



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TORSIÓN EXISTENTE EN
LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA
DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES”**

Autores:

Paúl Israel Ganán Paca

Alex Darío Mullo Aimacaña

Tutores:

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún Ms.C.

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Ms.C.

Latacunga - Ecuador

Julio 2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, Paúl Israel Ganán Paca y Alex Darío Mullo Aimacaña, declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica: **“REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TORSIÓN EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES”**, siendo el Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún Ms.C. y el Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Ms.C. tutores del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente Propuesta Tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Paúl Israel Ganán Paca
C.C 060411138-5

Alex Darío Mullo Aimacaña
C.C 050376367-4



AVAL DE LOS TUTORES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutores del Trabajo de Investigación sobre el Título:

“REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS TORSIÓN EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES”, de Paúl Israel Ganán Paca y Alex Darío Mullo Aimacaña, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, consideramos que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científico-Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio del 2019

Los Tutores:

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún Ms.C.

C.C 050178243-7

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Ms.C.

C.C 050234776-8



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: Paúl Israel Ganán Paca y Alex Darío Mullo Aimacaña, con el Título de Proyecto de Titulación: **“REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS TORSIÓN EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio del 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera Ms.C
CC: 050215089-9

Lector 2
Ing. Luis Miguel Navarrete López Ms.C.
CC: 180374728-4

Lector 3
Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C.
CC: 050259517-6



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de líder de la Línea de Investigación 1: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

Con el presente documento, hago constar que los estudiantes Paúl Israel Ganán Paca y Alex Darío Mullo Aimacaña de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, implementaron en el laboratorio de Resistencia de Materiales un Proyecto cuyo título versa: **“REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TORSIÓN EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES”**, considerando que dicha Propuesta Tecnológica cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científico-Técnicos suficientes para ser implementada, por lo tanto se emite la evaluación favorable para la defensa de Tesis.

Latacunga, julio del 2019

Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.C 175836725-2

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la vida para poder cumplir con mis objetivos.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Carrera de Ingeniería Electromecánica por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

A los docentes que entregaron sus conocimientos y apoyo para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Paúl

DEDICATORIA

A mi Madre por su sacrificio y motivación durante esta etapa tan importante de mi vida.

A mis hermanos por brindarme su alegría y aportar con ideas en todo momento.

A mis tíos Alfonso y Gladys por el apoyo incondicional y por creer siempre en mí para poder cumplir con esta meta.

Y a toda mi familia por el impulso y ayuda recibida de una u otra forma.

Paúl

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme vida y la salud necesaria para culminar mi Carrera.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas y permitirme ser parte de esta hermosa Carrera de Ingeniería Electromecánica.

A los docentes que aportaron con sus ideas y compartieron los conocimientos necesarios para culminar este proyecto.

Alex

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Gloria, por apoyarme en todo momento y nunca dejarme solo, gracias a su esfuerzo y sacrificio constante fue posible culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermana Lisbeth por el cariño y la alegría que me transmite, por ser mi fortaleza para superarme cada día y ser un ejemplo para ti.

A mis abuelitos Feliciano y Ortencia por todo el amor y los buenos consejos.

Alex

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AVAL DE LOS TUTORES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
1.1 Propuesto por	1
1.2 Tema aprobado.....	1
1.3 Carrera.....	1
1.4 Directores de la propuesta tecnológica	1
1.5 Equipo de trabajo	1
1.6 Lugar de ejecución.....	1
1.7 Tiempo de duración de la propuesta	1
1.8 Fecha de entrega	1
1.9 Línea de investigación	1
1.10 Sublíneas de investigación.....	1
1.11 Tipo de propuesta tecnológica	2
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.1 Título de la propuesta tecnológica	2

2.2 Tipo de alcance	2
2.3 Área del conocimiento	2
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	2
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	2
2.5.1 Objeto de estudio.....	2
2.5.2 Campo de acción	2
2.6 Situación problémica y problema	3
2.6.1 Situación problémica.....	3
2.6.2 Problema.....	3
2.7 Hipótesis o formulación de pregunta científica.....	3
2.8. Objetivos.....	3
2.8.1 Objetivo general	3
2.8.2 Objetivos específicos.....	3
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Antecedentes	5
3.2 Mecánica de materiales.....	6
3.3 Esfuerzo	7
3.3.1 Esfuerzo normal directo	7
3.3.2 Esfuerzo cortante.....	7
3.4 Deformación	7
3.4.1 Deformación unitaria normal	7
3.4.2 Deformación unitaria cortante.....	7
3.6 Torsión	9
3.6.1 Par de torsión interno en ejes circulares.....	10
3.6.2 Par de torsión interno en ejes no circulares.....	10
3.6.3 Par de torsión interno en huecos de pared delgada	11

3.6.4 Diagrama torque vs ángulo de giro	11
3.6.5 Teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles	12
3.8 Probetas normalizadas para ensayos de torsión	13
3.9 Propiedades mecánicas de los materiales a ensayar	13
3.9.1 Acero ASTM A36	13
3.9.2 Acero SAE 1018.....	14
3.9.3 Acero AISI 1045	14
3.9.4 Acero AISI 4340	15
3.10 Normas para el ensayo de torsión	15
3.10.1 ISO 7800 Metallic materials – Wire – Simple torsion test	15
3.10.2 ASTM E143-02 Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature	15
3.10.3 NTC 3995 Materiales Metálicos. Alambre. Ensayo de torsión simple	16
3.10.4 NTE INEN 140 Ensayo de torsión simple para alambre de acero	16
3.11 Elementos de control, medición y adquisición de datos	16
3.11.1 Variador de frecuencia	16
3.11.2 Encoder.....	17
3.11.3 Sensor de torque	18
3.11.4 Acondicionador de señal	18
3.11.5 Adquisición de datos	19
3.11.6 Software de programación gráfica	19
4. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	21
4.1 Declaración de variables	21
4.1.1 Variable independiente.....	21
4.1.2 Variable dependiente.....	21
4.2 Operacionalización de las variables.....	21
4.3 Diseño conceptual.....	21

4.3.1	Funcionalidades de la máquina de torsión	21
4.3.2	Alcance de alternativas de máquinas de torsión.....	23
4.4	Componentes de la máquina de torsión	23
4.5	Rediseño de la máquina de torsión	24
4.5.1	Cálculo de capacidad de la máquina de torsión	24
4.5.2	Selección de componentes mecánicos.....	24
4.5.3	Elementos de control.....	27
4.5.4	Sensores de medición de variables.....	28
4.5.5	Cálculos para la determinación de las propiedades del material.....	29
4.6	Proceso de construcción.....	32
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
5.1	Resultados de la ingeniería de requerimientos.....	33
5.2	Rediseño de la máquina	33
5.2.1	Cálculo del momento torsor	33
5.3	Cálculos para la selección de los elementos mecánicos	34
5.3.1	Cálculo de la potencia del motor.....	34
5.3.2	Cálculo del par torsor del reductor de velocidad.....	35
5.3.3	Torque de salida del conjunto motor-reductor de velocidad.....	36
5.3.4	Selección de mandriles.....	36
5.4	Control de equipos	37
5.4.1	Selección del variador de frecuencia.....	37
5.4.2	Cálculos para el control de velocidad mediante el variador de frecuencia	38
5.5	Selección de sensor de torque y encoder	38
5.5.1	Selección del sensor de torque	38
5.5.2	Selección del encoder.....	40
5.6	Adquisición de datos.....	41
5.6.1	Selección de la tarjeta de adquisición de datos	41

5.7 Cálculos para la relación entre las propiedades mecánicas a tracción y torsión	41
5.7.1 Análisis del ensayo de torsión del acero ASTM A36	42
5.7.2 Análisis del ensayo de torsión del acero SAE 1018	42
5.7.3 Análisis del ensayo de torsión del acero AISI 1045	43
5.7.4 Análisis del ensayo de torsión del acero AISI 4340	44
5.8 Análisis termográfico	45
5.8.1 Análisis termográfico del motor	45
5.8.2 Análisis termográfico de las probetas	46
6. PRESUPUESTO	47
6.1 Análisis Financiero	47
6.1.1 Costos Directos	47
6.1.2 Costos indirectos	49
6.1.3 Inversión Total	49
6.2 Análisis de impactos	50
6.2.1 Impacto práctico	50
6.2.2 Impacto ambiental	50
6.2.3 Impacto social	50
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
7.1 Conclusiones	51
7.2 Recomendaciones	52
8. BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Diagrama esfuerzo-deformación.....	8
Figura 3.2. Eje sometido a un par de torsión.....	9
Figura 3.3. Eje circular sometido a torsión.....	10
Figura 3.4. Eje no circular sometido a un par de torsión.....	10
Figura 3.5. Eje hueco de pared delgada sometido a un par de torsión	11
Figura 3.6. Diagrama Momento torsor-ángulo de giro.....	11
Figura 3.7. Máquina para ensayos de torsión del laboratorio UCE.....	12
Figura 3.8. Probeta de ensayo de torsión.....	13
Figura 3.9. Principio de funcionamiento de un variador de frecuencia.....	16
Figura 3.10. Componentes internos de un encoder	17
Figura 3.11. Sensor de torque.....	18
Figura 3.12. Conexiones de un acondicionador de señal	19
Figura 3.13. Partes de un sistema de adquisición de datos.....	19
Figura 3.14. Panel frontal de la máquina de torsión.....	20
Figura 3.15. Diagrama de bloques de la máquina de torsión	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	14
Tabla 3.2. Propiedades mecánicas del acero SAE 1018	14
Tabla 3.3. Propiedades mecánicas del acero AISI 1045.....	14
Tabla 3.4. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340.....	15
Tabla 4.1. Variable independiente	21
Tabla 4.2. Variable dependiente	21
Tabla 4.3. Funcionalidades de la máquina de torsión.....	22
Tabla 5.1. Resultados de la metodología para el diseño.....	33
Tabla 5.2. Características del motor	34
Tabla 5.3. Características del reductor de velocidad	35
Tabla 5.4. Características del mandril	37

Tabla 5.5. Características del variador de frecuencia	37
Tabla 5.6. Características del sensor de torque.....	39
Tabla 5.7. Características del acondicionador de señal	39
Tabla 5.8. Características del encoder incremental	40
Tabla 5.9. Características de la tarjeta de adquisición de datos.....	41
Tabla 5.10. Resultados de los ensayos de torsión del acero ASTM A36	42
Tabla 5.11. Resultados de los ensayos de torsión del acero SAE 1018.....	43
Tabla 5.12. Resultados de los ensayos de torsión del acero AISI 1045	43
Tabla 5.13. Resultados de los ensayos de torsión del acero AISI 4340	44
Tabla 5.14. Resultados del análisis termográfico del motor de la máquina de torsión	45
Tabla 5.15. Resultados del análisis termográfico de las probetas	46
Tabla 6.1. Costo de materiales utilizados en el rediseño de la máquina	47
Tabla 6.2. Costo por mecanizado de probetas	48
Tabla 6.3. Costo por mano de obra.....	49
Tabla 6.4. Costos indirectos.....	49
Tabla 6.5. Inversión total	50

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TÍTULO: “REDISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TORSIÓN EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES”

Autores: Paúl Israel Ganán Paca

Alex Darío Mullo Aimacaña

RESUMEN

La finalidad del presente proyecto fue el de rediseñar e implementar una máquina para ensayos de torsión en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Carrera de Electromecánica de la Facultad de CIYA, la misma que permitirá a los estudiantes de la Carrera determinar las propiedades mecánicas de distintos materiales cuando están sometidos a un par de torsión. Para el rediseño de este equipo se utilizó como base una máquina que se encontraba en desuso debido a que no contaba con un sistema de adquisición de datos, con estos antecedentes se procedió a rediseñar este equipo a través de la implementación de un sensor de torque de 100 N.m para la medición del par torsor aplicado, este sensor está conectado a un acondicionador de señal para la comunicación entre el equipo y la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6008. Con el sensor y un encoder instalado en la máquina, se diseñó la programación para que el torque y el ángulo de giro medido se registren y almacenen, permitiendo graficar el comportamiento del material en tiempo real hasta llegar al punto de ruptura. Las conexiones eléctricas y electrónicas fueron instaladas en un tablero de control.

Las probetas para los ensayos fueron elaboradas según la Norma ASTM E143-02 y para comprobar la fiabilidad de la máquina se procedió a realizar ensayos con los materiales de acero más utilizados en la industria nacional como son: ASTM A36, SAE 1018, AISI 1045 y AISI 4340, luego se determinó la relación que existe entre los valores hallados del esfuerzo de cedencia a torsión con el valor de cedencia a tracción que viene indicado en la hoja técnica de cada acero ensayado. Siendo estas relaciones las siguientes: 1,39; 1,52; 1,51; 1,85 respectivamente; por lo que se concluyó que el equipo es fiable en los resultados.

Palabras claves: Ángulo de giro, Cedencia, Ensayo de torsión, Esfuerzo máximo, Torque.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “REDESIGN OF A TORSION TESTING MACHINE EXISTING IN THE LABORATORIES OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI TO DETERMINE THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE MATERIALS”

Authors: Paúl Israel Ganán Paca

Alex Darío Mullo Aimacaña

ABSTRACT

The purpose of the present project was to redesign and implement a machine for torsion tests in the Materials Resistance Laboratory of the Electro-mechanic Career of the CIYA Faculty, which will allow the students of the Career to determine the mechanical properties of Different materials when subjected to a torque. For the redesign of this equipment, a machine used as a base that was in disuse because it did not have a data acquisition system. With this background, we proceeded to redesign this equipment through the implementation of a torque sensor. 100 Nm for the applied torque measurement, this sensor is connected to a signal conditioner for communication between the equipment and the data acquisition card DAQ 6008. With the sensor and an encoder installed in the machine, the programming designed so that the measured torque and angle of rotation were recorded and stored, allowing to graph the behavior of the material in real time until reaching the breaking point. The electrical and electronic connections installed on a control board.

The specimens for the tests were prepared according to the ASTM E143 Standard and to check the reliability of the machine. It was carried out tests with the most used steel materials in the national industry such as: ASTM A36, SAE 1018, AISI 1045 and AISI 4340, then the relationship that exists between the found values found in the torsional yield stress and the tensile yield value indicated in the technical sheet of each steel tested. These relationships were the following: 1.39; 1.52; 1.51; 1.85 respectively; so it was concluded that the team is reliable in the results.

Keywords: Angle of rotation, Angle of rotation, Cedence, Torsional test, Maximum effort, Torque



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **PAÚL ISRAEL GANÁN PACA Y ALEX DARÍO MULLO AIMACAÑA**, cuyo título versa “**REDISEÑO DE LA MÁQUINA DE TORSIÓN EXISTENTE EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2019

Atentamente,

Lcdo. Bolívar Maximiliano Cevallos Galarza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 091082166-9



1. INFORMACIÓN BÁSICA

1.1 Propuesto por

Paúl Israel Ganán Paca

Alex Darío Mullo Aimacaña.

1.2 Tema aprobado

Rediseño de una máquina de ensayos de torsión existente en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi para determinar el comportamiento mecánico de los materiales.

1.3 Carrera

Ingeniería Electromecánica

1.4 Directores de la propuesta tecnológica

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún Ms.C.

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Ms.C.

1.5 Equipo de trabajo

Paúl Israel Ganán Paca

Alex Darío Mullo Aimacaña

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún Ms.C.

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Ms.C.

1.6 Lugar de ejecución

Región Sierra, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Eloy Alfaro.

1.7 Tiempo de duración de la propuesta

Cinco meses

1.8 Fecha de entrega

25 de julio del 2019

1.9 Línea de investigación

Procesos industriales

1.10 Sublíneas de investigación

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

La propuesta tecnológica se acoge a las anteriores sublíneas de investigación, al desarrollar el proyecto a través del conocimiento del área de los sistemas electromecánicos.

1.11 Tipo de propuesta tecnológica

Se pretende desarrollar una tecnología para la adquisición de datos de la máquina de torsión, que permita el análisis de las propiedades mecánicas de los materiales.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Rediseño de una máquina de ensayos de torsión existente en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi para determinar el comportamiento mecánico de los materiales.

2.2 Tipo de alcance

La máquina de ensayo de torsión está destinada al laboratorio de Resistencia de Materiales de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con la finalidad de ser utilizada en las prácticas de asignaturas relacionadas a la máquina.

2.3 Área del conocimiento

Área: Ciencias Tecnológicas (3300), Matemáticas (1200).

Subárea de conocimiento: Tecnología de Materiales (3312), Ingeniería Eléctrica (3306)

Subáreas específicas de conocimiento: Resistencia de los Materiales (331209), Ensayo de Materiales (331212), Maquinaria Rotatoria (330607), Lenguajes de Programación (120323).

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

El presente proyecto equipa al laboratorio de Resistencia de Materiales con una máquina de torsión para el análisis de las propiedades mecánicas de los materiales con mayor aplicación en el mercado nacional. Esto es posible mediante la implementación de un equipo que permite registrar el valor del torque aplicado a la probeta de un material específico, luego un software procesa los datos de medición para mostrar los valores obtenidos y las gráficas del ensayo. Los beneficiarios directos del proyecto son los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, debido a que podrán visualizar el comportamiento de la probeta sometida a torsión y comprobar el nivel de resistencia establecido en la ficha técnica del material.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio

Análisis del material sometido a torsión.

2.5.2 Campo de acción

Adquisición de las medidas de ángulo de giro y par de torsión aplicado.

2.6 Situación problémica y problema

2.6.1 Situación problémica

Las máquinas y equipos rotatorios necesitan elementos capaces de transmitir potencia de un punto a otro soportando las cargas a las que van a estar sometido en su entorno de trabajo. Para determinar si un material soporta una carga aplicada en una función específica se debe realizar un ensayo de materiales con equipos adecuados y normas para su procedimiento.

En el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Carrera de Electromecánica se encontraba una máquina de torsión que estaba fuera de servicio y no mostraba resultados coherentes del ensayo. Esto se debe a que no contaba con un elemento para la medición del par de torsión, su interfaz no mostraba las gráficas del ensayo y las conexiones eléctricas no eran las adecuadas.

2.6.2 Problema

Actualmente el laboratorio de Resistencia de Materiales cuenta con una máquina para ensayos de torsión que no brinda las garantías para adquirir los valores de medición del torque aplicado y ángulo de giro, datos con lo que se podría graficar y determinar el comportamiento mecánico de los materiales sometidos a torsión.

2.7 Hipótesis o formulación de pregunta científica

¿Con el rediseño de la máquina de torsión del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Técnica de Cotopaxi se podrá analizar y determinar las propiedades mecánicas de los materiales al aplicar un par de torsión?

2.8. Objetivos

2.8.1 Objetivo general

Rediseñar la máquina de ensayos de torsión existente en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales.

2.8.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado de los elementos que constituyen la máquina de torsión existente en el laboratorio de Resistencia de Materiales.
- Determinar los requerimientos necesarios con los que debe cumplir la máquina de torsión para el adecuado rediseño y programación de la máquina.
- Realizar diferentes ensayos comparativos para analizar el comportamiento de los materiales frente a un par de torsión aplicado.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Objetivos específicos	Tareas por objetivos
<p>Conocer el estado de los elementos que constituyen la máquina de torsión existente en el laboratorio de Resistencia de Materiales.</p>	<p>Identificar cada uno de los elementos de la máquina y verificar su funcionamiento.</p> <p>Detallar los elementos que conformarán la máquina de torsión y su disponibilidad para el rediseño.</p> <p>Validar el uso de los elementos existentes en la máquina de torsión y también de los que se implementarán.</p>
<p>Determinar los requerimientos necesarios con los que debe cumplir la máquina de torsión para el adecuado diseño y programación de la máquina.</p>	<p>Revisión de normas que describan el método de ensayo de torsión, para su aplicación en el rediseño de la máquina.</p> <p>Diseñar los planos mecánicos, eléctricos y electrónicos de la máquina de torsión.</p> <p>Determinar el software para la adquisición y procesamiento de datos que se mostrarán durante el ensayo.</p>
<p>Realizar diferentes ensayos comparativos para analizar el comportamiento de los materiales frente a un par de torsión aplicado.</p>	<p>Construir y programar la máquina de torsión de acuerdo a los requerimientos establecidos.</p> <p>Realizar las pruebas a diferentes tipos de materiales siguiendo el procedimiento establecido en las normas correspondientes.</p> <p>Elaborar las hojas guía y manual de usuario para el uso y mantenimiento de la máquina por parte de los estudiantes y encargados.</p>

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Varios proyectos e investigaciones acerca del ensayo de materiales sometidos a torsión se han desarrollado debido a su gran importancia en los procesos industriales y dentro de la formación técnica profesional, a continuación se indican algunos de los temas más representativos.

