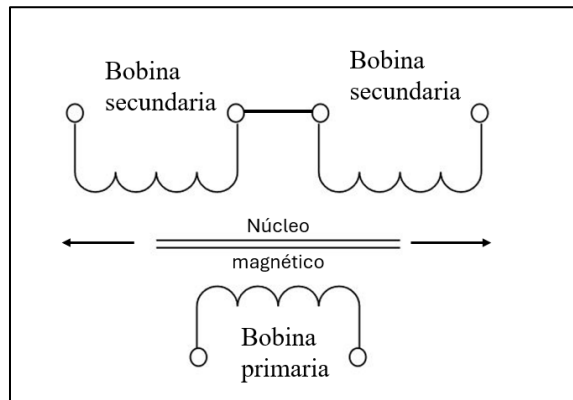


Figura 44-Principio de funcionamiento de transductor LVDT.

La variación de voltaje en corriente alterna puede ser relacionada linealmente en función del desplazamiento del núcleo y viceversa. Teóricamente, un transductor LVDT tiene una resolución infinita, pues la mínima variación de la posición del núcleo dentro del transductor producirá una variación en el voltaje de las bobinas secundarias. Sin embargo, en la práctica, la resolución estará limitada por la capacidad de lectura de la variación de voltaje.

El transductor LVDT facilitado por el LEMCO (figura 45) es de la marca Macro Sensors, modelo PR 750 2000 y cuenta un rango de medición 100[mm].



Figura 45- Transductor de desplazamiento LVDT Macro Sensors PR750 – 2000.

Los datos técnicos del transductor se presentan en la figura 46.

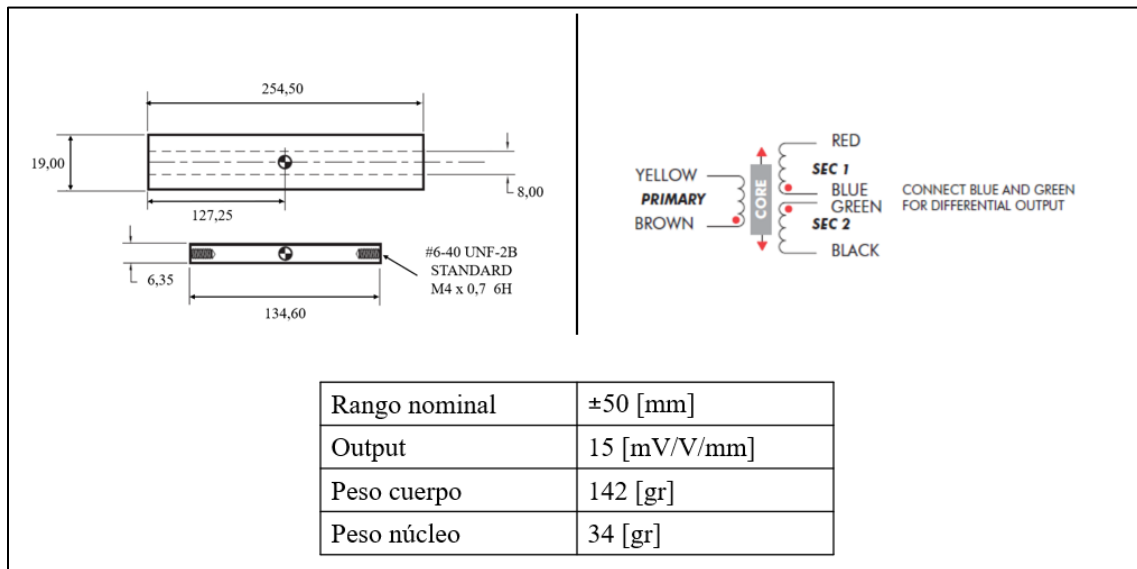


Figura 46- Datos técnicos. Macro Sensors PR750 – 2000.

Como se mencionó anteriormente, tanto la alimentación como la señal de salida de este transductor es en corriente alterna, por lo cual fue estrictamente necesario el uso de un módulo acondicionador de señal que permitiese alimentar el LVDT con un nivel fijo de tensión [VCA], recibir la señal de salida del transductor y convertirla en un nivel de tensión [VCC].

3.4.4.2. Módulo acondicionador de señal Macro Sensors LVC 2500.

Para la alimentación del transductor LVDT y el tratamiento de la señal que este entrega se utilizó el módulo acondicionador de señal Macro Sensors modelo LVC-2500 (figura 47), el cual también fue facilitado por el LEMCO.



Figura 47- Módulo acondicionador de señal Macro Sensors LVC-2500.

Los datos técnicos del módulo pueden apreciarse en la figura 48.