A nivel nacional el trabajo publicado por [1] denominado “Diseño y construcción de un banco para ensayos de torsión” muestra el proceso de diseño e implementación de un banco para ensayos de torsión y está dividido en tres bloques los cuales son: la revisión teórica, cálculos de diseño y la adquisición de datos para la construcción de la máquina.

Otra publicación que permite conocer las ventajas de contar con una máquina para ensayos de torsión es el proyecto de [2] llamado “Caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: Acero AISI 1018, Acero AISI 1045, Aluminio y Bronce SAE 40 de 10mm de diámetro” que indica la forma de obtener las características y comportamiento en las probetas de: acero, aluminio y bronce para así determinar la calidad del material y ver si cumplen con los niveles de dureza establecidos.

Una parte fundamental en un ensayo de torsión es la capacidad de adquisición, procesamiento y presentación de datos mediante un software, en esta parte existe el proyecto desarrollado por [3] titulado “Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para la máquina de ensayo de torsión del laboratorio de sólidos de la FIMCP” que inicia con la identificación de variables para la elaboración de un circuito que permita acondicionar las señales que son enviadas a un software que muestra los datos en tiempo real.

El entorno educativo en la región sierra-centro del país cuenta con pocos equipos calificados de los cuales uno de ellos se encuentra en el laboratorio de Ensayos y Modelos de la Universidad Central del Ecuador, esta máquina de torsión es de la marca Tinius Olsen y aunque su modelo es antiguo con respecto a las tecnologías actuales, es utilizada como referencia para el proyecto planteado debido a la confiabilidad de los resultados que muestra en los ensayos de prácticas estudiantiles y también de ensayos comerciales solicitados por parte de diversas empresas que requieren este tipo de prueba para la verificación de la estructura de los materiales. Otra máquina de torsión en la que se realizaron ensayos en la etapa de investigación, es la perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que presenta una repotenciación en su sistema de adquisición de datos convirtiéndola en un equipo de mayor precisión y alcance.

En el ámbito internacional existen proyectos que orientan el diseño e implementación de máquinas para realizar los ensayos de torsión. En el caso de [4] “Diseño y construcción de una máquina de ensayo de torsión estática para el laboratorio de diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela” describe el proceso de diseño y construcción mediante una investigación de la tecnología y referencias bibliográficas para elegir el tipo de material y las dimensiones con las que debe contar la máquina de torsión cumpliendo con parámetros ergonómicos.

En el proceso de las pruebas de torsión es fundamental tener como guía una norma que establezca el método para realizar el ensayo es por eso que [5] “Diseño, construcción y calibración de una máquina para ensayos de torsión de alambres según la norma ISO 7800” explica la aplicación de la norma ISO 7800 para la selección de varios elementos que componen la máquina de ensayos como el motor y una caja reductora que cumplen con las especificaciones indicadas en la norma.

Existen varios tipos de máquinas de torsión de marcas con una amplia experiencia y credibilidad en ensayos mecánicos, las cuales presentan varias ventajas por lo cual es importante hacer una observación de sus características de funcionamiento ya que pueden ser de utilidad en proyectos similares y [6] “Estudio Integral del Ensayo de Torsión” revisa la puesta en marcha de la máquina de torsión industrial KM-50-1 verificando el funcionamiento de la misma, realizando hojas de mantenimiento y guías para las prácticas de torsión y posteriormente analiza los resultados obtenidos y determina las propiedades de cada material ensayado.

El objetivo de la revisión de los trabajos precedentes es establecer los fundamentos teóricos necesarios para el rediseño de la máquina de torsión a partir del ordenamiento de los conocimientos científico-técnicos. La literatura publicada coincide principalmente en la obtención del ángulo de giro y el par de torsión aplicado a las probetas en el eje longitudinal a velocidad constante. La aplicación de normas para el procedimiento del ensayo es fundamental ya que permiten interpretar los resultados y determinar el comportamiento mecánico a torsión de los materiales.

3.2 Mecánica de materiales

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia los efectos internos del esfuerzo y la deformación en un cuerpo sólido que está sometido a una carga externa y que permite analizar varias máquinas y estructuras portadoras de carga, garantizando que las deformaciones estén dentro de los límites permisibles sin que se produzcan roturas [7].

3.3 Esfuerzo

Según [8] el término esfuerzo directo se utiliza en casos en los que la fuerza total aplicada es compartida por igual en todas las partes de la sección transversal del miembro que soporta la carga.

3.3.1 Esfuerzo normal directo

Si el esfuerzo actúa perpendicular a la sección transversal del miembro de la carga se denomina esfuerzo normal y si también es uniforme a través del área resistente, el esfuerzo se llama esfuerzo normal directo.

3.3.2 Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante se encuentra en el plano del área y se desarrolla cuando las cargas externas tienden a ocasionar que los dos segmentos del cuerpo se deslicen uno sobre el otro.

3.4 Deformación

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, ésta tiende a cambiar su forma y tamaño. Estos cambios se conocen como deformación, la cual puede ser muy visible o casi imperceptible [7].

3.4.1 Deformación unitaria normal

En la definición de [7] se determina a la deformación unitaria como una medida por unidad de longitud de la elongación o contracción de un segmento de línea pequeño en el cuerpo.

3.4.2 Deformación unitaria cortante

Las deformaciones no sólo causan que los segmentos de línea se alarguen o contraigan, sino también hacen que cambien de dirección. Si se seleccionan dos segmentos de línea que en un principio eran perpendiculares entre sí, entonces el cambio en el ángulo que ocurre entre estos dos segmentos de línea se denomina deformación unitaria cortante [7].

3.5 Diagrama esfuerzo- deformación

La relación entre el estado de esfuerzos inducido en un material por la aplicación de una fuerza y la deformación que produce se puede representar gráficamente con la curva de esfuerzo-deformación la cual se determina de forma experimental mediante ensayos de laboratorio y que permite verificar varias propiedades mecánicas existentes en los materiales. Los diagramas de los materiales varían en forma debido a diferentes factores como la temperatura de la probeta, la velocidad de aplicación de la carga y el dispositivo experimental empleado, por lo que se debe controlar las condiciones y aplicar normas para el desarrollo del ensayo. En la obra de [9] se detallan las zonas y tensiones límite del diagrama que se muestran en la Figura 3.1.

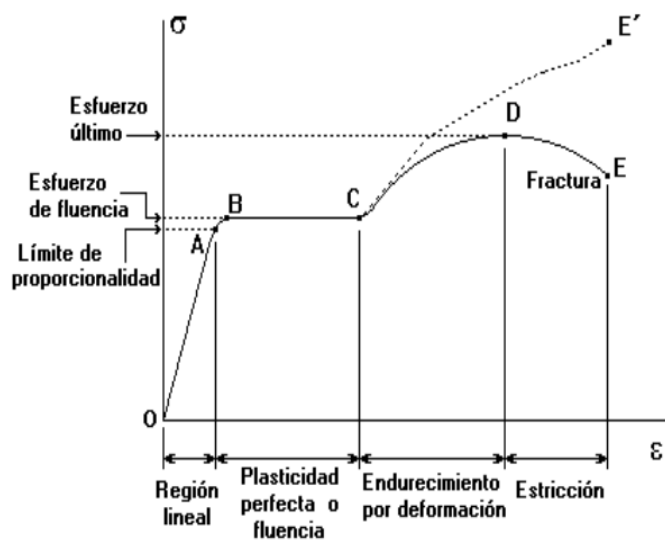


Figura 3.1. Diagrama esfuerzo-deformación

Fuente: [9]

- **Zona elástica (O-A):** En esta zona inicial se representa por una recta que manifiesta la proporcionalidad entre alargamiento y carga que la produce llamada Ley de Hooke. Los aceros retoman su longitud inicial al cesar la carga no sobrepasando el punto A.
- **Zona de alargamiento (A-B):** Esta zona presenta un pequeño tramo ligeramente curvo y se le suma a los alargamientos elásticos una pequeña deformación que es recuperable en el tiempo por lo tanto al punto B se lo denomina Limite Superior de Fluencia.
- **Zona de fluencia (B-C):** En este tramo comienzan oscilaciones a pequeños avances y retrocesos de la carga, dejando una importante deformación permanente del material, el mismo escurre sin aumento considerable de carga, las oscilaciones denotan que la fluencia no se produce simultáneamente en todo el material.
- **Zona de alargamiento homogéneo (C-D):** Se produce luego de concluida la fluencia, el material al deformarse aumenta su capacidad de carga hasta un máximo que será el punto D, las deformaciones son grandes y en toda la pieza. Al llegar a D se concentran las deformaciones en una zona específica.
- **Zona de estricción (D-E):** En este tramo la acritud subsiste, pero, no puede compensar la rápida disminución de algunas secciones transversales que sufre la probeta, por lo tanto desciende la carga hasta la ruptura.

3.6 Torsión

El par de torsión es un elemento que tiende a torcer un elemento sobre su eje longitudinal [7], esto provoca una deformación cortante en el material, este efecto es de gran importancia en el diseño de árboles de levas utilizados en vehículos y maquinaria. El estudio de [10] demuestra que al aplicar un par de torsión T al otro extremo de un eje circular sujeto a un soporte fijo en uno de sus extremos, el eje se torcerá al girar su extremo libre a través de un ángulo de giro. Es decir que dentro de un cierto rango de valores de T , el ángulo de giro ϕ es proporcional a T . También muestra que ϕ es proporcional a la longitud L del eje. La Figura 3.2. muestra un eje sometido a un par de torsión.

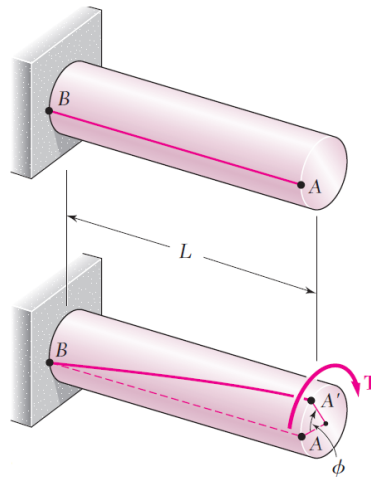


Figura 3.2. Eje sometido a un par de torsión

Fuente: [10]

El trabajo realizado por [11] explica algunos conceptos fundamentales para comprender el efecto de la torsión sobre un elemento, los cuales se muestran a continuación:

- **Momento torsor:** A lo largo de un eje actúan una serie de pares de fuerzas por lo tanto el momento torsor se define como la suma algebraica de los momentos de los pares aplicados, situada a un lado de la sección a considerar [11].
- **Ángulo de torsión:** Si un eje de longitud L está sometido a un momento de torsión constante T en toda su longitud es posible encontrar el ángulo de translación axial del extremo de la barra que gira respecto al otro [11].
- **Momento polar de inercia:** Se puede determinar si el elemento a analizar tiene una sección transversal circular [11].

- **Módulo de elasticidad en cortante:** La relación entre la tensión cortante (esfuerzo torsor T) y su deformación (γ) se llama módulo de elasticidad en cortante o módulo de rigidez [11].

3.6.1 Par de torsión interno en ejes circulares

Cuando el par de torsión externo se aplica sobre un eje, se genera un par de torsión interno que se relaciona con la distribución del esfuerzo cortante en la sección transversal de un eje o tubo circular [7]. La fórmula de la torsión se basa en que el par de torsión resultante en la sección transversal debe ser igual al par de torsión producido por la distribución del esfuerzo cortante alrededor de la línea central longitudinal del eje. En la Figura 3.3. se ilustra un eje circular que se va deformando al ser sometido a torsión.

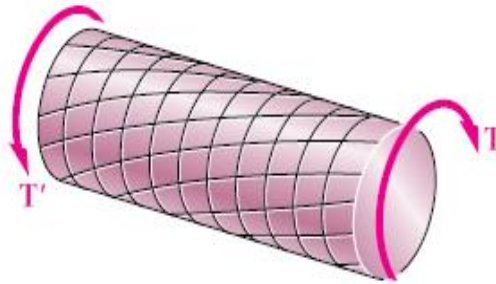


Figura 3.3. Eje circular sometido a torsión

Fuente: [10]

3.6.2 Par de torsión interno en ejes no circulares

Según [10] un eje que tiene sección transversal no circular, no posee simetría axial y su sección puede deformarse cuando el eje gira. Un eje de sección circular es más eficiente ya que se encuentra sometido a un menor esfuerzo cortante máximo y tiene un ángulo de giro más pequeño que el correspondiente para un eje sección transversal no circular sometido al mismo par de torsión. En la Figura 3.4. se muestra un eje con forma no circular sometido a torsión.

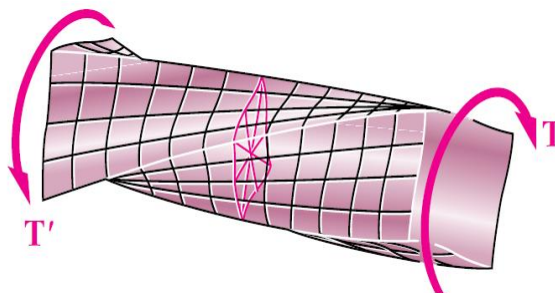


Figura 3.4. Eje no circular sometido a un par de torsión

Fuente: [10]

3.6.3 Par de torsión interno en huecos de pared delgada

Como las paredes de un tubo son delgadas es posible obtener el esfuerzo cortante promedio suponiendo que dicho esfuerzo está uniformemente distribuido a través del grosor del tubo en cualquier punto [10]. En la Figura 3.5. se muestra un tubo que tiene una forma constante y arbitraria en su sección transversal y un grosor variable t .

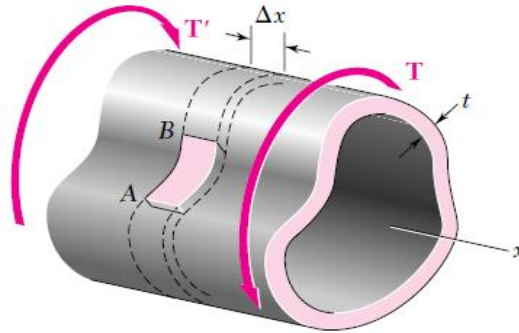


Figura 3.5. Eje hueco de pared delgada sometido a un par de torsión

Fuente: [10]

3.6.4 Diagrama torque vs ángulo de giro

La obtención del diagrama de torque en función del ángulo de torsión, para una probeta cilíndrica sometida a torsión, es fundamental para determinar el módulo de corte y el esfuerzo cortante de fluencia [1]. En la Figura 3.6. se puede distinguir el límite de proporcionalidad, el límite de fluencia superior A, el límite de fluencia inferior B, la zona de cadencia C y el límite de ruptura de la probeta, señalado con el punto D.

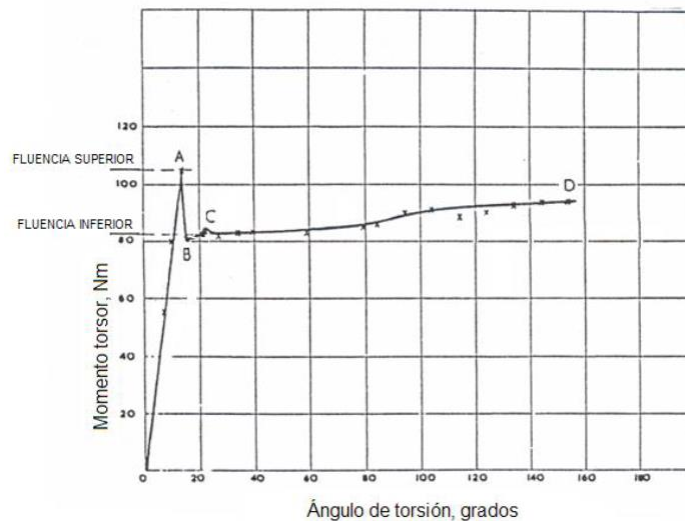


Figura 3.6. Diagrama Momento torsor-ángulo de giro

Fuente: [1]

3.6.5 Teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles

La teoría del esfuerzo cortante máximo (ECM) estipula que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala al esfuerzo cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir. La teoría del ECM también se conoce como la teoría de Tresca o Guest [12].

Muchas teorías se postulan con base en las consecuencias vistas en las piezas sometidas a tensión. Cuando una tira de un material dúctil se somete a tensión, se forman líneas de desplazamiento (llamadas líneas de Lüder) aproximadamente a 45° de los ejes de la tira. Estas líneas de desplazamiento representan el inicio de la fluencia, y cuando se carga hasta la fractura, también se observan líneas de fractura en ángulos de aproximadamente 45° con los ejes de tensión. Como el esfuerzo cortante es máximo a 45° del eje de tensión, es lógico pensar que éste es el mecanismo de falla [12].

3.7 Ensayo de torsión

Cuando se aplica un par de torsión a un miembro se desarrolla un esfuerzo cortante en su interior y se crea una deformación torsional, el resultado es un ángulo de torsión de un extremo del miembro con respecto al otro [8]. El ensayo de torsión se aplica para determinar constantes elásticas y propiedades de los materiales, también se puede aplicar para medir la resistencia de soldaduras y uniones. Para su ejecución se elabora una probeta de longitud determinada de acuerdo a lo estipulado en la norma, luego se la fija en las mordazas de la máquina asegurando que esté bien sujeta para evitar un deslizamiento. Durante el ensayo la máquina va mostrando los valores del torque y ángulo de giro hasta llegar a la ruptura del material. En la Figura 3.7. se muestra el modelo de la máquina de torsión utilizada en el laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Universidad Central el Ecuador.



Figura 3.7. Máquina para ensayos de torsión del laboratorio UCE

3.8 Probetas normalizadas para ensayos de torsión

Las probetas para el ensayo de torsión son una muestra estándar de un material para determinar su comportamiento ante un par torsor aplicado, estas pueden ser simples o maquinadas con el fin de adoptar su forma para la sujeción en las mordazas de la máquina. Según la norma [13] para probetas cilíndricas sólidas, se debe tomar en cuenta que sean rectas, de diámetro uniforme y una longitud igual a su longitud libre más dos a cuatro diámetros. Para probetas tubulares se debe tomar en cuenta que sean rectas, de espesor constante y una longitud igual a la longitud libre, más 4 diámetros exteriores, la longitud libre debe ser por lo menos de 4 veces el diámetro. En la Figura 3.8. se representa la forma típica de una probeta para el ensayo de torsión.

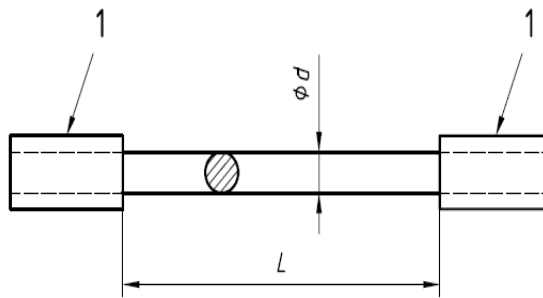


Figura 3.8. Probeta de ensayo de torsión

Fuente: [14]

Donde:

d = Diámetro de un alambre redondo [mm]

L = longitud libre entre mordazas [mm]

1 = Mordazas

3.9 Propiedades mecánicas de los materiales a ensayar

Tomando en cuenta la capacidad de la máquina y las propiedades mecánicas de los materiales más empleados en la industria local se determinan los materiales a ensayar en la máquina de torsión, siendo los siguientes:

3.9.1 Acero ASTM A36

El acero ASTM A36 es utilizado para propósitos estructurales, también se usan en la fabricación de tornillos, tensores, cadenas, verjas, usos industriales, cerramientos, ornamentación, en donde los elementos deben unirse con soldadura. Los más comúnmente usados para el A36 son la soldadura por arco metálico protegido y la soldadura oxiacetilénica [15]. La ficha técnica se muestra en el Anexo I y la Tabla 3.1. indica las principales propiedades mecánicas del material.

Tabla 3.1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Propiedades mecánicas ASTM A36	
Esfuerzo de cedencia	235 MPa
Resistencia a la tracción	340 – 470 MPa
Elongación	20%

Fuente: [15]

3.9.2 Acero SAE 1018

Acero de bajo contenido de carbono. Para aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ejemplo: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación debido a su alto contenido de manganeso y excelente soldabilidad [16]. La ficha técnica se muestra en el Anexo I y la Tabla 3.2. indica las principales propiedades mecánicas del material.

Tabla 3.2. Propiedades mecánicas del acero SAE 1018

Propiedades mecánicas SAE 1018	
Esfuerzo de cedencia	304 MPa
Resistencia a la tracción	500 – 696 MPa
Elongación, A5	20%

Fuente: [16]

3.9.3 Acero AISI 1045

Acero al carbono sin alear de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB [16]. La ficha técnica se muestra en el Anexo I y en la Tabla 3.3. se encuentran las principales propiedades mecánicas del acero AISI 1045.

Tabla 3.3. Propiedades mecánicas del acero AISI 1045

Propiedades mecánicas AISI 1045	
Esfuerzo de cedencia	314 MPa
Resistencia a la tracción	637 MPa
Elongación, A5	min 10%

Fuente: [16]

3.9.4 Acero AISI 4340

Es un acero al molibdeno más cromo y níquel. Combina alta resistencia mecánica con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Se usa para aplicaciones de gran resistencia en la industria automotriz como: ejes, cardanes, cigüeñales y ejes de leva. También se utiliza para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como: árbol para trituradoras, barras de torsión, mandriles, portaherramientas y para aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga como: la construcción de equipo pesado para camiones y aviones [16]. La ficha técnica se muestra en el Anexo I y en la Tabla 3.4. se encuentran las principales propiedades mecánicas del acero AISI 4340.

Tabla 3.4. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340

Propiedades mecánicas AISI 4340	
Esfuerzo de cedencia	686 MPa
Resistencia a la tracción	883 – 1079 Mpa
Elongación, A5	min 12%

Fuente: [16]

3.10 Normas para el ensayo de torsión

Existen varias normas que definen los requerimientos para realizar el ensayo de torsión, a continuación se presentan las normas revisadas para el desarrollo del presente proyecto.

3.10.1 ISO 7800 Metallic materials – Wire – Simple torsion test

La norma ISO 7800 especifica un método para determinar la capacidad del alambre metálico de diámetro entre 0,1 mm a 10 mm para sufrir deformación plástica durante una torsión simple en una dirección. Se basa en el ensayo a temperatura ambiente para garantizar que la temperatura no sea un elemento influyente en los resultados o que altere las propiedades mecánicas del material [14].

3.10.2 ASTM E143-02 Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature

Esta norma cubre las pruebas de módulo de corte a temperatura ambiente. Es una prueba de torsión que se usa comúnmente para determinar las propiedades básicas del material. Esta prueba examina la región elástica de la deformación por torsión y lo que se busca obtener en el ensayo de torsión con esta norma son: el momento torsor aplicado y el ángulo de torsión para determinar el módulo de corte [13].

3.10.3 NTC 3995 Materiales Metálicos. Alambre. Ensayo de torsión simple

Esta norma especifica el método para determinar la capacidad de soporte a la deformación plástica durante una torsión simple, de un alambre metálico de diámetro o espesor de 0,1 mm a 14 mm. El ensayo consiste en torcer una probeta alrededor de su propio eje, en una sola dirección. Se tiene que registrar el número de giros hasta la rotura. En general, el ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente entre 10 °C y 35 °C [17].

3.10.4 NTE INEN 140 Ensayo de torsión simple para alambre de acero

Esta norma describe el método de ensayo de torsión simple para alambre de acero con diámetro nominal igual o mayor que 0,5 mm, también muestra la longitud libre entre mordazas de acuerdo al diámetro seleccionado, la velocidad máxima de rotación y el número de torsiones requeridos para que el ensayo sea satisfactorio [18].

3.11 Elementos de control, medición y adquisición de datos

La máquina de torsión cuenta con elementos que permiten accionar y controlar su funcionamiento de tal forma que no exista riesgo para el usuario y la máquina durante el ensayo, también está compuesto de sensores e instrumentos que permiten recibir y acondicionar la señal para la adquisición de datos.

3.11.1 Variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia se usan para el control de velocidad de motores eléctricos, modificando la tensión, cambiando la frecuencia y la amplitud, con el fin de optimizar procesos y reducir las cargas mecánicas de las máquinas [19]. En la Figura 3.9. se muestra las tres etapas del funcionamiento de un variador de frecuencia.

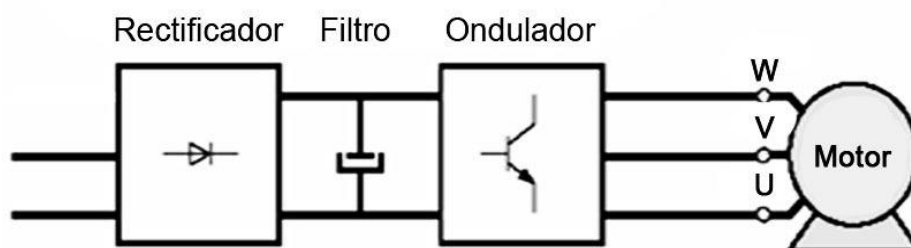


Figura 3.9. Principio de funcionamiento de un variador de frecuencia

Fuente: [19]

Según [19] los variadores de frecuencia al estar alimentados desde la red eléctrica en su primera etapa de funcionamiento cuentan con un rectificador que permite la regeneración de la energía de inercia de la carga a la red cuando ésta se detiene e introduce una tasa baja de armónicos.

En el circuito intermedio se convierte AC en DC mediante un puente rectificador y utiliza condensadores que almacenan la energía en el que se pueden incluir bobinas para la reducción de armónicos.

En la tercera etapa el inversor convierte la tensión continua de la etapa de filtrado en otra tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos.

3.11.2 Encoder

El encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica sirve para indicar la posición angular de un eje, velocidad y aceleración del rotor de un motor [20]. Se compone de un disco conectado a un eje giratorio que se encuentra codificado con unas partes transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por la fuente de luz. La Figura 3.10. indica los componentes internos de un encoder.

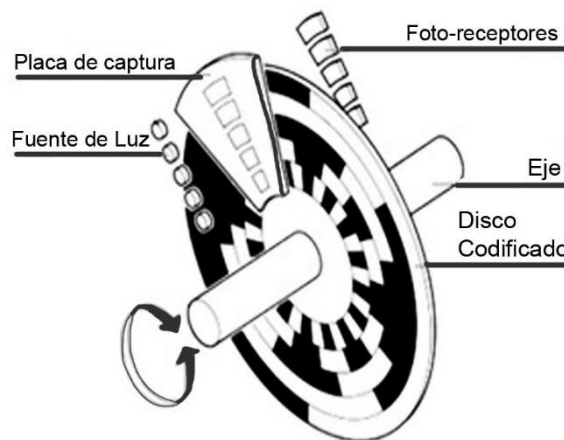


Figura 3.10. Componentes internos de un encoder

Fuente: [20]

Los encoder según el tipo de información sobre la posición que generan se clasifican en:

- **Encoder incremental:** Miden valores de ángulos con un patrón periódico que se inicia desde un origen arbitrario. Este tipo de encoder auto direcciona un punto inicial de referencia en todas las tareas de posicionamiento, tanto al iniciar el sistema de control como cuando se haya interrumpido el suministro eléctrico.
- **Encoder absoluto:** Son capaces de ofrecer valores de posición únicos desde el momento en que se encienden y también inmediatamente después de un corte eléctrico. Las posiciones tienen un código establecido y los movimientos que ocurren mientras no existe energía se traducen en valores de posición una vez recuperada el suministro.

3.11.3 Sensor de torque

En la descripción publicada por [21] menciona que un sensor de torque es un transductor que convierte la torsión mecánica de entrada en una señal eléctrica a la salida. Los sensores de torque cuentan con una tecnología de galgas extensiométricas en una configuración de puente de Wheatstone que convierten la deformación mecánica en una resistencia eléctrica proporcional a la carga aplicada. Existen dos tipos de sensores de torque según el tipo de aplicación:

- **Sensor de torque estático:** Es utilizado en aplicaciones donde el eje no es rotativo, por lo que todo el sensor de par está sometido a la torsión que se le aplique en los extremos.
- **Sensor de torque dinámico:** Los sensores de par dinámico están pensados para medir el par o el torque en un eje rotativo.

Son empleados en diversas aplicaciones tales como: pruebas de eficiencia energética, en las universidades y la industria para la investigación o para garantizar un estándar de calidad. En la Figura 3.11. se muestra un sensor de torque.



Figura 3.11. Sensor de torque

Fuente: [22]

3.11.4 Acondicionador de señal

Un acondicionador de señal es un circuito electrónico que incrementa la intensidad de corriente, la tensión o la potencia de la señal que se le aplica a su entrada; obteniéndose la señal aumentada a la salida [23]. Los acondicionadores lineales incrementan la señal sin distorsionarla de manera que la salida es proporcional a la entrada. Los acondicionadores no lineales permiten generar un cambio considerable en la forma de onda de la señal. La Figura 3.12. muestra las conexiones de un acondicionador de señal.

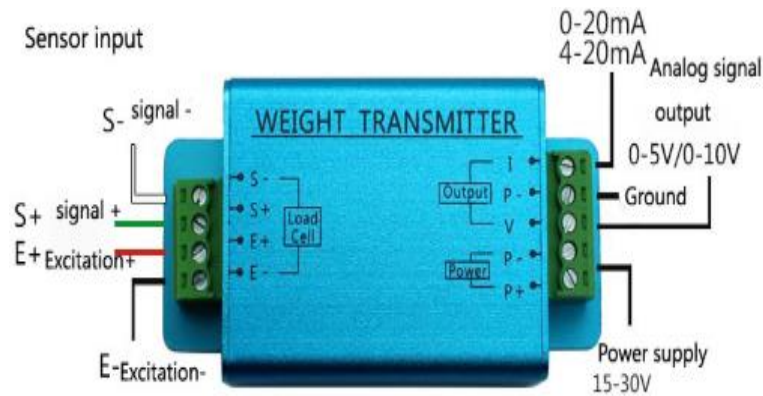


Figura 3.12. Conexiones de un acondicionador de señal

Fuente: [23]

3.11.5 Adquisición de datos

Como expresa [24] la adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas y una PC con software programable. La Figura 3.13. muestra la partes que componen un sistema de adquisición de datos.



Figura 3.13. Partes de un sistema de adquisición de datos

Fuente: [24]

3.11.6 Software de programación gráfica

Un software de programación gráfica ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de cualquier proveedor, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas [24]. Los programas desarrollados mediante un software de programación se denominan Instrumentos Virtuales (VIs). Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, además tienen un panel frontal y un diagrama de bloques.

3.11.6.1 Panel frontal

Se trata de la interfaz gráfica con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. La Figura 3.14 muestra el panel frontal de la interfaz gráfica desarrollada en el presente proyecto.



Figura 3.14. Panel frontal de la máquina de torsión

3.11.6.2 Diagrama de bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales. La Figura 3.15 muestra el diagrama de bloques realizado en el software.

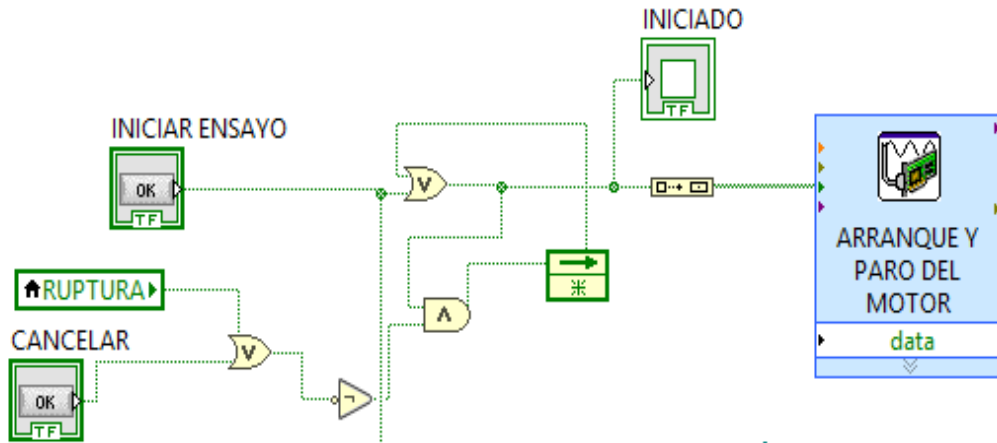


Figura 3.15. Diagrama de bloques de la máquina de torsión

4. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1 Declaración de variables

4.1.1 Variable independiente

- Torque

4.1.2 Variable dependiente

- Ángulo de giro

4.2 Operacionalización de las variables

Es un proceso metodológico que consiste en descomponer de forma deductiva las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico [25]. La Tabla 4.1. muestra la variable independiente del proyecto.

Tabla 4.1. Variable independiente

Variable independiente	Unidad de medida	Instrumento de medición
Torque	N.m	Sensor de torque

La Tabla 4.2. muestra la variable dependiente del proyecto.

Tabla 4.2. Variable dependiente

Variable dependiente	Unidad de medida	Instrumento de medición
Ángulo de giro	Grados	Encoder

4.3 Diseño conceptual

El diseño conceptual se refiere a las necesidades (**N**) y requisitos (**R**) que debería tener una máquina de torsión, por lo que se considera realizar la ingeniería de requerimientos en la cual se trata de recopilar información por medio de una lluvia de ideas.

4.3.1 Funcionalidades de la máquina de torsión

Dependiendo de las funciones a cumplir, se pueden establecer límites relacionados con el tamaño, maniobrabilidad y apariencia, en esta parte se tomará en cuenta las principales funcionalidades de máquinas de torsión existentes en el mercado y en universidades visitadas. En la Tabla 4.3. se detallan los requerimientos y necesidades de los principales parámetros.

Tabla 4.3. Funcionalidades de la máquina de torsión

Funciones	La máquina de torsión debe aplicar un torque mayor al calculado	R
	La máquina de torsión debe presentar la gráfica torque vs ángulo de giro	R
	La máquina de torsión debe tener un sistema de control	R
	La máquina de torsión debe ensayar materiales frágiles como dúctiles	R
Energía	La máquina de torsión debe tener eficiencia energética (W/h)	R
	La máquina de torsión deberá ser operada de forma analógica y virtual	N
	La máquina de torsión deberá tener un sistema de protección de sobrecarga	N
	La máquina de torsión deberá trabajar en la red de tensión a 220V/60 Hz	R
Seguridad	La máquina de torsión deberá contar con una estructura resistente a las cargas	R
	La máquina de torsión deberá permanecer estable durante el ensayo	N
	La máquina de torsión deberá tener protección a cortocircuitos	R
	La máquina de torsión tiene que ser de un tamaño eficaz a su ingeniería	N
Ergonomía	La máquina de torsión deberá ser de operatividad intuitiva	R
	La máquina de torsión deberá ser accesible para el mantenimiento	N
	La máquina de torsión deberá tener una mínima afección al medio ambiente	R
Fabricación	La máquina de torsión debe tener una tolerancia en la capacidad de torque	R
	La máquina de torsión debe tener buena fiabilidad y estabilidad	R
	La máquina de torsión debe proporcionar el torque necesario	R
	La máquina de torsión debe indicar el ángulo de giro final del ensayo	R
Control	La máquina de torsión deberá tener un botón de encendido/apagado del sistema	R
	La máquina de torsión debe tener un control de torque del motor	R
	La máquina de torsión debe tener un control eficaz a la respuesta del sistema	N
Funcionamiento	La máquina de torsión podrá funcionar en condiciones de seguridad	R
	La máquina de torsión tendrá el mecanismo eficiente para la obtención de datos de torque y ángulo de giro	N
	La máquina de torsión permitirá conocer las propiedades mecánicas del material ensayado	R

4.3.2 Alcance de alternativas de máquinas de torsión

De acuerdo a las características de los tipos de máquinas de torsión que existen en el mercado y universidades que fueron visitadas, los modelos varían por la capacidad de torque, materiales de ensayo, visualización de datos, sistema de control, entre otras características.

4.4 Componentes de la máquina de torsión

Para la selección de los elementos y equipos que componen la máquina se realiza una descripción de acuerdo a la función que cumplen dentro del sistema planteado.

- **Motor:** Está encargado de suministrar la potencia que provoca la fractura de la probeta y está acoplado a un reductor de velocidad.
- **Reductor de velocidad:** Transforma la velocidad angular y el torque del motor mediante relaciones geométricas entre los engranajes.
- **Mandriles:** Son elementos acoplados al eje y a un carro de desplazamiento que permiten colocar y ajustar las probetas de ensayo.
- **Variador de frecuencia:** Este equipo controla la velocidad de giro así como también permite invertir el sentido de giro de los mandriles de la máquina.
- **Sensor de torque:** El sensor mide el torque aplicado a la probeta y convirtiendo esta medición en una señal eléctrica en su salida.
- **Acondicionador de señal:** Posibilita incrementar la intensidad de voltaje que se le aplica a su entrada proveniente del sensor de torque, entregando una señal aumentada a los terminales de una tarjeta de adquisición de datos.
- **Encoder incremental:** Su función es medir la rotación de un elemento acoplado a su eje, registrando la deformación angular de la probeta durante el ensayo y enviando una señal de pulsos a su salida.
- **Tarjeta de adquisición de datos:** Permite recibir las señales generadas por los sensores, las cuales serán procesadas mediante un software.

4.5 Rediseño de la máquina de torsión

Al tratarse de un proyecto de rediseño se cuenta con varios equipos disponibles, pero estos elementos deben ser validados mediante cálculos para su aplicación en la máquina de torsión. En esta parte del proyecto tecnológico se detalla todos los pasos en el proceso de rediseño, iniciando con la capacidad máxima de la máquina de torsión, cálculos de los componentes mecánicos, elementos de control y protección, selección de los sensores para la medición de variables, la adquisición de datos y los cálculos para la determinación de las propiedades mecánicas del material.

4.5.1 Cálculo de capacidad de la máquina de torsión

La máquina de torsión está construida para fines demostrativos, es decir que no está diseñada para ensayar materiales de un alto nivel de resistencia mecánica. Por esto se limita los ensayos en la máquina de torsión a probetas de un diámetro de 6mm con una tolerancia de $\pm 0,1$ mm y para materiales cuyo torque necesario para provocar su ruptura no sea superior a 100 N.m.

4.5.1.1 Cálculo del momento torsor

En base a la literatura de [26] se toma la ecuación 4.1 para determinar la resistencia máxima de corte en ejes sólidos como los que se van a utilizar en la máquina de ensayos de torsión.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16.T}{\pi.d^3} \quad (4.1)$$

Donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$: Esfuerzo máximo del material a ensayar [N.m²]

T= Torque necesario para producir la ruptura de la probeta [N.m]

d= Diámetro de la probeta [m]

De la ecuación 4.1 despejamos el torque, de la cual se obtiene lo siguiente:

$$T = \frac{\tau_{m\acute{a}x} \cdot \pi \cdot d^3}{16} \quad (4.2)$$

4.5.2 Selección de componentes mecánicos

Debido a los requerimientos de torque y velocidad para el ensayo, es necesario seleccionar un motor y un sistema de transmisión que satisfaga dichas necesidades, un mecanismo adecuado por sus características para la transmisión es un reductor de velocidad.

4.5.2.1 Cálculo de potencia del motor

La potencia del motor es fundamental para aplicar el torque y romper la probeta. En la obra de [12] indica el procedimiento para el cálculo de la potencia del motor mediante la ecuación 4.3.

$$H = T.\omega \quad (4.3)$$

Donde:

H= Potencia requerida [W]

T= Torque necesario para producir la ruptura de la probeta [N.m]

ω = Velocidad angular [rad/s]

Como el eje gira a una frecuencia de revoluciones por unidad de tiempo la velocidad angular se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$\omega = 2\pi.f \quad (4.4)$$

Donde:

ω = Velocidad angular [rad/s]

f= Frecuencia [Hz]

4.5.2.2 Cálculo del par torsor del reductor de velocidad

Con el resultado del momento torsor necesario para romper la probeta, se procede con el cálculo del momento torsor necesario a la salida del reductor de velocidad utilizando la siguiente ecuación según indica [5].

$$T_s = T.F_s \quad (4.5)$$

Donde:

T_s= Torque requerido a la salida del reductor de velocidad [N.m]

T= Torque necesario para producir la ruptura de la probeta [N.m]

F_s= Factor de seguridad [adimensional]

4.5.2.3 Torque de salida del conjunto motor-reductor de velocidad

Con los resultados obtenidos de la ecuación 4.3 y 4.5 se debe verificar que el motor y reductor de velocidad tengan la capacidad de aplicar el par de torsión requerido para producir la ruptura de la probeta, mediante el procedimiento indicado en el proyecto de [5] se aplica la siguiente ecuación.

$$T_s = \frac{H_r}{\omega} \quad (4.6)$$

Donde:

T_s = Torque de salida del conjunto motor-reductor de velocidad [N.m]

H_r = Potencia real de la caja reductora [kW]

ω = velocidad angular a la salida del reductor de velocidad [rad/s]

Primero se debe calcular la potencia real del reductor de velocidad con la siguiente ecuación.

$$H_r = H_n \cdot \eta \cdot (0.74573) \quad (4.7)$$

Donde:

H_r = Potencia real del reductor de velocidad [kW]

H_n = Potencia nominal del motor [hp]

η = Eficiencia del reductor de velocidad [adimensional]

Ahora se calcula la velocidad angular mediante la ecuación 4.8.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{rpm}{i} \quad (4.8)$$

Donde:

ω = velocidad angular a la salida del reductor de velocidad [rad/s]

i : relación de transmisión del reductor de velocidad [adimensional]

rpm= Velocidad nominal del motor [rev/min]

4.5.3 Elementos de control

Durante el ensayo de torsión se requiere un torque de salida a bajas revoluciones que permita aplicar un par de torsión en forma gradual para lograr un ensayo eficiente y permitir el procesamiento de los datos medidos.