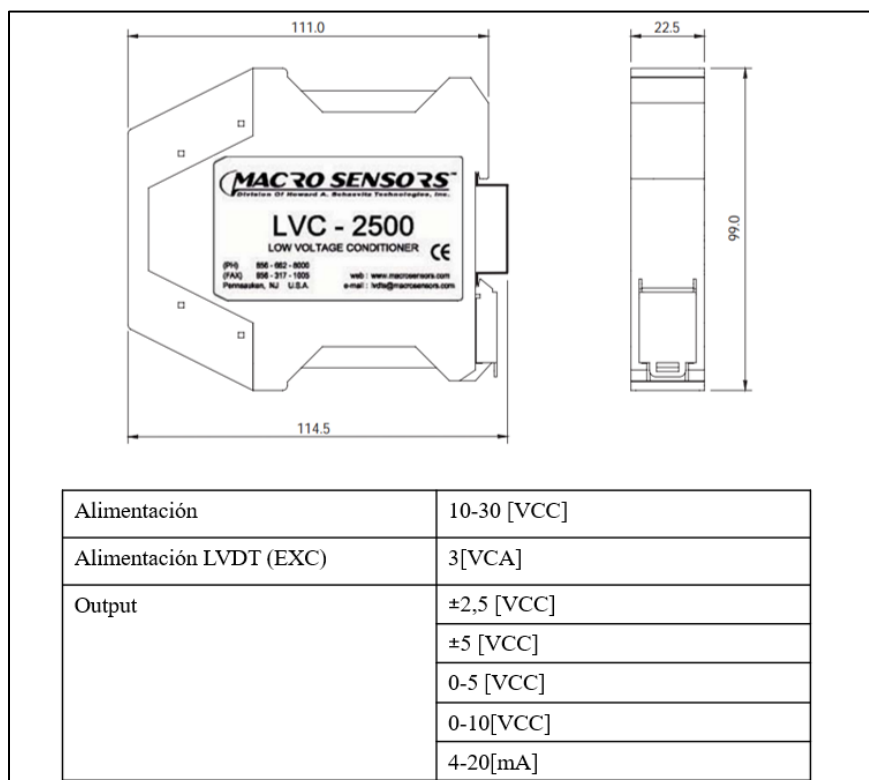


Figura 48-Datos técnicos. Macro Sensors LVC-2500.

Los pines de conexión de entradas y salidas de este módulo pueden apreciarse de manera gráfica en la figura 49.

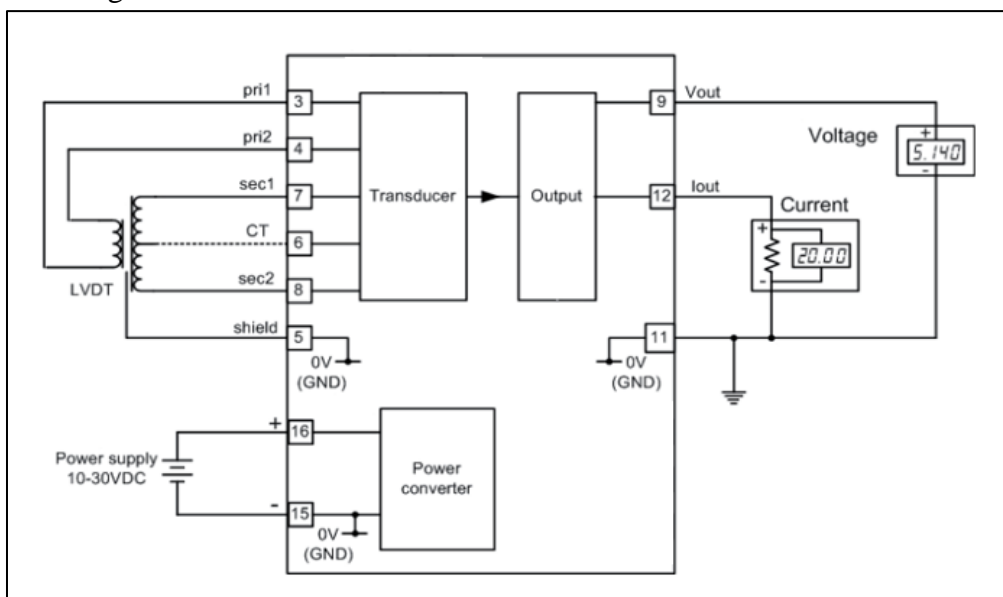


Figura 49- Pines de conexión Macro Sensors LVC-2500.

Si bien se conocen los datos técnicos tanto del transductor LVDT como del módulo LVC2500 (informados por el fabricante), ambos elementos contaban un tiempo de uso importante y un desgaste asociado. Motivos por los cuales se realizó una calibración con el objetivo de obtener una relación de voltaje de salida (entregado por el módulo) en función del desplazamiento del núcleo en el LVDT.

3.4.4.3. Calibración: Desplazamiento en función de voltaje.

Para obtener la relación entre desplazamiento [mm] y voltaje entregado por el módulo acondicionador LVC-2500 [VCC] se realizó un arreglo de medición utilizando un micrómetro cuyas características se presentan en la tabla 8.

Tabla 8- Ficha técnica micrómetro Boeckeler.

Marca	Boeckeler
Rango	0-25 [mm]
Resolución	0,001 [mm]

La instalación del transductor en el micrómetro se realizó mediante 2 abrazaderas tipo Caddy fijadas en un soporte de acrílico. Para controlar el desplazamiento del núcleo del LVDT se mecanizó un vástago de aluminio, el cual no interfiere con las propiedades magnéticas del transductor. Al montar el transductor en el micrómetro fue necesario comprobar la nivelación de este mediante el uso un nivel, con el objetivo de alcanzar la mayor verticalidad del LVDT posible. El arreglo de medición se aprecia en la figura 50.



Figura 50- Arreglo de medición para calibración transductor LVDT.

Como el rango de medición del micrómetro era 4 veces más pequeño que el rango de desplazamiento del LVDT, fue que el proceso de la calibración se realizó en 4 pasos, de 0-25[mm], de 25-50[mm], 50-75[mm] y de 75-100[mm], ajustando la posición del LVDT en cada uno respecto a rango de medición del micrómetro.

Los parámetros de funcionamiento del LVDT con el módulo LVC-2500 se presentan en la tabla 9.

Tabla 9- Parámetros de funcionamiento transductor LVDT y módulo LVC-2500.

Alimentación LVDT	3 [VCA]
Alimentación módulo	10[VCC]
Output módulo	±5 [VCC]
Rango de medición	0-100[mm]
Incremento	1 [mm]

La señal de salida del módulo acondicionador fue adquirida por la placa de Arduino y comunicada al computador para su lectura.