4.5.3.1 Control de velocidad mediante el variador de frecuencia

El variador de frecuencia funciona como un regulador de velocidad del equipo a través de la velocidad angular del motor y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$n = \frac{120 * f}{p} \quad (4.9)$$

Donde:

n = Velocidad angular del motor [rev/min]

f = Frecuencia [Hz]

p = Número de pares de polos del motor [adimensional]

Para obtener una velocidad de salida en función de los Hertz controlados por el variador de frecuencia se aplica la siguiente relación.

$$\begin{matrix} 1Hz & 30rpm \\ (x)Hz & rpm = \end{matrix} \quad (4.10)$$

Donde:

Hz= Valor del frecuencia mediante el control del variador [Hz]

rpm= Velocidad del motor mediante el control del variador de frecuencia [rev/min]

Posteriormente con el resultado de la relación entre Hertz y rpm se puede determinar la velocidad de salida del conjunto motor-reductor de velocidad aplicando la siguiente ecuación.

$$rpm_{salida} = \frac{rpm}{i} \quad (4.11)$$

Donde:

rpm_{salida} = Velocidad del conjunto motor-reductor de velocidad [rev/min]

i : relación de transmisión del reductor de velocidad [adimensional]

4.5.4 Sensores de medición de variables

Comprende los sensores que realizan las medición de variables durante el ensayo de torsión, estas variables a medir son el torque y el ángulo de giro. También se incluye el acondicionador que envía la señal de medición del sensor de torque a una tarjeta de adquisición de datos para la comunicación con el software de programación gráfica.

4.5.4.1 Cálculo del sensor de torque

El sensor de torque determina el par de torsión aplicado a la probeta desde el inicio del ensayo hasta cuando se produce su ruptura, dicho sensor mostrará una señal eléctrica de medición con un valor máximo y mínimo de acuerdo a su capacidad. Para que los valores medidos por el sensor de torque se puedan visualizar en la interfaz gráfica, se requiere de un acondicionador que permita enviar la señal recibida hacia el sistema de adquisición, esto se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$\begin{matrix} V_{mín} = T_{mín} \\ V_{máx} = T_{máx} \end{matrix} \Rightarrow V_{salida} = T_{salida} \quad (4.12)$$

Donde:

$V_{mín}$ = Voltaje mínimo de salida del acondicionador de señal [V]

$V_{máx}$ = Voltaje máximo de salida del acondicionador de señal [V]

$T_{mín}$ = Torque mínimo de salida del sensor [N.m]

$T_{máx}$ = Torque máximo de salida del sensor [N.m]

V_{salida} = Voltaje de salida del acondicionador de señal [V]

T_{salida} = Torque de salida del sensor [N.m]

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene valores medios que sirven para determinar el valor del voltaje a la salida del acondicionador de señal en función del torque aplicado durante el ensayo, mediante la ecuación 4.13.

$$V_{salida} = \frac{T_{salida}}{10} \quad (4.13)$$

4.5.4.2 Selección del encoder

El encoder registra el ángulo de giro desde que inicia el ensayo de torsión hasta llegar a la ruptura de la probeta, esta medición se puede realizar desde un punto de referencia estable o de un punto arbitrario después de una desconexión, lo cual se debe considerar al momento de seleccionar un encoder para este tipo de ensayos mecánicos.

Al medir el ángulo de giro con el encoder, este entrega una señal de pulsos que permite determinar la relación entre número de pulsos por cada grado mediante la siguiente ecuación.

$$\#deg \text{ rados} = \frac{360^\circ}{\#depulsos/vuelta} \quad (4.14)$$

Donde:

#degrados= Número de grados por cada pulso del encoder [°]

#depulsos/vuelta= Número de pulsos por vuelta del encoder [p/v]

4.5.5 Cálculos para la determinación de las propiedades del material

El ensayo de torsión permite obtener los datos del ángulo de giro y momento torsor máximo que soporta la probeta de ensayo, con estos datos es posible encontrar el módulo de corte, el momento de inercia polar, el esfuerzo cortante, la deformación angular y un factor de proporcionalidad en base a la teoría del esfuerzo cortante para poder realizar la curva torque vs ángulo de giro y esfuerzo vs deformación.

4.4.5.1 Módulo de corte

Según [13] el módulo de corte es una propiedad del material que sirve para verificar el cumplimiento de los materiales sometidos a torsión cuando el ángulo de giro es proporcional al momento torsor aplicado y se determina con la siguiente ecuación.

$$G = \frac{T.L}{J.\varphi} \quad (4.15)$$

Donde:

G= Módulo de corte [MPa]

T= Momento torsor resultante que actúa en la sección transversal [N.mm]

L= Longitud de ensayo de la probeta [mm]

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

φ=Ángulo de giro [rad]

4.5.5.2 Momento polar de inercia

El momento polar de inercia para ejes de sección transversal circular sólida se utiliza para determinar el módulo de corte y según [13] se puede encontrar con la siguiente ecuación.

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (4.16)$$

Donde:

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

d= Diámetro de la probeta de ensayo [mm]

Si un eje tiene una sección transversal tubular con radio interior y exterior, entonces su momento polar de inercia puede determinarse en base a la ecuación 4.17.

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4) \quad (4.17)$$

Donde:

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

D_o= Diámetro exterior de la probeta de ensayo [mm]

D_i= Diámetro interior de la probeta de ensayo [mm]

4.5.5.3 Esfuerzo cortante máximo en el eje

La diferencia de rotaciones que se produzca al aplicar un momento torsor hace que el elemento este sometido a un esfuerzo cortante y según [12] se determina con la siguiente ecuación.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T \cdot r}{J} \quad (4.18)$$

Donde:

$\tau_{\text{máx}}$ = Esfuerzo cortante máximo que se produce en la superficie externa [MPa]

T= Torque necesario para producir la ruptura de la probeta [N.mm]

r= Radio de la probeta de ensayo [mm]

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

4.5.5.4 Esfuerzo de cedencia

Como indica [12] el esfuerzo último antes de llegar a la zona de fluencia de un material se define mediante la siguiente ecuación.

$$\tau_y = \frac{T_u \cdot r}{J} \quad (4.19)$$

Donde:

τ_y = Esfuerzo de cedencia a torsión [MPa]

T_u= Torque último de cedencia [N.mm]

r=Radio de la probeta de ensayo [mm]

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

4.5.5.5 Deformación angular

La deformación angular producida por el momento torsor aplicado en la probeta se determina de acuerdo a la ecuación 4.20.

$$\gamma = \frac{\tau_{\text{máx}}}{G} \quad (4.20)$$

Donde:

γ = Deformación angular [rad]

$\tau_{\text{máx}}$ = Esfuerzo cortante máximo que se produce en la superficie externa [MPa]

G= Módulo de corte [MPa]

4.5.5.6 Teoría del esfuerzo cortante máximo (ECM)

Según [12] para un estado general de esfuerzo, la hipótesis del esfuerzo cortante máximo produce la fluencia aplicando la ecuación 4.21.

$$\tau_y = \frac{S_y}{2} \quad (4.21)$$

Donde:

τ_y = Esfuerzo de cedencia torsión [MPa]

S_y = Esfuerzo de cedencia a tracción [MPa]

Obteniendo un factor de proporcionalidad de la ecuación anterior resulta en lo siguiente.

$$\frac{S_y}{\tau_y} \approx 2 \quad (4.22)$$

4.6 Proceso de construcción

Para el rediseño se utiliza un software CAD como base para la conceptualización de las ideas hasta su construcción. Una vez concluida la etapa de rediseño se procederá al cambio de la estructura de la máquina de torsión con el uso de tubo estructural cuadrado galvanizado, utilizando técnicas de corte, soldadura por arco eléctrico y pintado. La máquina de torsión tendrá una estructura estable en la cual estarán apoyados varios elementos como el motor que a la vez estará conectado a un reductor de velocidad, que se encargará de la transmisión del movimiento rotacional al mandril.

El otro mandril permite ajustar la probeta de acuerdo a su longitud, la estructura también cuenta con un espacio destinado a las conexiones de control y potencia para el funcionamiento de la máquina. Estas conexiones cuentan con voltajes en AC y DC los cuales están conectados en diferentes barras para su distribución a los diferentes elementos con los que cuenta.

Uno de los ejes principales del proyecto es la implementación del sistema de adquisición de datos mediante la implementación de un sensor de torque y un encoder que envían las señales de medición a la tarjeta de adquisición de datos para la comunicación con la interfaz gráfica desarrollada en un software de programación, lo que permite visualizar las gráficas del ensayo y los valores de medición para realizar los cálculos de las propiedades del material ensayado.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Resultados de la ingeniería de requerimientos

Los resultados de la metodología para el rediseño destacan el desarrollo de los requisitos en su mayoría, pero de manera particular establecen que la máquina de torsión debe tener las dimensiones de: funciones, seguridad, fabricación, control como requisitos primordiales. La Tabla 5.1. muestra los resultados obtenidos en el diseño de ingeniería de requerimientos.

Tabla 5.1. Resultados de la metodología para el diseño

Dimensiones		Requisitos (R)	Necesidades (N)	Ideal
1	Funciones	4	0	4
2	Energía	2	2	4
3	Seguridad	2	2	4
4	Ergonomía	2	1	3
5	Fabricación	5	0	5
6	Señales	1	1	2
7	Control	2	1	3
8	Funcionamiento	2	1	3
Total = $\sum(R) \sum(N)$		20	8	28
Coeficiente para el diseño = Puntaje Total/Puntaje ideal		71,43%	28,57%	100%

5.2 Rediseño de la máquina

5.2.1 Cálculo del momento torsor

Según la Tabla 3.4 se determina que el acero AISI 4340 es el material con mayor esfuerzo a ensayar, con un valor de 883 MPa el cual sirve para determinar la capacidad máxima de la máquina, garantizando así que en el resto de materiales con menor resistencia a ensayar, también se produzca la ruptura. Para el cálculo del momento torsor que se debe aplicar a la probeta se aplica la ecuación 4.2.

$$\sigma = 883 \text{MPa} = 883 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$T = \frac{(883.10^6 \text{ N/m}^2) \cdot (\pi) \cdot (0,006\text{m})^3}{16}$$

$$T = 37,45\text{N.m}$$

Se obtiene un valor de 37,45 N.m el cual es el valor de torque necesario que se debe suministrar para romper una probeta AISI 4340, que es el material sugerido con mayor resistencia para los ensayos en el presente proyecto.

5.3 Cálculos para la selección de los elementos mecánicos

5.3.1 Cálculo de la potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor se toma el valor de 90 rpm como la velocidad de rotación máxima para ensayos de torsión en alambres de acero según indica [18] y con un factor de seguridad de 2 se sustituyen los valores en la ecuación 4.3.

$$\omega = 90\text{rpm} = 9,42 \text{ rad/s}$$

$$H = (37,45\text{N.m}) \cdot (9,42 \text{ rad/s}) \cdot (2)$$

$$H = 705,55\text{W} = 0,94\text{hp}$$

En el presente proyecto al tratarse de un rediseño se dispone de un motor trifásico de 1 hp y 1695 rpm, el cual se considera adecuado ya que mediante los cálculos realizados se valida su utilización en la máquina de torsión. En la Tabla 5.2. se muestran las características del motor.

Tabla 5.2. Características del motor

Característica	Descripción
Marca:	ABB
Potencia:	1 hp
Tensión:	220/440 V
Frecuencia:	60 Hz
Intensidad:	3,3 A
Aislamiento:	Clase F
Velocidad nominal:	1695 rpm

Fuente: [27]

5.3.2 Cálculo del par torsor del reductor de velocidad

Se toma como referencia la velocidad máxima requerida para el ensayo que es de 90 rpm, al ser emitida por una norma aunque la que se aplica en el ensayo planteado es de un valor bastante menor, por lo tanto es necesario un mecanismo de reducción de velocidad.

La velocidad que proporciona el motor es de 1695 rpm y en el caso de aplicar un par de poleas para transmisión por banda y con la relación de transmisión obtenida de 19:1 el diámetro de una de ellas debería ser 19 veces mayor que la otra para llegar a la velocidad adecuada, lo que resulta algo desproporcional.

Debido a esto un sistema más adecuado y comercial es la aplicación de un reductor de velocidad con el cuál se debe garantizar que el torque de salida sea mayor al torque que requiere la probeta para llegar a la ruptura. Para el cálculo se considera un factor de seguridad de 1,5 y sustituyendo valores en la ecuación 4.5 se obtiene:

$$T_s = (37,45N.m).(1,5)$$

$$T_s = 56,17N.m$$

Se obtiene un resultado de 56,17 N.m como el valor del torque necesario a la salida del reductor de velocidad para que se cumpla con el objetivo del ensayo y según la disponibilidad existente en la máquina de torsión, se cuenta con un reductor de velocidad de 100 N.m como torque de salida con una relación de transmisión de 30:1 el cual se considera adecuado para el desarrollo adecuado del ensayo en la máquina de torsión. En la Tabla 5.3. se muestran las características principales suministradas para el reductor de velocidad.

Tabla 5.3. Características del reductor de velocidad

Característica	Descripción
Marca:	Radicon
Torque de salida:	100 N.m
Velocidad de entrada:	1695 rpm
Relación de transmisión:	30:1
Velocidad de salida:	56,5 rpm

Fuente: [28]

5.3.3 Torque de salida del conjunto motor-reductor de velocidad

Para verificar que la selección del motor y reductor de velocidad es la correcta se aplica la ecuación 4.7.

$$H_r = (1hp).(0,80).(0,74573)$$

$$H_r = 0,5965kW$$

Ahora mediante la ecuación 4.8 se calcula la velocidad angular a la salida del reductor de velocidad.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{1695rpm}{30}$$

$$\omega = 5,91rad/s$$

Sustituyendo los resultados anteriores en la ecuación 4.6 se puede determinar el torque de salida resultante del acoplamiento del motor-reductor de velocidad.

$$T_s = \frac{596,58W}{5,91rad/s}$$

$$T_s = 100,94N.m$$

El torque de salida del conjunto motor-reductor de velocidad es de 100,94 N.m que es un valor mayor al torque de 37,45 N.m que requiere la probeta para llegar a la ruptura, por lo tanto el motor y el reductor de velocidad seleccionados son los adecuados para el cumplimiento del ensayo de torsión.

5.3.4 Selección de mandriles

Para elegir los mandriles se debe considerar el acoplamiento para el eje del reductor de velocidad así como el tipo de mordazas para la sujeción de las probetas, las cuales deben evitar desplazamientos durante el ensayo.

La norma NTC-3995 indica el tipo de mordaza adecuado según el diámetro de las probetas a ensayar. Los mandriles para el carro de desplazamiento fijo y para el acoplamiento móvil con los que cuenta la máquina son de 4 pulgadas, de mordazas acanaladas en V y con un sistema de sujeción por llave que ofrece tres puntos de contacto para las probetas. Las características principales de los mandriles de la máquina de torsión se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Características del mandril

Característica	Descripción
Marca:	Yuasa
Tipo:	Autocentrante
Diámetro mandril:	4"
Velocidad máxima:	4200 rpm
Diámetro agujero:	0,787"

Fuente: [29]

5.4 Control de equipos

5.4.1 Selección del variador de frecuencia

La velocidad de salida del reductor de velocidad es de 56.5 rpm y la velocidad de ensayo requerida está en un intervalo de 2 a 8 rpm por lo tanto es necesario una mayor reducción de velocidad, esto se logra mediante un variador de frecuencia maneja la velocidad de salida hasta el nivel necesario, sin afectar al comportamiento del motor. Las características principales del variador de frecuencia de la máquina de torsión se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Características del variador de frecuencia

Característica	Descripción
Marca:	SIEMENS
Modelo:	Sinamics V20
Tensión:	220/440 V
Potencia:	1hp
Frecuencia:	60 Hz

Fuente: [19]

La velocidad que se necesita para el ensayo del presente proyecto es de 3 rpm, este valor se ha determinado en base a pruebas realizadas en distintas máquinas de torsión. También se considera un tiempo adecuado para que el software de programación registre el valor del torque y el número de vueltas resultantes del ensayo.

Este valor puede ser modificado dentro del rango establecido de 2 a 8 rpm, el cambio se debe realizar cuando los requerimientos del material a ensayar así lo exijan. Para realizar este cambio se necesita ingresar a la configuración de los parámetros del variador de frecuencia.

5.4.2 Cálculos para el control de velocidad mediante el variador de frecuencia

El variador de velocidad requiere de la velocidad angular del motor de la máquina de torsión, para así poder ser controlado, esto es posible mediante la ecuación 4.9.

$$n = \frac{120 * 60Hz}{2}$$

$$n = 3600rpm$$

Para obtener la velocidad de salida en función de la frecuencia se utiliza la ecuación 4.10.

$$1Hz \quad 30rpm$$

$$(3)Hz \quad X = 90rpm$$

Con el resultado anterior obtenido se aplica la ecuación 4.11 para determinar la velocidad a la salida del reductor de velocidad.

$$rpm_{salida} = \frac{120rpm}{30}$$

$$rpm_{salida} = 3rpm$$

Se obtiene una velocidad de salida de 3 rpm la cual es la adecuada para la medición y registro de las variables del ensayo de torsión. La configuración de los parámetros utilizados en el variador de frecuencia para el desarrollo del ensayo se explica en el Anexo III.

5.5 Selección de sensor de torque y encoder

5.5.1 Selección del sensor de torque

El sensor de torque es seleccionado de acuerdo al torque de salida del reductor de velocidad, por lo tanto se selecciona un sensor de 100 N.m cuyo valor es la carga máxima que puede recibir el sensor en condiciones normales de diseño. En el proyecto se determina la utilización de materiales cuya resistencia máxima no sea superior a la capacidad máxima del sensor de torque, esto como una medida de seguridad.

Aspectos tales como la precisión requerida, el tipo de montaje para la fijación al mandril, la señal de salida, el factor de carga segura y su disponibilidad en el mercado son factores importantes para la selección del sensor más adecuado. En la Tabla 5.6 se muestran las características del sensor de torque seleccionado.

Tabla 5.6. Características del sensor de torque

Característica	Descripción
Marca:	DAYSENSOR
Modelo:	DYJN-101
Tipo:	Estático
Configuración:	Fijación por brida
Capacidad nominal:	100 N.m
Fuente de alimentación:	5-15V D.C
Señal de salida:	1000 mV/V
Exactitud:	± 1% F.S
Impedancia de aislamiento:	>2000 MΩ
Temperatura ambiente:	-20 a 60 °C
Carga segura:	150 %
Carga de fractura:	200 %

Fuente: [21]

Al tomar la señal directamente desde el puente Wheatstone que compone el sistema de detección de torsión, la señal es muy débil, esto es característico de extensometría (mV/V), lo que obliga a conectarlo a un acondicionamiento de señal, para contar con una señal estándar en tensión. El acondicionador se determina en base a la señal enviada a la salida del sensor de torque y el tipo de señal de entradas que permite ingresar la tarjeta de adquisición de datos. En la Tabla 5.7 se muestran las características del equipo seleccionado.

Tabla 5.7. Características del acondicionador de señal

Característica	Descripción
Señal de entrada:	1000 mV/V
Precisión:	0,05%
Fuente de alimentación:	15-30 V D.C
Corriente de salida:	4-20 mA
Voltaje de salida:	0-10 V

Fuente: [30]

Para la configuración de la señal de salida del acondicionador se elige la señal de voltaje debido a su precisión al momento de recibir los datos de medición. El valor de voltaje en función del torque medido se obtiene reemplazando la ecuación 4.12.

$$\begin{aligned} 0V &= 0N.m \\ 10V &= 100N.m \Rightarrow 5V = 50N.m \end{aligned}$$

Por lo tanto para conocer el valor del voltaje a la salida del acondicionador de señal cuando se aplica un torque de 38 N.m que es el valor calculado para provocar la ruptura de una probeta de acero AISI 4340 se aplica la ecuación 4.13.

$$V_{salida} = \frac{38}{10}$$

$$V = 3,8V$$

Al registrar una medición de 38 N.m el acondicionador de señal envía 3,8 V a su salida para la comunicación con el sistema de adquisición de datos, luego estos datos serán visualizados en la interfaz gráfica. En el Anexo IV se muestra la recta de calibración del sensor de torque.

5.5.2 Selección del encoder

Para la selección del encoder se toma en cuenta la forma de medición necesaria para el ensayo, por lo que resulta conveniente un encoder incremental que marca su posición de referencia desde un punto arbitrario después de una desconexión y que entrega una señal de salida por pulsos. Las características del encoder se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Características del encoder incremental

Característica	Descripción
Marca:	IBEST
Tipo:	Incremental
Resolución:	200 pulsos/vuelta
Tensión de entrada:	5-12 VDC
Velocidad máxima:	5000 rpm
Carga admisible radial:	5 N
Carga axial admisible:	3 N

Fuente: [28]

La relación entre el número de pulsos por cada grado se obtiene con la ecuación 4.14.

$$\# \text{de grados} = \frac{360^\circ}{200 \text{ pulsos/vuelta}}$$

$$\# \text{de grados} = 1,8^\circ$$

El resultado nos indica que por cada pulso hay un desplazamiento angular del mandril de 1.8°

5.6 Adquisición de datos

5.6.1 Selección de la tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición se selecciona de acuerdo al número de entradas para la conexión de instrumentos de medición como el sensor de torque y el encoder. La tarjeta de adquisición de la máquina de torsión es una DAQ NI-6008 para la comunicación con la interfaz gráfica de LabVIEW. La Tabla 5.9. muestra las características principales de DAQ.

Tabla 5.9. Características de la tarjeta de adquisición de datos

Característica	Descripción
Marca:	National Instruments
Señales Analógicas:	8 Entradas - 2 Salidas
Señales Digitales:	12 E/S Digitales
Compatibilidad:	Windows 7 Service Pack 1

Fuente: [31]

5.7 Cálculos para la relación entre las propiedades mecánicas a tracción y torsión

Con el fin de obtener un factor de proporcionalidad entre la relación de la resistencia de cedencia a tracción y la resistencia de cedencia a torsión experimental de los materiales ensayados, se toma en cuenta el criterio de la teoría del esfuerzo cortante máximo (ECM) del cual se obtiene que $\tau_{\text{máx}}/S_y \approx 2$.

Los ensayos se realizaron en la máquina de torsión implementada en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la cual cuenta con un encoder para la medición del ángulo de giro, un sensor de torque para la medición del par de torsión y un sistema de adquisición de datos que envía la información al software LabVIEW para el procesamiento de los datos y la generación de la curva torque vs ángulo de giro y esfuerzo cortante vs deformación angular.

Las probetas de ensayo se realizaron de acuerdo a los planos establecidos, con los extremos maquinados debido a la forma de las mordazas de la máquina, logrando así una sujeción adecuada. La velocidad constante para los ensayos fue de 3 rpm y bajo la norma: ASTM E 143-02 “Método de prueba estándar para módulo de corte a temperatura ambiente”.

5.7.1 Análisis del ensayo de torsión del acero ASTM A36

Se ensayaron cinco (5) probetas macizas de sección circular de acero ASTM A36, con un diámetro de 6 mm y una tolerancia de $\pm 0,1$ mm, una longitud total de 110 mm y una longitud de ensayo de 50 mm. La Tabla 5.10. presenta los valores obtenidos de las cinco probetas ensayadas para la obtención de un factor de proporcionalidad promedio del material.

Tabla 5.10. Resultados de los ensayos de torsión del acero ASTM A36

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS						
ACERO ASTM A36						
NRO	TORQUE [N.mm]	INERCIA POLAR [mm⁴]	DIÁMETRO [mm]	ESFUERZO CEDENCIA A TRACCIÓN (S_y) [MPa]	ESFUERZO CEDENCIA A TORSIÓN (τ_y) [Mpa]	FACTOR DE PROPORCIONALIDAD
1	7961	127,235	6	235	187,709	1,25
2	7878	127,235	6	235	185,752	1,27
3	8369	118,962	5,9	235	207,533	1,13
4	6008	141,660	6	235	117,500	2,00
5	7536	127,235	6	235	177,688	1,32
FACTOR DE PROPORCIONALIDAD PROMEDIO						1,39

De la Tabla 5.10. se puede observar casi todas las probetas ensayadas de acero ASTM A36 presentan un valor del factor de proporcionalidad experimental menor a 2 a excepción de la probeta 4 que muestra un factor de 2 siendo igual al valor indicado en la ecuación del factor de proporcionalidad del esfuerzo cortante máximo.

El valor de 1,39 se determina como el valor del factor de proporcionalidad obtenido de los ensayos realizados para el acero ASTM A36. En los Anexos se muestran los valores registrados de torque y ángulo de cada probeta así como las gráficas resultantes del ensayo.

5.7.2 Análisis del ensayo de torsión del acero SAE 1018

Se ensayaron cinco (5) probetas macizas de sección circular de acero SAE 1018, con un diámetro de 6 mm y una tolerancia de $\pm 0,1$ mm, una longitud total de 110 mm y una longitud de ensayo de 50 mm. La Tabla 5.11. presenta los valores obtenidos de las cinco probetas ensayadas para la obtención de un factor de proporcionalidad promedio del material.

Tabla 5.11. Resultados de los ensayos de torsión del acero SAE 1018

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS						
ACERO SAE 1018						
NRO	TORQUE [N.mm]	INERCIA POLAR [mm⁴]	DIÁMETRO [mm]	ESFUERZO CEDENCIA A TRACCIÓN (S_y) [MPa]	ESFUERZO CEDENCIA A TORSIÓN (τ_y) [Mpa]	FACTOR DE PROPOR CIONALI DAD
1	7820	127,235	6	304	184,384	1,65
2	8463	127,235	6	304	199,545	1,52
3	8374	127,235	6	304	197,446	1,54
4	8784	127,235	6	304	207,114	1,47
5	9042	127,235	6	304	213,197	1,43
FACTOR DE PROPORCIONALIDAD PROMEDIO						1,52

De la Tabla 5.11. se puede observar que todas las probetas ensayadas de acero SAE 1018 presentan un valor del factor de proporcionalidad menor a 2, que es el valor indicado en la ecuación de esfuerzo cortante máximo.

El factor de proporcionalidad obtenido para el acero SAE 1018 es de 1,52. En los Anexos se muestran los valores de torque y ángulo así como las gráficas resultantes.

5.7.3 Análisis del ensayo de torsión del acero AISI 1045

Otro material ensayado fue el acero AISI 1045 para esto se utilizaron cinco (5) probetas macizas de sección circular de este material, con un diámetro de 6 y una tolerancia de $\pm 0,1$ mm, una longitud total de 110 mm y una longitud de ensayo de 50 mm. La Tabla 5.12. presenta los valores obtenidos de las cinco probetas ensayadas.

Tabla 5.12. Resultados de los ensayos de torsión del acero AISI 1045

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS						
ACERO AISI 1045						
NRO	TORQUE [N.mm]	INERCIA POLAR [mm⁴]	DIÁMETRO [mm]	ESFUERZO CEDENCIA A TRACCIÓN (S_y) [MPa]	ESFUERZO CEDENCIA A TORSIÓN (τ_y) [Mpa]	FACTOR DE PROPOR CIONALI DAD
1	8684	127,235	6	314	204,756	1,53
2	8756	118,962	5,9	314	217,130	1,45
3	8024	118,962	5,9	314	198,978	1,58
4	9042	127,235	6	314	213,197	1,47
5	8689	127,235	6	314	208,874	1,53
FACTOR DE PROPORCIONALIDAD PROMEDIO						1,51

La Tabla 5.12. muestra todas las probetas presentan un factor de proporcionalidad menor al indicado. El factor de proporcionalidad que se determina para el acero AISI 1045 es de 1,51 que a pesar de ser menor al indicado, es un valor admisible teniendo en cuenta que el valor de la teoría del esfuerzo cortante máximo es un valor de referencia con el que se espera que cumpla el material, pero que no es un valor estrictamente exacto. En los Anexos se muestran los valores registrados de torque y ángulo así como las gráficas resultantes del ensayo de este material.

5.7.4 Análisis del ensayo de torsión del acero AISI 4340

Para el ensayo de torsión del AISI 4340 se utilizaron cinco (5) probetas macizas de sección circular de este material, con un diámetro de 6 y una tolerancia de $\pm 0,1$ mm, una longitud total de 110 mm y una longitud de ensayo de 50 mm. La Tabla 5.13. presenta los valores obtenidos de las cinco probetas ensayadas con los valores de torque, ángulo, inercia polar, diámetro, esfuerzo de cedencia y esfuerzo máximo a torsión para la obtención de un factor de proporcionalidad promedio del material.

Tabla 5.13. Resultados de los ensayos de torsión del acero AISI 4340

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS						
ACERO AISI 4340						
NRO	TORQUE [N.mm]	INERCIA POLAR [mm⁴]	DIÁMETRO [mm]	ESFUERZO CEDENCIA A TRACCIÓN (S_y) [MPa]	ESFUERZO CEDENCIA A TORSIÓN (τ_y) [Mpa]	FACTOR DE PROPOR CIONALI DAD
1	15690	135,931	6,1	686	351,937	1,95
2	16241	135,931	6,1	686	364,413	1,88
3	15268	118,962	5,9	686	378,614	1,81
4	16428	127,235	6	686	387,348	1,77
5	15954	127,235	6	686	376,172	1,82
FACTOR DE PROPORCIONALIDAD PROMEDIO						1,85

De la Tabla 5.13 se puede observar que todas las probetas ensayadas de acero AISI 4340 presentan un valor de factor de proporcionalidad menor al que indica la teoría del esfuerzo cortante máximo que es de 2.

El valor de factor de proporcionalidad promedio que se determina para el acero AISI 4340 es un valor de 1,85. Este valor es muy cercano al valor de la teoría del esfuerzo cortante máximo y se considera un resultado satisfactorio que demuestra la confiabilidad de la máquina de torsión. En los Anexos se muestran los valores registrados de torque y ángulo así como las gráficas resultantes del ensayo de este material.

5.8 Análisis termográfico

5.8.1 Análisis termográfico del motor

Las imágenes termográficas del motor instalado en la máquina de torsión permiten mostrar las condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de diferentes puntos ante un posible sobrecalentamiento que podría deberse a: la aplicación del variador de frecuencia para el control de velocidad de salida mediante la relación frecuencia-velocidad, flujo de aire insuficiente, mala alineación del eje, fallo del aislamiento, etc. La mayoría de los motores están diseñados para funcionar a una temperatura que no supere los 40°C. La influencia de la temperatura en la potencia del motor y la clase de aislamiento se indican en el Anexo II.

El análisis se realiza bajo condiciones normales del ensayo durante un tiempo de 1 hora y 15 minutos como tiempo máximo estimado de realización de pruebas de torsión, con intervalos de 5 minutos entre el cambio y preparación de la probeta para el siguiente ensayo. La Tabla 5.14. muestra los resultados obtenidos.

Tabla 5.14. Resultados del análisis termográfico del motor de la máquina de torsión

Detalle	Temperatura Mín. [°C]	Temperatura Máx. [°C]	Temperatura Prom.[°C]
Antes del análisis termográfico	11,7	13,7	13,1
Inicio del análisis termográfico 0-10 min	12,6	14,5	14
Durante el análisis termográfico 15-20 min	14,5	15,5	15,1
Durante el análisis termográfico 25-30 min	14,8	16,1	15,5
Durante el análisis termográfico 35-40 min	17	18,1	17,6
Durante el análisis termográfico 45-50 min	18,3	19	18,6
Durante el análisis termográfico 55-60 min	19,9	20,8	20,4
Final del análisis termográfico 65-75 min	20,5	21,6	21,1

Los resultados obtenidos nos muestran un valor máximo promedio de temperatura de 21,1 °C durante 75 minutos de ensayos de torsión con intervalos de 5 minutos. El motor presenta valores permisibles para su funcionamiento de acuerdo a los parámetros establecidos que muestran que con una temperatura inferior o igual a 40 °C la potencia nominal del motor se mantiene.

La clase de aislamiento tipo F que es con la que cuenta el motor permite una temperatura máxima de 155 °C, además el motor tiene la protección térmica suministrada por el variador de frecuencia para evitar algún tipo de daño por sobrecalentamiento en sus componentes internos.

De esta manera se comprueba que el motor de la máquina de torsión está operando en condiciones normales de funcionamiento. Las imágenes del análisis termográfico realizado al motor se muestran en el Anexo V.

5.8.2 Análisis termográfico de las probetas

La norma ASTM E143-02 tomada para el desarrollo del ensayo de torsión menciona que la prueba debe realizarse a una temperatura ambiente entre 10 °C - 35 °C y durante el ensayo el aumento de temperatura debe ser mínimo para evitar deformaciones por calor, para que así la rotura de la probeta sea causada específicamente por la aplicación de un par torsor. La Tabla 5.15. muestra los valores de la probeta a temperatura ambiente y durante el ensayo de torsión.

Tabla 5.15. Resultados del análisis termográfico de las probetas

Detalle	Temperatura [°C]
Antes del ensayo	15,3
Durante el ensayo	16,9

Los resultados muestran un valor de temperatura ambiente de 15,3 °C el cual está dentro del rango permitido por la norma correspondiente y presenta un aumento de temperatura durante el ensayo de 1,6 °C que es un valor que no se considera como determinante dentro de la deformación presentada por la probeta.

Este pequeño aumento de temperatura se produce en mayor razón por la manipulación al momento de preparar y ajustar la probeta que por efecto del ensayo de torsión realizado. Las imágenes del análisis termográfico realizado a las probetas se muestran en el Anexo VI.

6. PRESUPUESTO

A continuación, se detallan cada uno de los aspectos financieros para el desarrollo de la propuesta tecnológica.

6.1 Análisis Financiero

6.1.1 Costos Directos

6.1.1.1 Costos de materiales

En la Tabla 6.1. se detallan los costos de los materiales empleados en el proyecto.

Tabla 6.1. Costo de materiales utilizados en el rediseño de la máquina

MATERIAL DIRECTO				
Detalle	Especificaciones	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Sensor de Torque	100 N.m	1	425	425
Amplificador de señal	0-10V	1	45	45
Fuente de alimentación	18V-2A	1	11,5	11,5
Fuente de alimentación	5V-12V-1A	1	8,35	8,35
Puente de relés	12 V	1	7,45	7,45
Bornera de distribución	4 barras	1	14,74	14,74
Cable Flexible Negro N° 14	6m	6	0,42	2,52
Cable Flexible Rojo N° 14	6m	6	0,42	2,52
Cable Flexible Blanco N° 14	3m	3	0,42	1,26
Cable Flexible 3x12	3m	3	3,22	9,66
Bornera CSC		2	1,3	2,6
Cable de Control	2m	2	1,66	3,32
Riel DIN	0,50m	0,5	2,3	1,15
Enchufe Trifásico	32A	1	9,45	9,45
Amarras	1 Paquete	1	2	2
Selector 3 posiciones		1	2,65	2,65
Bornera	6mm	1	2,63	2,63
Pulsador ON/OFF		1	5,65	5,65
Terminales en U	Rojo y azul	50	0,06	3

Cable concéntrico	2m	2	1,2	2,4
Canaletas Ranuradas	4m	4	3,5	14
Enchufe	110v	1	1,69	1,69
Etiquetas	1 Hoja	1	4	4
Tubo Cuadrado 2in	2 metros	3	2,75	8,25
Tubo Cuadrado 3/4 in	6 metros	6	1	6
Electrodos Soldex	2 lb	2	1,75	3,5
Disco Desbaste	7in	1	1,8	1,8
Masilla Plastica	1lt	1	7,95	7,95
Pintura	3lt	3	8,5	25,5
Thinner	4lts	4	1,25	5
Madera MDF	1 plancha	1	25	25
Tornillos	2 mm	50	0,05	2,5
Varilla ASTM A36	d= 12mm; 1m	1	1	1
Acero SAE 1018	d=3/8 in; 3m	3	1,75	5,25
Acero AISI 1045	d=3/8; 3m	3	6,5	19,5
Acero AISI 4340	d=1/2in; 3m	1	10	10
Cuchilla HSS	3/8in	3	3,5	10,5
Fresa HSS	3 filas	1	8,5	8,5
SUBTOTAL (\$)				722,79

6.1.1.2 Costos por mecanizado de probetas

En la Tabla 6.2. se detallan los costos por mecanizado de las probetas de ensayo de torsión.

Tabla 6.2. Costo por mecanizado de probetas

MECANIZADO DE PROBETAS			
Detalle	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Acero ASTM A36	7	4	28
Acero SAE 1018	20	4	80
Acero AISI 1045	15	6	90
Acero AISI 4340	7	4	28
SUBTOTAL (\$)			226

6.1.1.3 Costos por mano de obra

En la Tabla 6.3. se detallan los costos por mano de obra utilizados en el desarrollo de la propuesta tecnológica.

Tabla 6.3. Costo por mano de obra

MANO DE OBRA				
Detalle	Cantidad	# Horas	Valor Hora (\$)	Valor Total (\$)
Mecánico	1	40	2,41	96,4
Tornero	1	32	2,41	77,12
Eléctrico	1	30	2,41	72,3
Programador	1	50	2,41	120,5
SUBTOTAL (\$)				366,32

6.1.2 Costos indirectos

En la Tabla 6.4. se detalla los gastos debidos a transporte, alimentación e imprevistos.

Tabla 6.4. Costos indirectos

MATERIAL INDIRECTO		
Detalle	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Alimentación	2	100
Transporte	3	48
Imprevistos	50	50
SUBTOTAL (\$)		198

6.1.3 Inversión Total

En la tabla 6.5. se puede apreciar el costo total de la máquina de torsión que incluye los costos del material directo, el mecanizado de probetas, la mano de obra y el material indirecto.

Tabla 6. 5. Inversión total

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
Material Directo	720,29
Mecanizado de Probetas	226
Mano de obra	366,32
Material Indirecto	198
COSTO TOTAL (\$)	1513,11

Como se muestra en la Tabla 6.5. la inversión total del proyecto es de 1.513,11 (mil quinientos trece y 11/100) dólares, debido a que es un rediseño en el sistema de adquisición de datos de la máquina de torsión.

6.2 Análisis de impactos

6.2.1 Impacto práctico

La máquina de torsión esta rediseñada para adquirir los datos de torque y ángulo de giro, luego son representados de manera gráfica determinando las propiedades mecánicas del material ensayado. Se puede comprobar el esfuerzo máximo experimental con el teórico que viene establecido en las fichas técnicas y almacenar cada valor obtenido en una hoja de Excel para la elaboración de un informe final.

6.2.2 Impacto ambiental

La máquina de torsión es un equipo que no genera ningún tipo de contaminación ambiental, debido a que su funcionamiento es destinado para el ensayo de probetas de diámetro de 6mm y con una velocidad de 3 rpm, sin ser un peligro para los estudiantes por generación de ruido.