La relación entre voltaje y desplazamiento obtenida se presenta en la figura 51.

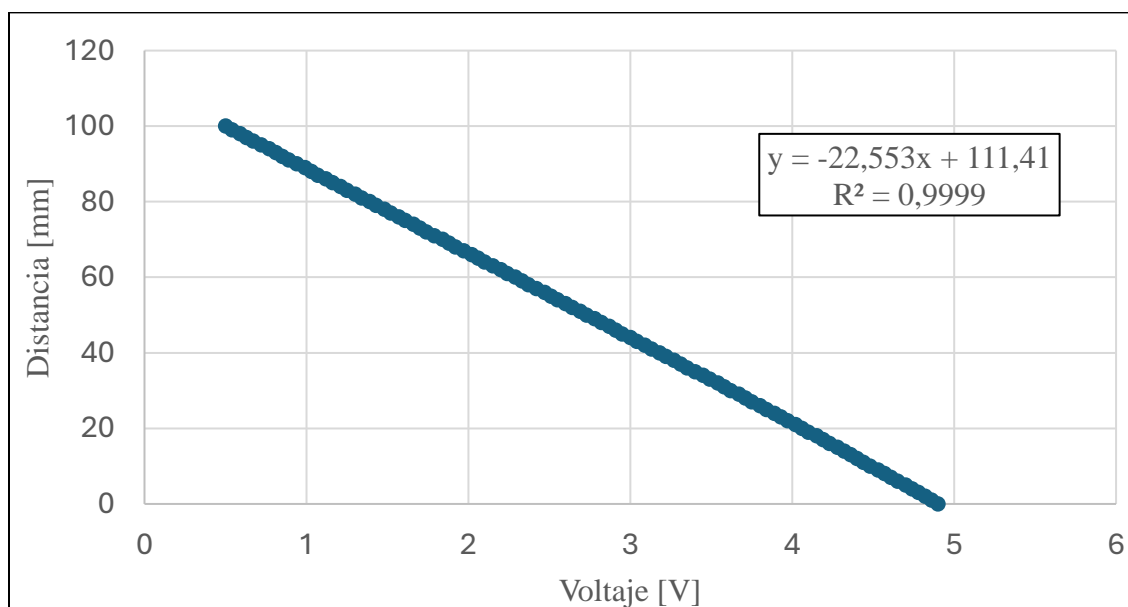


Figura 51- Gráfica de desplazamiento en función del voltaje.
Transductor LVDT y módulo acondicionador Macro Sensors.

La relación entre desplazamiento y voltaje observable en la gráfica de la figura 51 tiene un claro comportamiento lineal, por lo cual la expresión que representa la relación de ambos parámetros se presenta en la ecuación 2.

$$\text{Desplazamiento}(v_d) = -22,553 \left[\frac{\text{mm}}{\text{V}} \right] \cdot v_d + 111,41 [\text{mm}] \quad (2)$$

Donde v_d es el valor de tensión en [V] entregado por el módulo acondicionador de señal Macro Sensors LVC-2500.

3.4.4.4. Instalación del transductor LVDT en la máquina.

Para instalar el transductor LVDT en la máquina sin realizar mayores intervenciones en el equipo fue necesario diseñar un conjunto mecánico el cual permite acoplar el cuerpo del transductor a una de las columnas del sistema mecánico de trabajo. Este conjunto se compone de una pletina de 600 x 30 x 6 [mm] en la cual se mecanizó una ranura central de 8 [mm] con una extensión de 250 [mm], es en esta ranura en donde se monta con pernos M8 una placa de acrílico en la cual se fijan 2 abrazaderas tipo Caddy, siendo estas últimas las que sujetan el transductor LVDT con orientación vertical. La pletina señalada se fijó a una de las columnas de la máquina mediante 2 pernos M6 aprovechando 2 agujeros con este tipo de hilo presentes en la columna utilizada. De la misma manera, para sujetar y desplazar el núcleo ferromagnético en el transductor LVDT se diseñó y mecanizó un vástago de aluminio, este vástago es apernado al núcleo en uno de sus extremos y en su otro extremo es conectado a prensa fijada en la mesa de trabajo (figura 52).

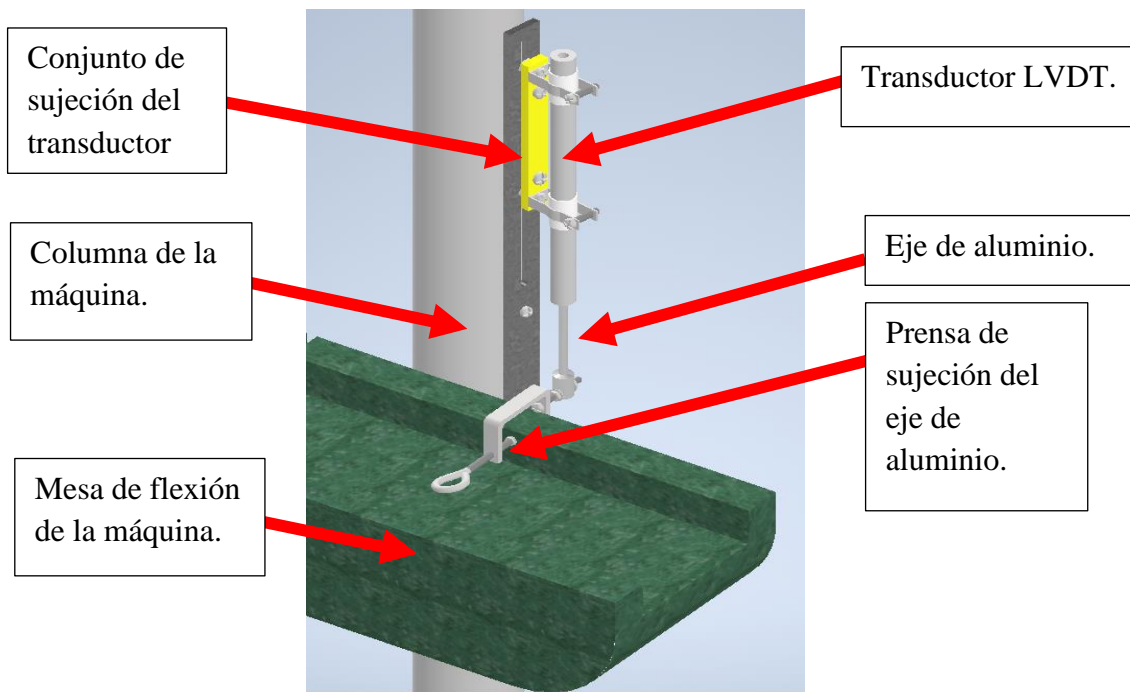


Figura 52- Modelo de conjunto mecánico para instalación del transductor LVDT en la máquina

El desplazamiento vertical ascendente de la mesa de trabajo es transmitido al núcleo ferromagnético, provocando el movimiento de este dentro del transductor LVDT, permitiendo así obtener la señal de voltaje en función del desplazamiento que se necesita para poder digitalizar la medición de este parámetro. Es importante señalar que la posición

vertical del transductor se puede ajustar respecto a la columna desplazando la placa acrílica a lo largo de la ranura de la pletina, dicho ajuste contribuye al aprovechamiento completo del desplazamiento máximo de la mesa. La instalación final del transductor en la máquina universal de ensayos puede apreciarse en la figura 53.



Figura 53- Instalación del transductor LVDT en la máquina Losenhausenwerk UHP-40.

3.4.5. Conexión electrónica.

Una vez instalados los dos transductores en la máquina universal de ensayos mecánicos se procedió a instalar la placa de Arduino en un gabinete metálico reutilizado. En el tablero del gabinete señalado además se instalaron los módulos ICP y Macro Sensors para la alimentación y tratamiento de las señales de salida de los transductores de presión y de desplazamiento respectivos. Como puede apreciarse en la figura 54, tanto el módulo ICP como el módulo Macro Sensors son alimentados de manera externa con un nivel de tensión VCC de acuerdo con los rangos recomendados por los fabricantes. Ambos módulos comunican sus respectivas señales analógicas a la placa de Arduino, la cual convierte dichas

señales en señales digitales independientes una de otra, las cuales son transferidas al computador por puerto USB.

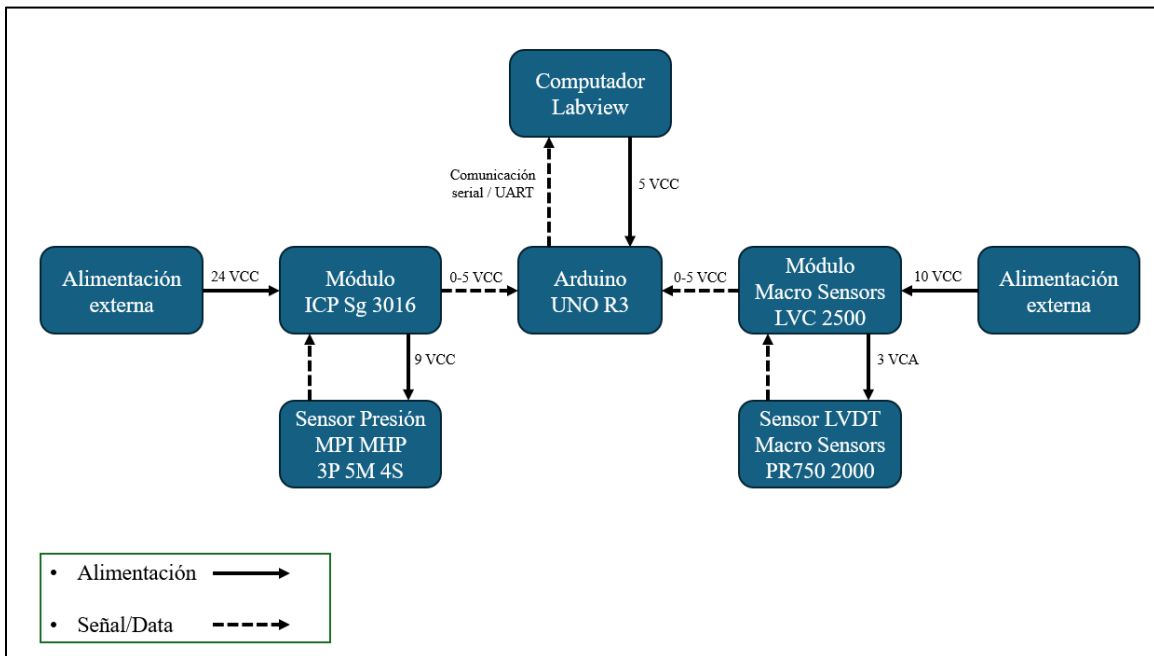


Figura 54- Diagrama de bloques de interacción entre elementos de la conexión electrónica

La instalación final de los elementos involucrados en la conexión electrónica se presenta en la figura 55, en donde se pueden apreciar las instalaciones del transductor de presión y del transductor LVDT en la máquina, además de la instalación del gabinete eléctrico con los módulos respectivos conectados a la placa de Arduino, siendo esta última conectada al computador utilizado.