6.2.3 Impacto social

Con el rediseño de la máquina de torsión el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Técnica de Cotopaxi contará con un equipo cuyo sistema de adquisición de datos permite a los estudiantes internos o externos realizar ensayos de torsión a diferentes materiales previamente maquinados para su análisis.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La teoría del esfuerzo cortante máximo tomado del texto de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley establece que $S_y/\tau_y \approx 2$, esta ecuación relaciona el comportamiento del material sometido a torsión con el comportamiento a tracción y en base a esto se obtuvo un factor de proporcionalidad de 1,39; 1,52, 1,51, 1,85 para los aceros ASTM A36, SAE 1018, AISI 1045 y AISI 4340 respectivamente.
- La máquina de torsión rediseñada tiene una capacidad máxima de 100 N.m y durante los ensayos realizados el mayor torque aplicado fue de 32,48 N.m para una probeta de acero AISI 4340 por lo tanto la máquina permite la aplicación y medición del torque aplicado con un factor de seguridad de 3.
- El acero ASTM A36 es el material ensayado que presenta la máxima deformación angular, mostrando un valor de 1,51 rad, mientras que el acero AISI 4340 presenta el valor más bajo de 0.23 rad.
- Los ensayos experimentales de los materiales se realizaron bajo la Norma ASTM E 143-02 y muestran las gráficas de torque vs. ángulo y esfuerzo vs deformación en donde se puede distinguir las constantes de los materiales como zona elástica, esfuerzo de cedencia y el esfuerzo último cortante.
- Para el rediseño de la máquina se seleccionaron elementos y equipos de los cuales se validó su implementación mediante cálculos y pruebas termográficas dando como resultado un valor máximo de temperatura de 21,1 °C en el motor y de 16,9 °C en las probetas, los cuales se consideran como valores normales de funcionamiento y prueba.
- El rediseño de la máquina de torsión beneficia a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, al permitir la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales tales como el módulo de corte y la fluencia.

7.2 Recomendaciones

- Revisar con anticipación la fundamentación teórica y las normas determinadas para el ensayo de torsión, para conocer los requerimientos y métodos de procedimiento, además se debe seguir con las indicaciones de la hoja guía para la práctica.
- Maquinar las probetas con un número de grados de rugosidad N6 para que no presenten una superficie con marcas visibles ni perceptibles al tacto, las cuales puedan alterar las propiedades mecánicas del material.
- Verificar las dimensiones de la probeta antes de iniciar el ensayo para establecer los valores exactos en el software y así obtener un resultado real del material ensayado.
- Al finalizar el ensayo de torsión se debe guardar o exportar los valores obtenidos de forma inmediata al formato Excel establecido, para la elaboración de un informe final.
- Evitar el contacto con el tablero de conexiones de la máquina de torsión para evitar posibles riesgos eléctricos o la desconfiguración de los parámetros establecidos, en caso de ser necesario algún tipo de operación interna se debe seguir con las indicaciones de la hoja de configuración de parámetros, manual de usuario y planos adjuntados en el proyecto.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Á. Castillo, Diseño y construcción de un banco para ensayos de torsión., Loja: UNL Tesis de Grado, 2011.
- [2] C. Castro, Caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: Acero AISI 1018, Acero AISI 1045, Aluminio y Bronce SAE 40 de 10mm de diámetro., Quito: UPS Tesis de Grado, 2018.
- [3] A. López, Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para la máquina de ensayo de torsión del laboratorio de sólidos de la FIMCP, Guayaquil: ESPOL Tesis de Grado, 2002.
- [4] W. Cautela y L. Moscianese, Diseño y construcción de una máquina de ensayo de torsión estática para el laboratorio de diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas : UCV Tesis de Grado, 2005.
- [5] L. Caballero y C. Castillo , Diseño, construcción y calibración de una máquina para ensayos de torsión de alambres según la norma ISO 7800, Trujillo: UNT Tesis de Grado, 2017.
- [6] C. Ramírez, Estudio integral del ensayo de torsión, Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de las Villas Trabajo de Diplomado, 2004.
- [7] R. C. Hibbeler, Mecánica de Materiales, vol. Octava Edición, México: Pearson Educación, 2011.
- [8] R. L. Mott, Resistencia de Materiales, México: Pearson Educación Quinta Edición, 2009.
- [9] A. Balvantín, «Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales,» UGTO, Irapuato, 2016.
- [10] F. Beer, R. Johnston, J. Dewolf y D. Mazurek, Mecánica de Materiales, México: McGraw-Hill Educación, 2009.
- [11] B. Urrea y J. Ussa, Diseño y construcción de un banco para pruebas de torsión, Bogotá: Universidad de San Buenaventura Trabajo de Grado, 2015.

- [12] R. G. Bunden y K. J. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.
- [13] ASTM International, Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature, North Carolina: IHS, 2008.
- [14] ISO, ISO 7800 Metallic materials-Wire-Simple torsion test, Switzerland, 2003.
- [15] ANDEC, Catálogo de productos, Quito.
- [16] Ivan Bohman C.A, Catálogo de productos III Edición, Guayaquil, 2018.
- [17] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 3995 Materiales Metálicos. Alambre. Ensayo de Torsión Simple., Bogotá, 2014.
- [18] INEN, NTE INEN 140 Ensayo de torsión simple para alambre de acero, Quito: INEN, 2013.
- [19] Siemens, Convertidor SINAMICS V20, Nürnberg: Siemens AG, 2013.
- [20] Mecafenix Ingeniería, «La Enciclopedia de la Ingeniería,» [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/encoder/>. [Último acceso: 17 05 2019].
- [21] AliExpress, «Estática de torsión sensor de par tipo de brida estática sensor de par de celda de carga par de rotary par 0-5000N.M,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32925986084.html?spm=a219c.12010108.addToCart.1>. [Último acceso: 22 06 2019].
- [22] Sensing, «Sensores de medida,» [En línea]. Available: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-par-y-torsion/>. [Último acceso: 17 05 2019].
- [23] Ecured, «Ecured,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Amplificador>. [Último acceso: 17 05 2019].
- [24] National Instruments, «Adquisición de datos,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 17 05 2019].

- [25] S. Carrasco Díaz, Metodología de investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación, Lima: Editorial San Marcos, 2009.
- [26] A. Pytel y F. Singer, Resistencia de materiales, México: Repro-flo S.A, 2008.
- [27] ABB, Motores Eléctricos Trifásicos - 50 y 60 Hz, ABB LV Motors , 2008.
- [28] J. Pichucho y G. Riera, Construcción de una máquina de ensayos de tracción para análisis mecánico y virtual de los parámetros de la deformación y rotura del material para el laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el período 2015., Latacunga: UTC Trabajo de Grado, 2015.
- [29] Toolmex Industrial Solutions, Workholding solutions, Worcester: Toolmex International, 2013.
- [30] AliExpress, «Amplificador transmisor de la célula de carga de presión,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32959998956.html>. [Último acceso: 22 06 2019].
- [31] National Instruments, User Guide NI USB-6008/6009, Austin, 2015.
- [32] J. E. Salazar, Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería, Manizales: Centro de publicaciones Universidad nacional de Colombia, 2007.

ANEXOS

DEFINICIÓN

Las Varillas Redondas Lisas son aquellas cuyo perfil corresponde al de una circunferencia, luego de ser laminadas.

USOS

Además de utilizarlas para propósitos estructurales, también se usan en carpintería metálica, fabricación de tornillos, tensores, cadenas, verjas, usos industriales, cerramientos, ornamentación, donde los elementos deban unirse con soldadura.

NORMALIZACIÓN

Las Varillas Redondas Lisas se fabrican de acuerdo a lo establecido en la norma NTE-INEN-2222.

SUMINISTROS

Paquetes atados con alambre, con peso aproximado de 2500 kg. Los paquetes se identifican mediante etiqueta individual que incluye: Nombre del fabricante, dimensiones, peso y grado del acero.

GARANTÍAS

Nuestro sistema de Gestión de Calidad permite la supervisión de la totalidad del proceso de fabricación con el fin de obtener un producto de composición y dimensionamiento adecuado para su uso.

Emitimos a pedido del cliente, el correspondiente certificado de calidad.

GAMA DE FABRICACIÓN

Diámetro (mm)	Peso Nominal (mm)	Tolerancia en el diámetro (+/-mm)	Ovalidad Max (mm)
8	0,395		
10	0,617		
12	0,888	0,40	0,60
14	1,208		
16	1,578		
18	1,998		
20	2,466	0,50	0,75
22	2,984		
25	3,853		
28	4,834	0,60	0,90
32	6,313		

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Fluencia MPa	Resistencia MPa	Alargamiento (%)
235 (Min)	340 (Min) 470 (Max)	26 (Min)

► Cód. IBCA: SAE 1018 - Tolerancias h10 - h11



Información general

Acero de bajo contenido de carbono.

Análisis típico %	C	Mn	P	S
SAE 1018	0,15 - 0,20	0,60	0,040	0,050
Código de color	Azul			

Aplicaciones

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ejemplo: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc.

Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso.

Excelente soldabilidad.

Propiedades mecánicas

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas 2 1/2" o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o toneado de desbaste.

Diámetro, mm	
Esfuerzo de cedencia (kg/mm ²)	min 31
Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	51 - 71
Elongación, A5	20 %
Reducción de área. Z	57 %
Dureza (HB)	163

Medidas en stock

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
1/4	0,2	1.3/8	7,5	4	63,6
5/16	0,4	1.1/2	8,9	4.1/2	80,5
3/8	0,6	1.3/4	12,2	5	99,4
1/2	1,0	2	15,9	5.1/2	120,3
5/8	1,6	2.1/4	20,1	6	143,2
3/4	2,2	2.1/2	24,9	7	194,9
7/8	3,0	2.3/4	30,1	8	254,6
1	4,0	3	35,8	9	322,2
1.1/8	5,0	3.1/4	42,0	10	397,8
1.1/4	6,2	3.1/2	48,7		

* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

► Cód. IBCA: 760 ≅ C45 ≅ AISI 1045



Información general

Acero al carbono sin alea de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
C45	0.42 - 0.50	≤ 0.40	0.50 - 0.80	0.045	0.045	≤ 0.40	≤ 0.10
AISI 1045	0.43 - 0.50	0.15 - 0.35	0.60 - 0.90	0.030	0.050		
Normas equivalentes	AISI (1045), SAE (C1045), W.Nr (1.1820), DIN (CK45)						
Código de color	Rojo / Plomo						

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción	65 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 kg/mm ²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40 %
Dureza	220 - 235

Tratamiento térmico

TIPO	°C
Forjado	800 - 1050
Normalizado	830 - 850
Temple (agua)	770 - 810
Temple (aceite)	790 - 830
Revenido (herramientas de corte)	100 - 300
Revenido de bonificación	550 - 650

Aplicaciones

Componentes sencillos, como por ejemplo:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

Medidas en stock

Redondo						Cuadrado			
Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)	Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)
25	3,9	90	51,0	165	171,5	5 x 5	0,2	35 x 35	9,8
30	5,7	100	63,0	170	182,1	6 x 6	0,3	40 x 40	12,8
32	6,5	105	69,5	180	204,1	8 x 8	0,5	45 x 45	16,2
38	9,1	115	83,3	190	227,4	10 x 10	0,8	50 x 50	20,0
40	10,1	120	90,7	200	252,0	12 x 12	1,2	60 x 60	28,8
50	15,8	125	98,4	230	333,3	16 x 16	2,0	70 x 70	39,2
60	22,7	130	106,5	250	393,8	20 x 20	3,2	80 x 80	51,2
70	30,9	140	123,5	300	567,0	25 x 25	5,0	90 x 90	64,8
80	40,3	150	141,8	320	645,1	30 x 30	7,2	130 x 130	135,2
				350	771,8	32 x 32	8,2		

Planchas				Platinas			
Planchas (mm)	Peso (kg/m)	Planchas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10 x 610	48,8	35 x 700	196,0	10 x 40	3,2	25 x 40	8,0
12 x 610	58,6	40 x 610	195,2	12 x 40	3,8	25 x 50	10,0
20 x 610	97,6	50 x 615	246,0	12 x 60	5,8	25 x 80	16,0
20 x 620	99,2	60 x 610	292,8	15 x 100	12,0	30 x 70	16,8
25 x 610	122,0	60 x 615	295,2	20 x 100	16,0	30 x 80	19,2
25 x 620	124,0	70 x 615	344,4	20 x 150	24,0	40 x 80	25,6
30 x 615	147,6	90 x 700	504,0	20 x 50	8,0	60 x 100	48,0

* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

► Cód. IBCA: 705 \cong 34 CrNiMo6 \cong AISI 4340 \cong AISI 4337



Información general

705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
34 CrNiMo6	0,30 - 0,38	\leq 0,30	0,50 - 0,80	0,025	0,025	1,30 - 1,70	1,30 - 1,70	0,15 - 0,30
AISI 4337	0,35 - 0,40	0,20 - 0,35	0,60 - 0,80	0,04	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
AISI 4340	0,38 - 0,43	0,15 - 0,35	0,60 - 0,80	0,03	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
Código de color	Dorado / Azul							
Equivalencias	AISI / SAE (4337 - 4340) Din (34CrNiMo6)			W.Nr (1.6582) JIS (SNCM1)		AFNOR (35NCD6)		

Aplicaciones

1.-Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes.
- Cardanes.
- Cigüeñales.
- Ejes de leva Tornillería de alta resistencia.

2.-Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árbol para trituradoras.
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones.
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración.
- Barras de torsión.
- Mandriles.
- Portaherramientas.

3.-Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

Propiedades mecánicas

En condición de suministro

Resistencia a la tracción	90 - 110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12 %
Reducción de área, Z	min 45 %
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270 - 330 HB

Tratamiento térmico

Recocido blando

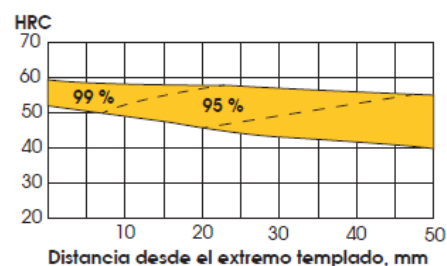
(650 - 700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

Alivio de tensiones

(450 - 650 °C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

Temple

(830 - 850 °C). Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y luego revenir inmediatamente.





Tecniks

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Motores eléctricos

Influencia de la altitud sobre el nivel del mar con la temperatura admisible en el motor.

La temperatura máxima admitida normalmente en los motores es de 40 °C, la altitud limita el valor máximo admitida por los motores en función de la siguiente tabla:

De 0 hasta 1000 metros = 40°C

De 1000 m a 2000 = 35°C

De 2000 m a 3000 = 30 °C

Influencia de la temperatura en la potencia del motor;

Temperatura inferior o igual a 40°C = Potencia nominal del motor.

Temperatura mayor o igual a 45°C = reducir la potencia un 8%

Temperatura mayor o igual a 50°C = reducir la potencia un 17%

Temperatura mayor o igual a 55°C = reducir la potencia un 25%

Temperatura mayores a 55°C = Consultar con el fabricante.

Denominación de la clase de aislamiento en los bobinados de motores eléctricos.

Los bobinados de las máquinas se pueden construir con diversos aislamientos que son definidos por la temperatura máxima que pueden aguantar sin deteriorarse, por tanto, en la placa de características viene indicado mediante una letra y su significado es;

- Aislamiento clase **Y** = Temperatura máxima admisible de 90° C.

- Aislamiento clase **A** = Temperatura máxima admisible de 105° C.

- Aislamiento clase **E** = Temperatura máxima admisible de 120° C.

- Aislamiento clase **B** = Temperatura máxima admisible de 130° C.

- Aislamiento clase **F** = Temperatura máxima admisible de 155° C.

- Aislamiento clase **H** = Temperatura máxima admisible de 180° C.

- Aislamiento clase **C** = Temperatura máxima admisible de más de 180° C.





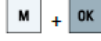


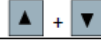
	Detiene el convertidor	
	Una pulsación	Reacción parada OFF1 en modo HAND. Excepción: Este botón está inactivo si el convertidor está configurado para el control desde bornes o USS/MODBUS en RS485 (P0700 = 2 o P0700 = 5) y está en modo AUTO.
	Pulsación doble (<2 s) o pulsación larga (>3 s)	Reacción parada OFF2: El convertidor permite que el motor haga una parada natural sin emplear ningún tiempo de deceleración.
	Inicia el convertidor en modo HAND/JOG/AUTO. Excepción: Este botón está inactivo si el convertidor está configurado para el control desde bornes o USS/MODBUS en RS485 (P0700 = 2 o P0700 = 5) y está en modo AUTO.	
	Botón multifunción	
	Pulsación breve (<2 s)	<ul style="list-style-type: none"> • Entra en el menú de ajuste de parámetros o pasa a la pantalla siguiente del menú de configuración. • Reinicia la edición dígito a dígito del elemento seleccionado. • Vuelve a la visualización de códigos de fallo. • Pulse dos veces en la edición dígito a dígito para descartar los cambios y volver.
	Pulsación larga (<2 s)	<ul style="list-style-type: none"> • Vuelve a la pantalla de estado. • Entra en el menú de configuración.
	Pulsación breve (<2 s)	<ul style="list-style-type: none"> • Cambia entre los valores de estado. • Entra en el modo de edición de valores o cambia al dígito siguiente. • Borra los fallos. • Vuelve a la visualización de códigos de fallo.
	Pulsación larga (<2 s)	<ul style="list-style-type: none"> • Edición rápida de valores o números de parámetro. • Accede a los datos de información de fallo
	Pulse para cambiar entre los modos HAND (con icono de mano), JOG (con icono de mano parpadeante) y AUTO (sin icono). Nota: El modo JOG solo está disponible si el motor está detenido.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Mueve la selección hacia arriba por un menú, o aumenta un valor o una consigna. • Pulse de forma prolongada (>2 s) para desplazarse rápidamente hacia arriba por los valores. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Mueve la selección hacia abajo por un menú, o disminuye un valor o una consigna. • Pulse de forma prolongada (>2 s) para desplazarse rápidamente hacia abajo por los valores. 	
	Invierte la dirección de rotación del motor.	

Figura III.1. Funciones de los botones del variador de frecuencia

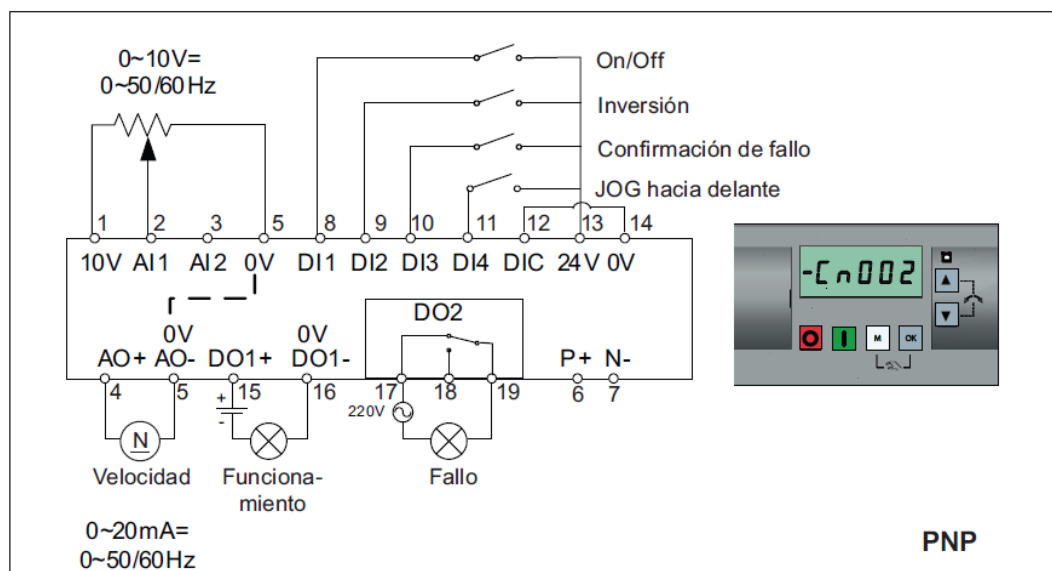


Figura III.2. Configuración de macro de conexión Cn002

PUESTA EN MARCHA RÁPIDA

Para la puesta en marcha rápida del variador de frecuencia se inicia configurando el parámetro P0003 y se finaliza con P3900, ingresando los valores correspondientes de acuerdo a la placa de datos del motor y a los requerimientos de la aplicación.

- **P0003** Nivel de acceso de usuario

Ajustes:

1: Estándar
2: Extendido
3: Experto
4: Reservado

Configuración:

1

- **P0010** Filtro de parámetros para puesta en marcha rápida.

Ajustes:

0: Preparado
1: Guía básica
2: Convertidor
29: Descarga
30: Ajustes de fábrica

Configuración:

1

- **P0100** Selección de unidades

Ajustes:

0: Europa [kW], 50 Hz (valor predeterminado de fábrica)
1: Norteamérica [hp], 60 Hz
2: Norteamérica [kW], 60 Hz

Configuración:

1

- **P00304** Tensión nominal del motor [V]

Rango de ajuste:

De 10 a 2000

ANEXO III	Configuración de los parámetros del variador de frecuencia para la puesta en marcha rápida	3/4
<p>Configuración: 220</p> <ul style="list-style-type: none"> • P00305 Corriente nominal del motor [A] <p>Rango de ajuste: De 0,01 a 10000</p> <p>Configuración: 3,30</p> <ul style="list-style-type: none"> • P0307 Potencia nominal del motor [kW/hp] <p>Ajustes: Si P0100 = 0 o 2, unidad de potencia del motor = [kW] Si P0100 = 1, unidad de potencia del motor = [hp]</p> <p>Configuración: 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • P0310 Frecuencia nominal del motor [Hz] <p>Rango de ajuste: De 12,00 a 599,00</p> <p>Configuración: 60</p> <ul style="list-style-type: none"> • P0311 Velocidad nominal del motor [RPM] <p>Rango de ajuste: De 0 a 40000</p> <p>Configuración: 1695</p> <ul style="list-style-type: none"> • P1080 Frecuencia mínima [Hz] <p>Rango de ajuste: De 0,00 a 599,00 (ajuste predeterminado de fábrica: 0.00)</p> <p>Configuración: 2</p>		

ANEXO III	Configuración de los parámetros del variador de frecuencia para la puesta en marcha rápida	4/4
------------------	--	------------

- **P1082** Frecuencia máxima [Hz]

Rango de ajuste:

De 0,00 a 599,00 (ajuste predeterminado de fábrica: 50.00)

Configuración:

8

- **P1120** Tiempo de aceleración [s]

Rango de ajuste:

De 0,00 a 650,00 (ajuste predeterminado de fábrica: 10.00)

Configuración:

5

- **P1121** Tiempo de deceleración [s]

Rango de ajuste:

De 0,00 a 650,00 (ajuste predeterminado de fábrica: 10.00)

Configuración:

1

- **P3900** Fin de la puesta en marcha rápida

Ajuste:

0: Sin puesta en marcha rápida (ajuste predeterminado de fábrica)

1: Fin de la puesta en marcha rápida con restablecimiento de los ajustes de fábrica

2: Fin de la puesta en marcha rápida

3: Fin de la puesta en marcha rápida solamente para datos del motor

Configuración:

3

CONFIGURACIÓN DE MACRO DE CONEXIÓN Cn 002

Pulsar la tecla **M** hasta que aparezca en la pantalla el parámetro –Cn 000 luego desplazar los ajustes y seleccionar Cn 002 presionando **OK**. Presionar nuevamente la tecla **M** hasta que la pantalla indique que se ha guardado la configuración.



产品合格证

产品名称: 扭矩传感器 编号: 1905215
型号: DYJN-101 量程: 100N.M

性能检验结果

输出灵敏度: 1.000 mv/v 零点平衡: $\pm 1\%F.S$
综合误差: 0.1 %F.S 绝缘电阻 $\geq 2000M\Omega$
供电电压: 5-15 V 输出阻抗: 350 Ω

执行标准: GB/T 7551-2008

检验结论: 经检验, 该产品满足国家标准, 准予出厂!

检验员: _____

检定日期: _____

传感器接线方式:

电源: +红线 - 黑线
信号: +绿线 - 白线
(拉力: +白线 - 绿线)
屏蔽线: 黄线/银线



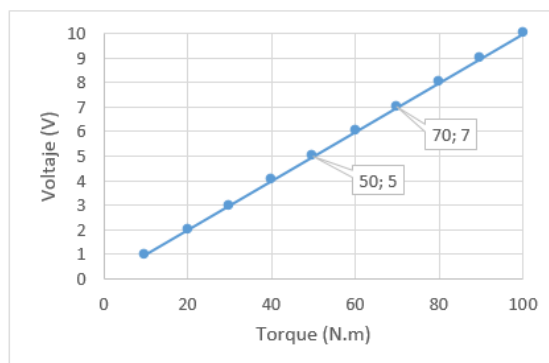
注意:

- 1、本公司保证产品的性能指标满足国家有关记录标准标定地点在安徽蚌埠淮上区, 重力加速度为 $9.7954m/s^2$
- 2、电缆长度会影响传感器的性能



Figura IV.1. Datos técnicos del sensor de torque

Voltaje (V)	Torque (N.m)
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5
60	6
70	7
80	8
90	9
100	10



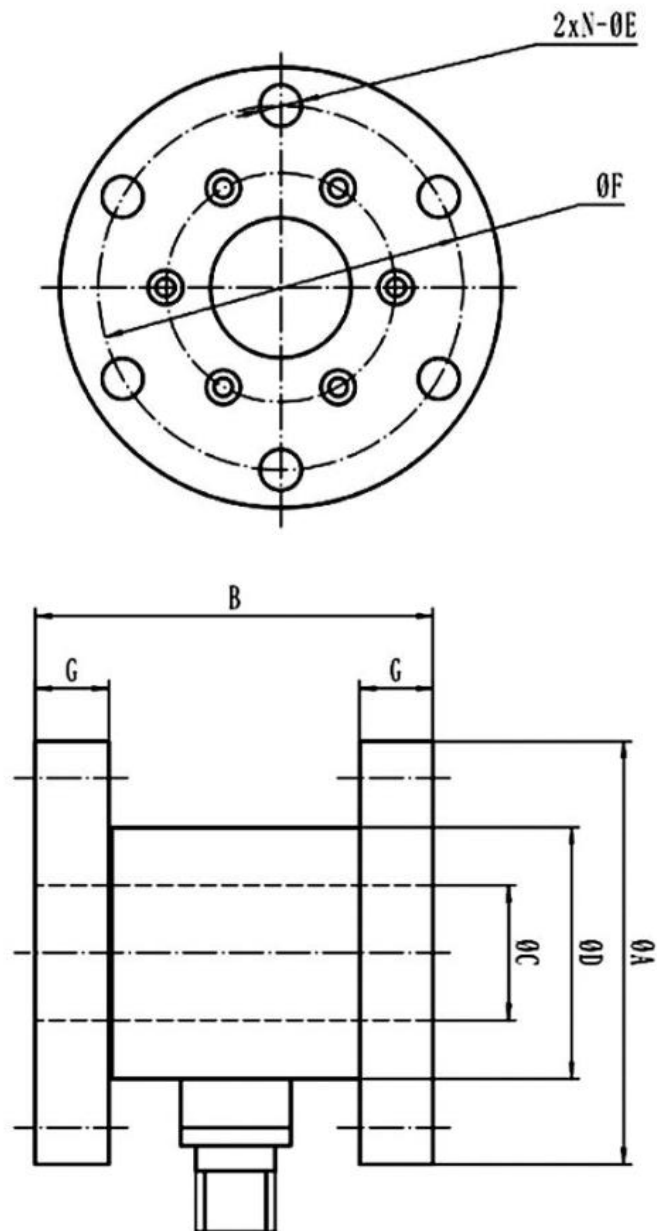
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$y = b + mx$$

Despejando x:

$$x = \frac{y - b}{m}$$

Figura IV.2. Recta de calibración



Testing Ranges	A	B	C	D	E	F	N	G
5-50N.m	69	65	22	41	6.5	57	6	12
100-300N.m	69	65	22	41	6.5	57	6	12
500-1000N.m	98	80	30	60	8.5	80	8	15
2000-5000N.m	125	96	45	79	13	105	8	20



Figura V.1. Análisis termográfico con una temperatura promedio inicial de 13,1°C



Figura V.2. Análisis termográfico con una temperatura promedio de 14°C

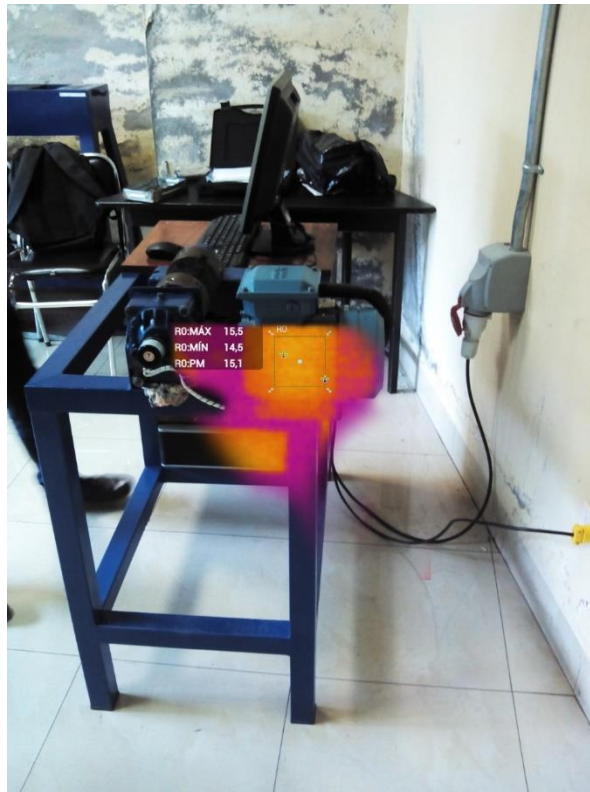


Figura V.3. Análisis termográfico con una temperatura promedio de 15,1°C



Figura V.4. Análisis termográfico con una temperatura promedio de 15,5°C

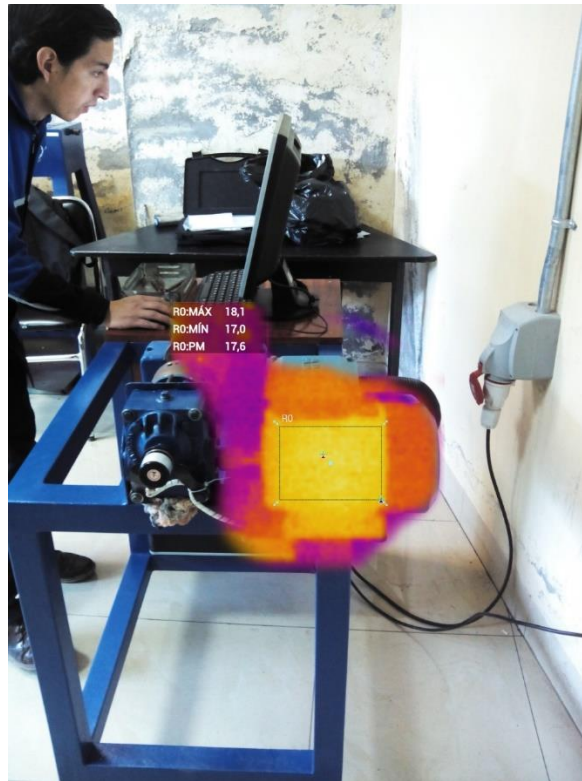


Figura V.5. Análisis termográfico con una temperatura promedio de 17,6°C

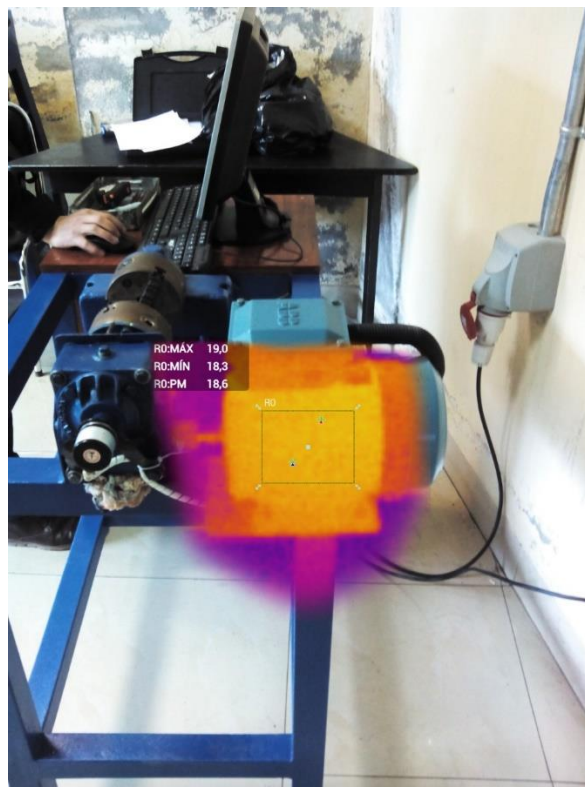


Figura V.6. Análisis termográfico con una temperatura promedio de 18,6°C

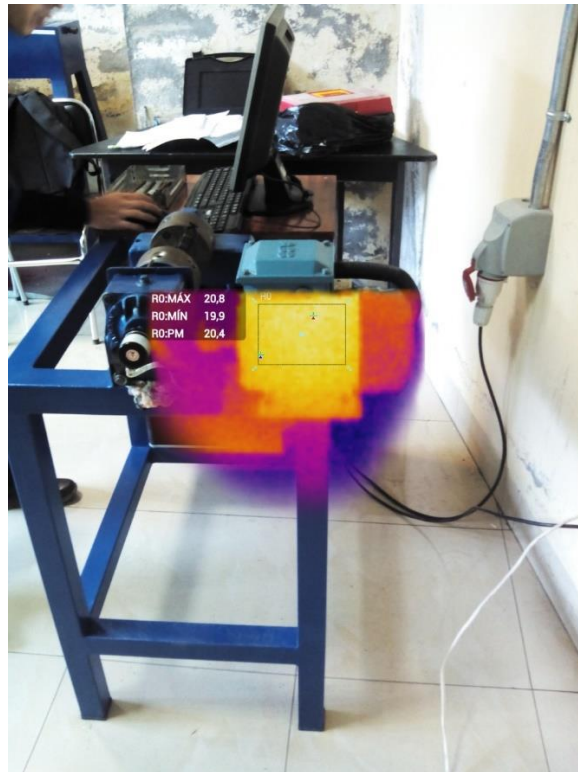


Figura V.7. Análisis termográfico con una temperatura promedio de 20,4°C

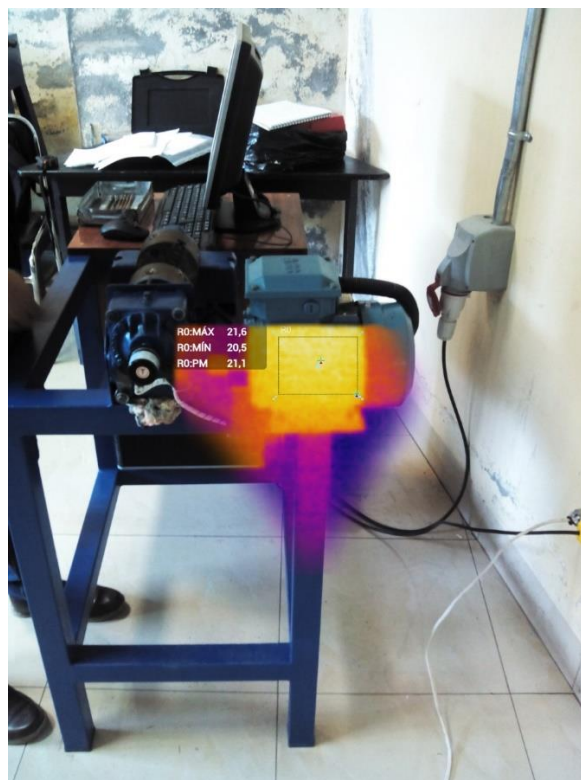


Figura V.8. Análisis termográfico con una temperatura promedio final de 21,1°C



Figura VI.1. Análisis termográfico de la probeta antes del ensayo con una temperatura de 15,3°C

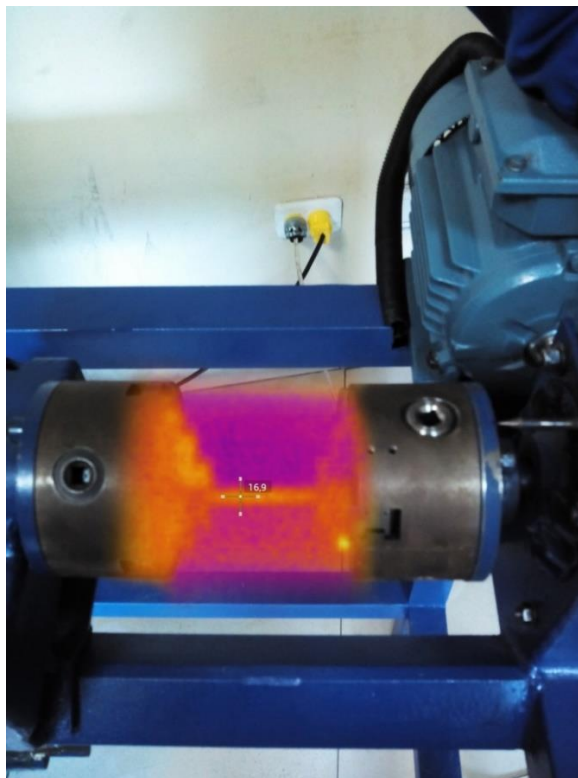


Figura VI.2. Análisis termográfico de la probeta durante el ensayo con una temperatura de 16,9°C



Figura VII.1. Estado anterior de la máquina de torsión



Figura VII.2. Proceso de soldadura



Figura VII.3. Pintado de la estructura



Figura VII.4. Instalación de componentes internos de la máquina de torsión



Figura VII.5. Acoplamiento del sensor de torque



Figura VII.6. Instalaciones eléctricas y electrónicas




Figura VII.7. Elaboración de probetas para los ensayos de torsión



Figura VII.8. Rediseño de la máquina de torsión

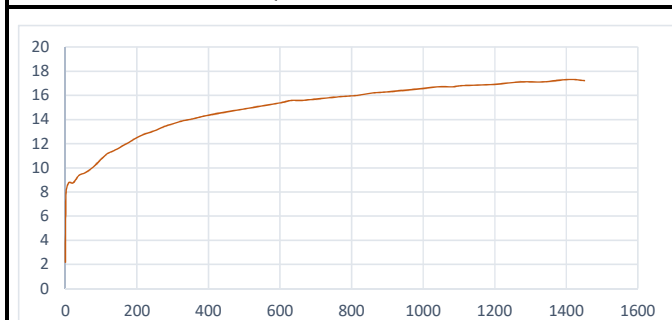
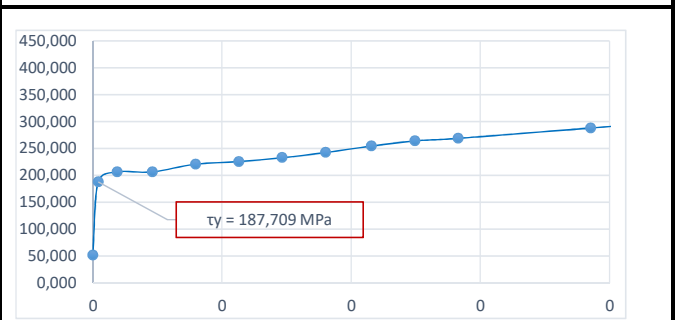
INFORMES DE LOS ENSAYOS DE TORSIÓN

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS


TIPO DE MATERIAL	ACERO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	187,709	INERCIA POLAR (mm ⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	2,193	0	2193		0	51,708
2	7,961	0,035	7961	89624	0,002	187,709
9	8,758	0,157	8758	21910	0,009	206,501
22	8,758	0,384	8758	8963	0,023	206,501
38	9,369	0,663	9369	5551	0,040	220,907
54	9,572	0,942	9572	3991	0,057	225,693
70	9,878	1,222	9878	3177	0,073	232,909
86	10,285	1,501	10285	2693	0,090	242,505
103	10,794	1,798	10794	2360	0,108	254,506
119	11,202	2,077	11202	2120	0,125	264,126
135	11,405	2,356	11405	1902	0,141	268,913
184	12,22	3,211	12220	1495	0,193	288,129
216	12,729	3,770	12729	1327	0,226	300,131
247	13,035	4,311	13035	1188	0,259	307,346
279	13,442	4,869	13442	1085	0,292	316,942
324	13,849	5,655	13849	962	0,339	326,539
356	14,053	6,213	14053	889	0,373	331,349
401	14,358	6,999	14358	806	0,420	338,540
479	14,766	8,360	14766	694	0,502	348,160
540	15,071	9,425	15071	628	0,565	355,352
601	15,377	10,489	15377	576	0,629	362,567
632	15,58	11,030	15580	555	0,662	367,353
662	15,58	11,554	15580	530	0,693	367,353
769	15,886	13,422	15886	465	0,805	374,568
814	15,988	14,207	15988	442	0,852	376,973
859	16,191	14,992	16191	424	0,900	381,760
904	16,293	15,778	16293	406	0,947	384,165
979	16,497	17,087	16497	379	1,025	388,975
1039	16,701	18,134	16701	362	1,088	393,785
1082	16,701	18,884	16701	348	1,133	393,785
1111	16,802	19,391	16802	341	1,163	396,166
1199	16,904	20,926	16904	317	1,256	398,571
1274	17,108	22,235	17108	302	1,334	403,381
1334	17,108	23,283	17108	289	1,397	403,381
1408	17,312	24,574	17312	277	1,474	408,191
1451	17,21	25,325	17210	267	1,519	405,786