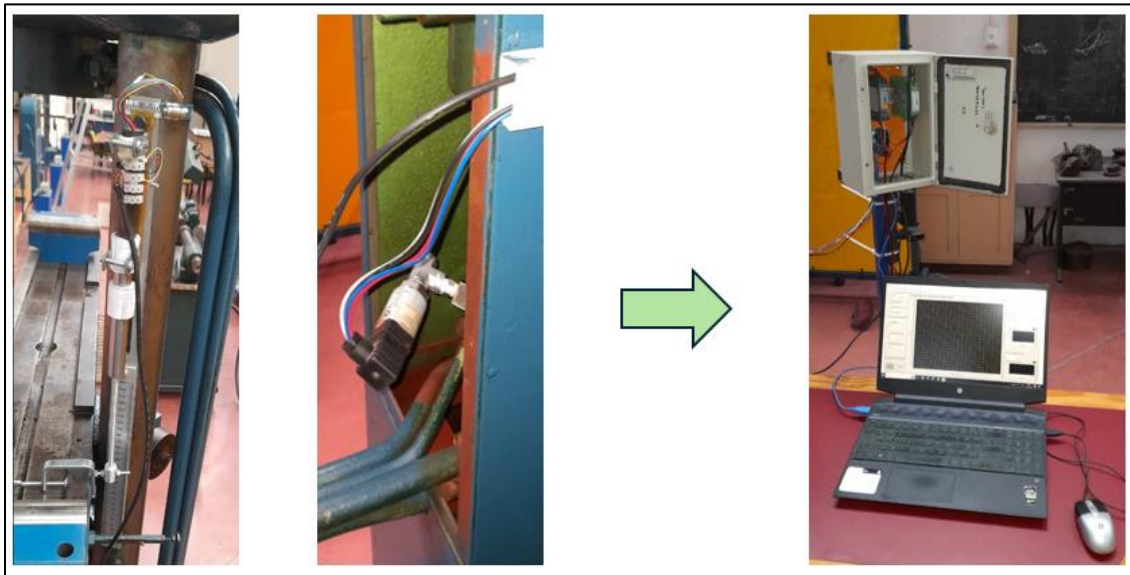


Figura 55- Instalación de conexión electrónica en la máquina Losenhausenwerk UHP-40.

3.4.6. Diagrama de bloques Labview.

El diagrama de bloques para la programación de Labview (figura 56) consiste en un ciclo *While* que se ejecuta indefinidamente hasta que el usuario lo detenga activando el comando *Stop* en la interfaz de usuario. El tiempo de espera entre las ejecuciones del ciclo *while* será ajustable con un control también disponible en la interfaz señalada. Para realizar la comunicación entre Labview y la placa de Arduino Uno se utiliza la herramienta *Linx*, la cual permite obtener de manera directa los valores de Voltaje en corriente continua que ingresan por los puertos analógicos de la placa de Arduino. Cada valor de señal de voltaje adquirida es convertido en una cadena de *String* para poder definir un número de cifras significativas determinado para una medición estable. Luego cada cadena de *String* es convertida nuevamente a un valor numérico de voltaje, el cual se trabaja y transforma en valores de carga [kg] y de desplazamiento [mm] utilizando las relaciones de las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. Los valores de carga y de desplazamiento son graficados en función del tiempo en gráficas separadas y simultáneamente son representados en una gráfica de carga en función del desplazamiento. Además, dichos valores son guardados en un archivo Excel que se escribe automáticamente a medida que se ejecuta el programa.

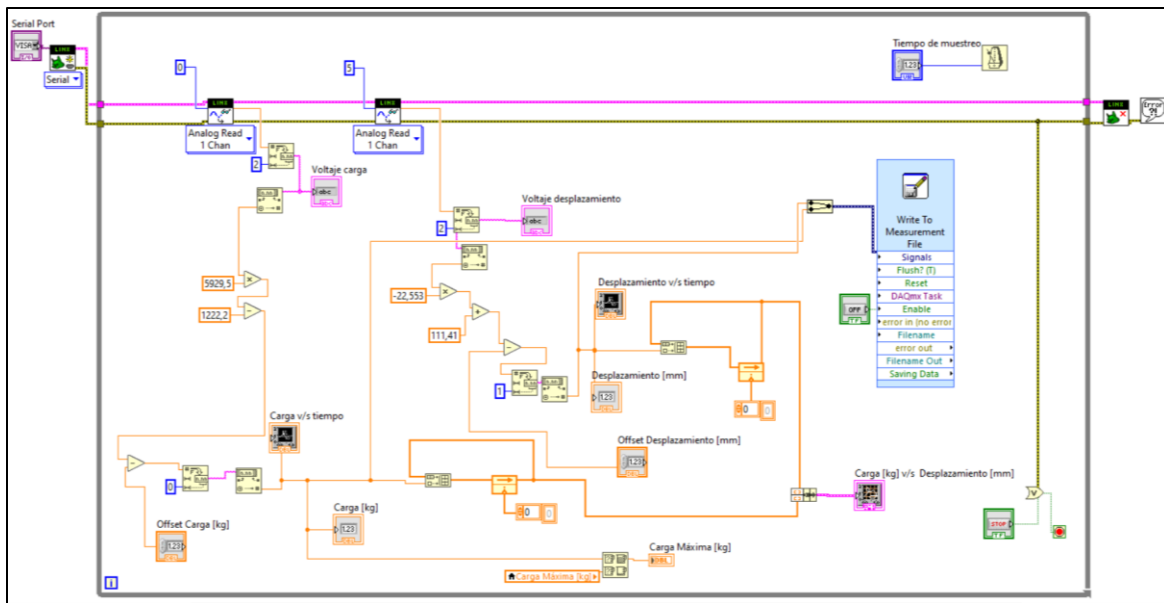


Figura 56- Diagrama de bloques de programación en Labview.

3.4.7. Interfaz Labview.

La interfaz de usuario diseñada (figura 57) cuenta con 6 controles que permiten al usuario ajustar algunos parámetros para la medición. Cuenta también con 5 indicadores de valores numéricos para el monitoreo de los parámetros de medición involucrados. Además, como ya se señaló en la sección anterior, la interfaz cuenta con tres gráficas. Una de ellas corresponde a un gráfico de carga (ejercida por el cilindro de trabajo) en función del desplazamiento (vertical ascendente de la mesa de la máquina), las otras dos gráficas corresponden a carga en función del tiempo y a desplazamiento en función del tiempo, estos dos últimos se presentan para ir verificando el comportamiento de ambos parámetros a medida que se desarrolla la medición.



Figura 57- Interfaz de usuario diseñada en Labview para ensayos en máquina Losenhausenwerk UHP-40.

Cada elemento presenta en la interfaz de usuario tiene una funcionalidad específica, la cual se presenta en la tabla 10:

Tabla 10- Elementos y sus funciones respectivas de la interfaz de usuario Labview.

Elemento de la interfaz de usuario.	Tipo de elemento	Función.
Serial Port.	Control.	Permite seleccionar el puerto COM en el cual está conectada la placa de Arduino.
Tiempo de muestreo.	Control.	Permite controlar el tiempo de espera entre la adquisición de los datos.
Offset Desplazamiento.	Control.	Permite ajustar el cero de medición de desplazamiento en caso de ser necesario.
Offset Carga.	Control.	Permite ajustar el cero de medición de carga en caso de ser necesario.
Guardar datos.	Control.	Permite guardar o no los datos adquiridos en un archivo Excel.
Stop.	Control.	Permite detener la ejecución del programa.
Carga [kg].	Indicador.	Indica la carga ejercida por el cilindro de trabajo en tiempo real.
Carga Máxima [kg].	Indicador.	Indica la carga máxima ejercida por el cilindro una vez que se alcanza la falla de la probeta ensayada.
Desplazamiento [mm].	Indicador.	Indica el desplazamiento de la mesa de flexión.
Voltaje carga [VCC].	Indicador.	Indica el valor de voltaje adquirido desde el módulo ICP.
Voltaje desplazamiento [VCC].	Indicador.	Indica el valor de voltaje adquirido desde el módulo Macro Sensors.
Carga [kg] v/s desplazamiento [mm].	Gráfico.	Indica el comportamiento de la carga ejercida por la máquina en función del desplazamiento de la mesa de flexión.
Carga v/s tiempo.	Gráfico.	Indica el comportamiento de la carga ejercida por la máquina en el transcurso del tiempo.
Desplazamiento v/s tiempo.	Gráfico.	Indica el comportamiento del desplazamiento de la mesa de flexión en el transcurso del tiempo.

4. Resultados.

Teóricamente, una placa de Arduino UNO permite medir señales analógicas de voltaje con una resolución de 0,005 [V]. Sin embargo, al llevar a cabo pruebas, tanto para la medición de carga como para la medición de desplazamiento se logró adquirir una señal de tensión mínima estable de 0,01 [V]. Considerando que la placa de Arduino tiene un rango de lectura analógica comprendido entre 0 y 5 [V], se logró obtener los parámetros de medición presentes en la tabla 11.

Tabla 11- Parámetros de funcionamiento del sistema de medición digital actualizado.

Rango de carga	0-28000[kg]
Resolución carga	59 [kg]
Rango de desplazamiento	0-100[mm]
Resolución de desplazamiento	0,2 [mm]

Para comprobar la funcionalidad del sistema de medición actualizado se desarrolló un ensayo de tracción empleando las mordazas de sujeción planas para ensayar una barra de acero estructural estriada cuyo origen específico se desconoce. Los parámetros iniciales y finales de la probeta se muestran en la tabla 12.

Tabla 12- Parámetros geométricos de ensayo de tracción en acero estructural.

D_0 [mm]	A_0 [mm ²]	L_0 [mm]
18	254,34	280
D_f [mm]	A_f [mm ²]	L_f [mm]
15	176,63	336
Reducción de área %		
30,55		
Alargamiento %		
20,00		

La barra de acero estructural utilizada como probeta se puede apreciar en la figura 58.



Figura 58- Barra de acero estructural ensayada bajo cargas de tracción.

La gráfica de carga en función del desplazamiento que se generó en la interfaz de usuario de Labview durante el desarrollo del ensayo de tracción se presenta en la figura 59.



Figura 59- Gráfica de carga v/s desplazamiento para barra de acero estructural ensayada en tracción.

Como fue señalado anteriormente, si bien no se cumplen las recomendaciones de las normas asociadas a la medición del alargamiento de la probeta en la realización de un ensayo de tracción, es posible observar en la gráfica de la figura 59 un comportamiento entre carga y desplazamiento bastante cercano a una gráfica de esfuerzo en función de la deformación unitaria para un acero dúctil disponible en la literatura [5]. Primeramente, se cumple una relación lineal entre carga y desplazamiento correspondiente a la zona elástica de la deformación de la probeta ensayada. Luego, alcanzados los 12.200 [kg] de carga se observa claramente una pequeña sección horizontal en la curva correspondiente a la zona de fluencia del material, indicando el paso de una deformación elástica a una deformación plástica en la probeta. Ya en la zona de deformación plástica la carga sigue en aumento, ya no de manera lineal respecto al desplazamiento, hasta alcanzar la carga máxima de 19.946 [kg], punto en el cual la carga comienza a disminuir hasta la ruptura de la probeta.

La gráfica obtenida en esta prueba y los datos almacenados en el archivo Excel son de utilidad para un análisis del material ensayado con fines docentes, tanto como para observar la generación de la curva en tiempo real, como para conocer el esfuerzo de fluencia o la resistencia máxima a la tracción.

4.1. Contraste de resultados.

Para realizar un contraste de los parámetros medidos por el sistema actualizado de medición instalado en la máquina se desarrollaron dos ensayos de tracción bajo iguales condiciones. El primer ensayo se realizó en la máquina Losenhausenwerk utilizando el sistema de medición implementado y el segundo ensayo se desarrolló en la máquina INSTRON (también disponible en el LTMEC). Las dos probetas ensayadas corresponden a un acero SAE 4140 cumpliendo además las dimensiones especificadas en la figura 60.

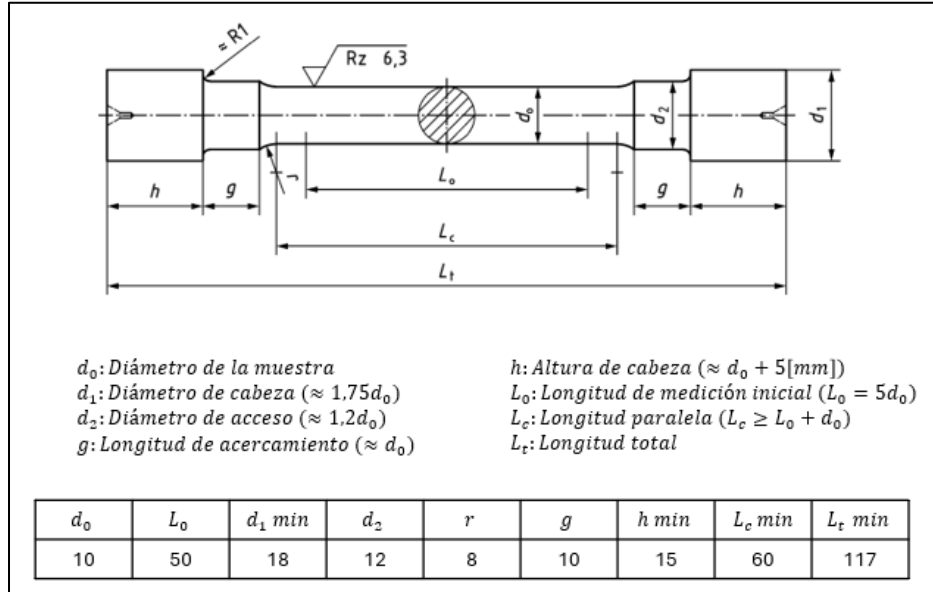


Figura 60- Geometría de probeta de ensayo tracción según norma DIN 50125-C [6].

Para ambos ensayos de tracción se emplearon los mismos cabezales de sujeción con empuñaduras para probetas normalizadas, razón por la cual se desarrolló primero el ensayo de tracción en la máquina Losenhausenwerk para luego cambiar los cabezales e instalarlos en la máquina INSTRON para la realización del segundo ensayo de tracción. Los montajes de cada ensayo se aprecian en la figura 61.



(a) Ensayo tracción Losenhausenwerk Probeta SAE 4140.



(b) Ensayo tracción INSTRON Probeta SAE 4140.

Figura 61- Montaje de probetas para ensayo de tracción en máquinas Losenhausenwerk e Instron.

Los parámetros geométricos iniciales y finales respectivos a cada ensayo realizado se presentan las tablas 13 y 14.

Tabla 13- Parámetros del ensayo en probeta SAE 4140.
Máquina Losenhausenwerk.

D_0 [mm]	A_0 [mm ²]	L_0 [mm]
9,68	73,56	50,00
D_f [mm]	A_f [mm ²]	L_f [mm]
7,00	38,47	56,40
Reducción de área %		Alargamiento %
47,70		12,80

Tabla 14- Parámetros del ensayo en probeta SAE 4140.
Máquina INSTRON.

D_0 [mm]	A_0 [mm ²]	L_0 [mm]
9,85	76,16	50
D_f [mm]	A_f [mm ²]	L_f [mm]
6,9	37,37	56,65
Reducción de área %		Alargamiento %
50,93		13,3

Las probetas ensayadas en cada máquina se pueden observar en la figura 62.



(a) Probeta SAE 4140.
Máquina
Losenhausenwerk.



(b) Probeta SAE 4140.
Máquina Instron.

Figura 62- Probetas ensayadas para contraste de datos.

En ambos ensayos realizados se obtuvo la data en un archivo Excel, datos que fueron trabajados para convertir tanto los valores de carga en esfuerzo [Mpa] (dividiendo la carga por el valor del área de la sección transversal inicial respectiva a cada probeta) y los de desplazamiento en deformación unitaria [-] (dividiendo el desplazamiento por el valor de longitud inicial). De esta manera los datos adquiridos se presentan en un gráfico de esfuerzo en función de la deformación unitaria (figura 63) facilitando la comparación entre ambos.

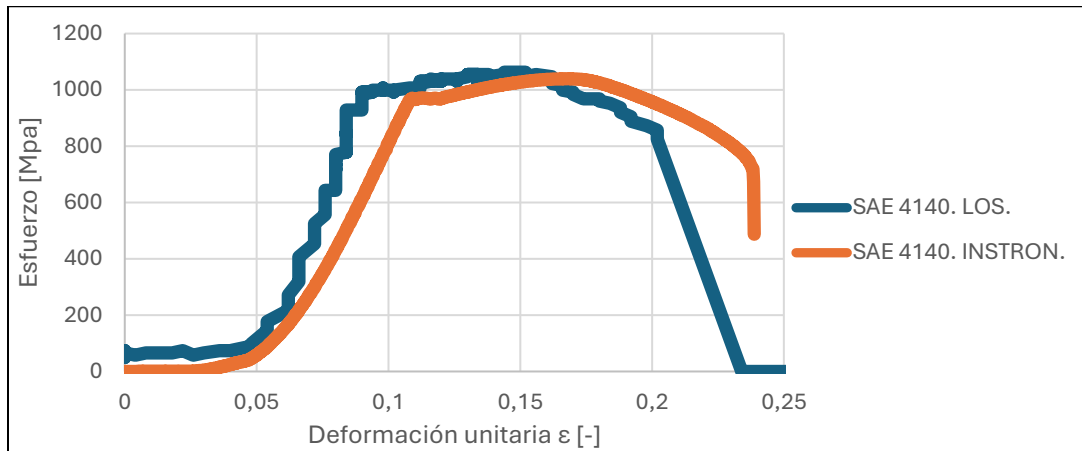


Figura 63- Contraste de gráficas Esfuerzo v/s deformación de probeta SAE 4140.

De las curvas presentadas en la figura 63 es claramente observable las diferencias de pendientes en la zona elásticas de ambas curvas, dichas diferencias pueden deberse a la velocidad de carga aplicada, pues en la máquina Instron la velocidad se controla de manera automática y en la máquina Losenhausenwerk el control es completamente manual. Sin embargo, a pesar de la clara diferencia, los valores de resistencia máxima a la tracción (tabla 15) están dentro de un rango aceptable para un acero SAE 4140 de carácter comercial, el cual se comprende entre 900 y 1100 [Mpa].

Tabla 15- Resistencia a la tracción de probetas SAE 4140.

Máquina de ensayo	Resistencia a la tracción [Mpa]
Losenhausenwerk	1063
INSTRON	1039

En la tabla 16 se presentan las diferencias porcentuales de los parámetros característicos de los ensayos de tracción realizados. Se resalta una diferencia porcentual baja en los valores de resistencia a la tracción, validando de esta manera los valores de carga medidos con el sistema de medición implementado en la máquina Losenhausenwerk.

Tabla 16- Comparación de parámetros.

Parámetro	Diferencia %
Diferencia de Resistencia a la tracción.	2,2
Diferencia de reducción de área.	3,23
Diferencia de alargamiento.	1,04

5. Conclusiones.

El proyecto de recuperación y actualización del sistema de medición de la máquina universal de ensayos mecánicos Losenhausenwerk UHP-40 se concluye con distintos beneficios alcanzados, tanto de carácter técnico como educativos.

Considerando el estado inicial de la máquina, con las tareas desarrolladas en el proceso de recuperación se logró reparar la fuga de aceite existente, se reemplazó el aceite oleohidráulico por uno de menor viscosidad y se cambió la correa del sistema de potencia de la unidad oleohidráulica. Estas intervenciones contribuyen directamente con un funcionamiento seguro y eficiente del equipo, prolongando su vida útil y aumentando su fiabilidad para pruebas futuras.

En cuanto a la actualización del sistema de medición, se logró implementar un sistema electrónico de bajo costo aprovechando elementos disponibles en LTMEC y en el LEMCO. Además, la actualización del sistema de medición no solo mejora la precisión y fiabilidad con respecto al sistema original del equipo, sino que también facilita el análisis de datos permitiendo la visualización en tiempo real de los parámetros medidos y gráficos generados, además de un almacenamiento automático de los resultados en formato digital para análisis posteriores. Esto representa un avance significativo frente al sistema mecánico de medición y registro de la máquina, el cual era limitado y menos preciso ya que no se encontraba en óptimas condiciones. En esta misma línea, se logró una validación de los datos adquiridos por el sistema de medición actualizado mediante la realización de un ensayo de tracción en la máquina Losenhausenwerk utilizando el sistema de medición implementado, cuyos resultados fueron comparados con los resultados de un ensayo realizado bajo las mismas condiciones en una máquina INSTRON calibrada. El contraste de datos entre ambos ensayos entregó una diferencia porcentual que alcanza un 2.2% en resistencia a la tracción, lo que indica una alta precisión del nuevo sistema de medición y registro.

Desde un punto de vista colaborativo, la modernización de la máquina universal de ensayos contribuye con nuevas líneas de trabajo y desarrollo en el campo de los ensayos mecánicos desarrollados en el laboratorio de tecnología mecánica, pues la posibilidad de realizar ensayos con mayor precisión y fiabilidad permite explorar nuevas aplicaciones y realizar estudios más detallados de las propiedades mecánicas de los materiales. De la misma manera la realización de este proyecto colabora con nuevos proyectos de recuperación de máquinas antiguas instaladas no solo en el LTMEC, sino que, en todos los laboratorios de la universidad, ya que la metodología, las herramientas y los procedimientos llevados a cabo en este trabajo pueden ser aplicados en futuros proyectos de restauración y actualización de equipos históricos.

6. Referencias.

- [1].International Organization for Standardization. (2021). *Hydraulic fluid power - Fluids - Method for coding the level of contamination by solid particles* (ISO 4406:2017).
- [2].International Organization for Standardization. (1992). *Industrial liquid lubricants - ISO viscosity classification* (ISO 3448:1992).
- [3].International Organization for Standardization. (2009). *Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature* (ISO 6892-1:2009)
- [4].American Society for Testing and Materials. (2013). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials* (ASTM E8/E8M-13a)
- [5].F. Beer, R. Johnston, J. Dewolf y D. Mazurek, *Mecánica de Materiales*, México: McGraw-Hill Educación, 2009.
- [6].Deutsches Institut für Normung. (2016). *Testing of metallic materials - Tensile test pieces* (DIN 50125:2016)

7. Anexos.

7.1. Anexo 1. Sistema de transmisión de potencia de la unidad oleohidráulica.