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN ANGULAR


OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación	N.- 2	
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	232,909	INERCIA POLAR (mm ⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	2,961	0	2961		0	69,816
4	7,878	0,070	7878	44345	0,004	185,752
18	10,183	0,314	10183	12738	0,019	240,100
45	11,609	0,785	11609	5809	0,047	273,723
83	12,933	1,449	12933	3508	0,087	304,941
133	14,358	2,321	14358	2431	0,139	338,540
191	15,275	3,334	15275	1801	0,200	360,162
248	15,886	4,328	15886	1442	0,260	374,568
306	16,497	5,341	16497	1214	0,320	388,975
364	17,006	6,353	17006	1052	0,381	400,976
421	17,108	7,348	17108	915	0,441	403,381
477	17,413	8,325	17413	822	0,500	410,573
535	17,821	9,338	17821	750	0,560	420,193
592	18,024	10,332	18024	686	0,620	424,979
648	18,228	11,310	18228	633	0,679	429,789
704	18,33	12,287	18330	586	0,737	432,194
761	18,635	13,282	18635	551	0,797	439,386
817	18,737	14,259	18737	516	0,856	441,791
875	18,941	15,272	18941	487	0,916	446,601
931	18,737	16,249	18737	453	0,975	441,791
986	19,348	17,209	19348	442	1,033	456,197
1042	19,145	18,186	19145	414	1,091	451,411
1100	19,45	19,199	19450	398	1,152	458,602
1156	19,348	20,176	19348	377	1,211	456,197
1211	19,45	21,136	19450	362	1,268	458,602
1269	19,552	22,148	19552	347	1,329	461,007
1325	19,654	23,126	19654	334	1,388	463,412
1381	19,756	24,103	19756	322	1,446	465,817

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

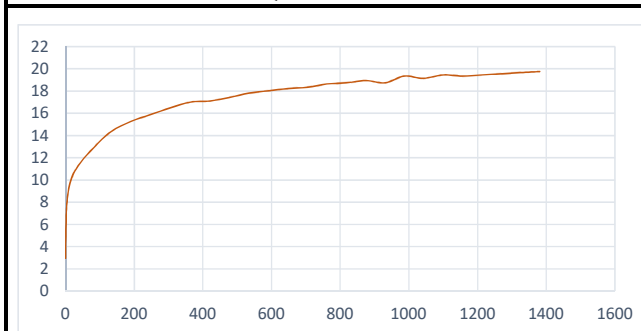
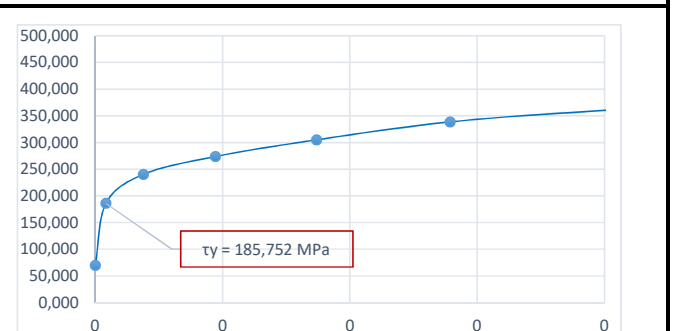



DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN ANGULAR



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación	N.- 3	
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	232,331	INERCIA POLAR (mm⁴)	118,9619134
DIÁMETRO DE ENSAYO	5,9 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	2,58	0	2580		0	63,978
2	8,369	0,035	8369	100769	0,002	207,533
13	9,674	0,227	9674	17920	0,013	239,894
34	10,081	0,593	10081	7140	0,035	249,987
56	10,794	0,977	10794	4642	0,058	267,668
79	11,507	1,379	11507	3508	0,081	285,349
101	12,118	1,763	12118	2889	0,104	300,500
122	12,525	2,129	12525	2472	0,126	310,593
146	13,136	2,548	13136	2167	0,150	325,745
167	13,544	2,915	13544	1953	0,172	335,862
189	13,951	3,299	13951	1778	0,195	345,955
211	14,257	3,683	14257	1627	0,217	353,543
232	14,562	4,049	14562	1512	0,239	361,106
254	14,766	4,433	14766	1400	0,262	366,165
275	14,969	4,800	14969	1311	0,283	371,199
297	15,173	5,184	15173	1230	0,306	376,258
319	15,377	5,568	15377	1161	0,328	381,317
340	15,479	5,934	15479	1096	0,350	383,846
362	15,58	6,318	15580	1036	0,373	386,351
382	15,886	6,667	15886	1001	0,393	393,939
403	16,09	7,034	16090	961	0,415	398,997
425	16,191	7,418	16191	917	0,438	401,502
446	16,293	7,784	16293	880	0,459	404,031
468	16,395	8,168	16395	844	0,482	406,561
488	16,599	8,517	16599	819	0,503	411,620
509	16,599	8,884	16599	785	0,524	411,620
529	16,802	9,233	16802	765	0,545	416,654
551	16,904	9,617	16904	739	0,567	419,183
572	17,006	9,983	17006	716	0,589	421,712
592	17,006	10,332	17006	692	0,610	421,712
614	17,108	10,716	17108	671	0,632	424,242
634	17,21	11,065	17210	654	0,653	426,771
655	17,21	11,432	17210	633	0,674	426,771
677	17,312	11,816	17312	616	0,697	429,300
697	17,413	12,165	17413	602	0,718	431,805
718	17,312	12,531	17312	581	0,739	429,300
738	17,515	12,881	17515	572	0,760	434,334
760	17,617	13,265	17617	558	0,783	436,864
779	17,719	13,596	17719	548	0,802	439,393
801	17,719	13,980	17719	533	0,825	439,393
821	17,821	14,329	17821	523	0,845	441,923
842	17,923	14,696	17923	513	0,867	444,452

864	17,923	15,080	17923	500	0,890	444,452
884	17,923	15,429	17923	488	0,910	444,452
905	17,923	15,795	17923	477	0,932	444,452
925	18,024	16,144	18024	469	0,953	446,956
947	18,126	16,528	18126	461	0,975	449,486
967	18,126	16,877	18126	451	0,996	449,486
988	18,228	17,244	18228	444	1,017	452,015
1010	18,33	17,628	18330	437	1,040	454,545
1030	18,33	17,977	18330	429	1,061	454,545
1051	18,432	18,343	18432	422	1,082	457,074
1071	18,33	18,692	18330	412	1,103	454,545
1093	18,534	19,076	18534	408	1,126	459,603
1112	18,33	19,408	18330	397	1,145	454,545
1134	18,534	19,792	18534	394	1,168	459,603
1154	18,534	20,141	18534	387	1,188	459,603
1175	18,33	20,508	18330	376	1,210	454,545
1195	18,635	20,857	18635	376	1,231	462,108
1217	18,635	21,241	18635	369	1,253	462,108
1237	18,635	21,590	18635	363	1,274	462,108
1258	18,737	21,956	18737	359	1,295	464,637
1278	16,09	22,305	16090	303	1,316	398,997

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

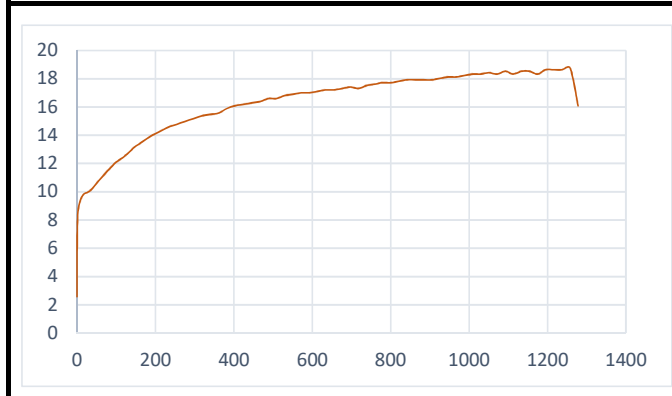
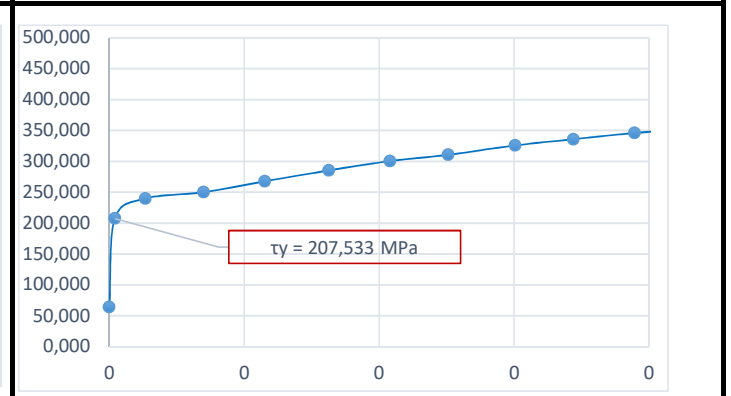


DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN ANGULAR



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	141,660	INERCIA POLAR (mm⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	49 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	2,48	0	2480		0	58,475
2	6,008	0,035	6008	66285	0,002	141,660
13	9,425	0,227	9425	15997	0,014	222,227
31	16,228	0,541	16228	11551	0,033	382,632
52	18,126	0,908	18126	7692	0,056	427,384
72	18,228	1,257	18228	5586	0,077	429,789
94	18,33	1,641	18330	4303	0,100	432,194
113	18,432	1,972	18432	3599	0,121	434,599
133	18,33	2,321	18330	3041	0,142	432,194
155	18,635	2,705	18635	2653	0,166	439,386
175	18,635	3,054	18635	2350	0,187	439,386
196	18,737	3,421	18737	2109	0,209	441,791
216	18,737	3,770	18737	1914	0,231	441,791
236	18,737	4,119	18737	1752	0,252	441,791
257	18,839	4,485	18839	1617	0,275	444,196
277	18,941	4,835	18941	1509	0,296	446,601
299	18,839	5,219	18839	1390	0,320	444,196
319	18,941	5,568	18941	1310	0,341	446,601
340	19,043	5,934	19043	1236	0,363	449,006
360	19,043	6,283	19043	1167	0,385	449,006
380	19,145	6,632	19145	1112	0,406	451,411
401	19,145	6,999	19145	1053	0,428	451,411
421	19,145	7,348	19145	1003	0,450	451,411
441	19,145	7,697	19145	958	0,471	451,411
463	19,145	8,081	19145	912	0,495	451,411
482	19,246	8,412	19246	881	0,515	453,792
502	19,348	8,762	19348	850	0,536	456,197
524	19,348	9,146	19348	815	0,560	456,197
544	19,45	9,495	19450	789	0,581	458,602
565	19,552	9,861	19552	764	0,604	461,007
585	19,45	10,210	19450	734	0,625	458,602
605	19,552	10,559	19552	713	0,646	461,007
626	19,552	10,926	19552	689	0,669	461,007
646	19,552	11,275	19552	668	0,690	461,007
666	19,552	11,624	19552	648	0,712	461,007
688	19,552	12,008	19552	627	0,735	461,007
707	19,552	12,339	19552	610	0,755	461,007
729	19,552	12,723	19552	592	0,779	461,007
749	19,654	13,073	19654	579	0,800	463,412
769	19,756	13,422	19756	567	0,822	465,817
788	19,756	13,753	19756	553	0,842	465,817
810	19,756	14,137	19756	538	0,866	465,817

830	19,756	14,486	19756	525	0,887	465,817
850	19,756	14,835	19756	513	0,908	465,817
869	19,857	15,167	19857	504	0,929	468,198
891	19,857	15,551	19857	492	0,952	468,198
911	19,857	15,900	19857	481	0,973	468,198
931	19,959	16,249	19959	473	0,995	470,603
950	20,061	16,581	20061	466	1,015	473,008
972	19,959	16,965	19959	453	1,039	470,603
992	20,061	17,314	20061	446	1,060	473,008
1012	19,959	17,663	19959	435	1,081	470,603
1031	19,959	17,994	19959	427	1,102	470,603
1051	19,857	18,343	19857	417	1,123	468,198
1071	20,061	18,692	20061	413	1,144	473,008
1091	19,959	19,042	19959	404	1,166	470,603
1111	20,265	19,391	20265	402	1,187	477,819
1130	20,163	19,722	20163	394	1,207	475,413
1152	20,265	20,106	20265	388	1,231	477,819
1172	18,228	20,455	18228	343	1,252	429,789

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

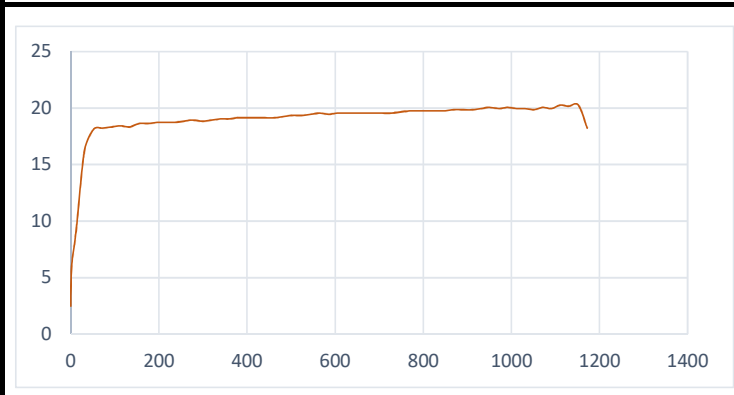
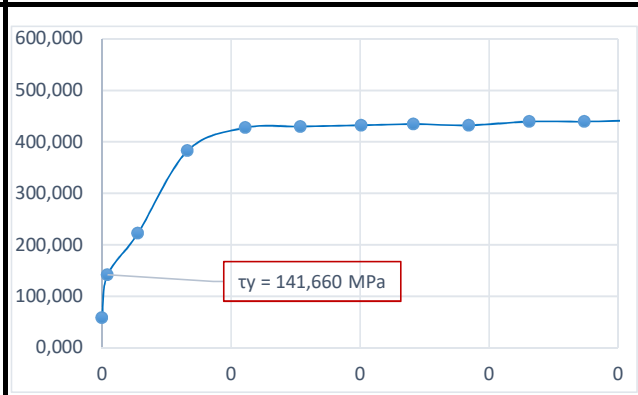


DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN ANGULAR



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	177,688	INERCIA POLAR (mm⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	1,452	0	1452		0	34,236
2	7,536	0,035	7536	84840	0,002	177,688
14	10,489	0,244	10489	16869	0,015	247,315
34	11,202	0,593	11202	7418	0,036	264,126
58	12,016	1,012	12016	4665	0,061	283,319
79	12,933	1,379	12933	3686	0,083	304,941
101	13,646	1,763	13646	3042	0,106	321,752
122	14,257	2,129	14257	2631	0,128	336,159
144	14,664	2,513	14664	2293	0,151	345,755
166	14,969	2,897	14969	2030	0,174	352,947
187	15,479	3,264	15479	1864	0,196	364,972
209	15,886	3,648	15886	1711	0,219	374,568
230	16,191	4,014	16191	1585	0,241	381,760
252	16,599	4,398	16599	1483	0,264	391,380
272	16,904	4,747	16904	1399	0,285	398,571
293	17,006	5,114	17006	1307	0,307	400,976
315	17,21	5,498	17210	1230	0,330	405,786
337	17,413	5,882	17413	1163	0,353	410,573
356	17,617	6,213	17617	1114	0,373	415,383
378	17,719	6,597	17719	1055	0,396	417,788
398	17,923	6,946	17923	1014	0,417	422,598
419	18,126	7,313	18126	974	0,439	427,384
441	18,432	7,697	18432	941	0,462	434,599
461	18,33	8,046	18330	895	0,483	432,194
482	18,432	8,412	18432	861	0,505	434,599
502	18,635	8,762	18635	836	0,526	439,386
524	18,534	9,146	18534	796	0,549	437,004
544	18,839	9,495	18839	780	0,570	444,196
565	18,941	9,861	18941	755	0,592	446,601
585	19,043	10,210	19043	733	0,613	449,006
607	19,145	10,594	19145	710	0,636	451,411
626	19,246	10,926	19246	692	0,656	453,792
646	19,348	11,275	19348	674	0,676	456,197
668	19,348	11,659	19348	652	0,700	456,197
688	19,45	12,008	19450	637	0,720	458,602
707	19,552	12,339	19552	623	0,740	461,007
727	19,552	12,689	19552	606	0,761	461,007
747	19,654	13,038	19654	592	0,782	463,412
767	19,857	13,387	19857	583	0,803	468,198
788	19,756	13,753	19756	564	0,825	465,817
808	19,857	14,102	19857	553	0,846	468,198
828	19,959	14,451	19959	543	0,867	470,603

848	19,959	14,800	19959	530	0,888	470,603
869	20,061	15,167	20061	520	0,910	473,008
889	20,163	15,516	20163	511	0,931	475,413
909	20,163	15,865	20163	499	0,952	475,413
931	20,265	16,249	20265	490	0,975	477,819
950	20,265	16,581	20265	480	0,995	477,819
970	20,367	16,930	20367	473	1,016	480,224
990	20,57	17,279	20570	468	1,037	485,010
1010	20,468	17,628	20468	456	1,058	482,605
1030	20,468	17,977	20468	447	1,079	482,605
1051	20,57	18,343	20570	441	1,101	485,010
1071	20,57	18,692	20570	432	1,122	485,010
1091	20,57	19,042	20570	425	1,142	485,010
1111	20,672	19,391	20672	419	1,163	487,415
1130	20,57	19,722	20570	410	1,183	485,010
1152	20,774	20,106	20774	406	1,206	489,820
1172	20,774	20,455	20774	399	1,227	489,820
1192	20,774	20,804	20774	392	1,248	489,820
1211	20,774	21,136	20774	386	1,268	489,820
1231	20,978	21,485	20978	384	1,289	494,630
1253	20,978	21,869	20978	377	1,312	494,630
1273	20,876	22,218	20876	369	1,333	492,225
1292	16,497	22,550	16497	287	1,353	388,975

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

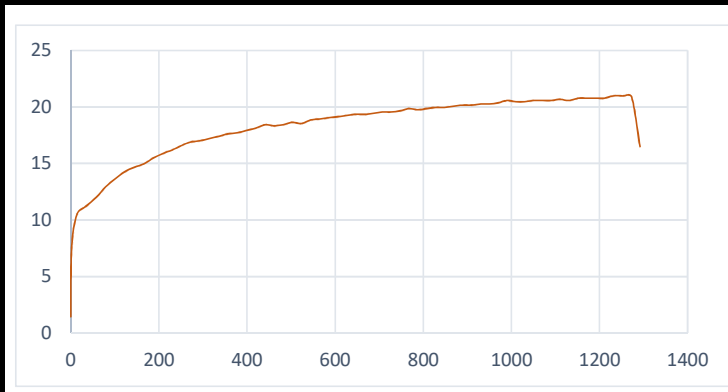
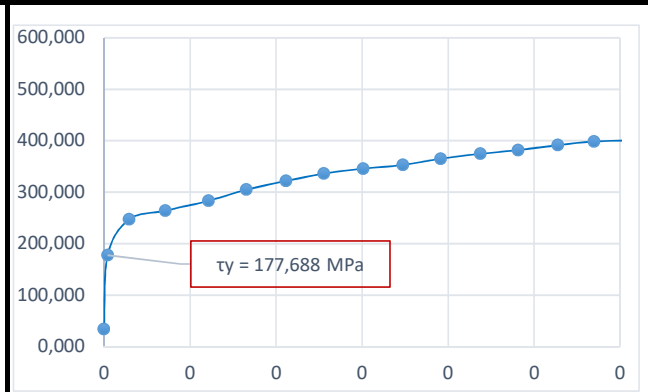


DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN ANGULAR



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1018	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	184,384	INERCIA POLAR (mm⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	4,786	0	4786		0	112,847
2	7,82	0,035	7820	88037	0,002	184,384
4	19,452	0,070	19452	109494	0,004	458,649
7	20,163	0,122	20163	64855	0,007	475,413
18	21,079	0,314	21079	26367	0,019	497,011
32	21,079	0,559	21079	14832	0,034	497,011
47	20,978	0,820	20978	10050	0,049	494,630
59	20,978	1,030	20978	8006	0,062	494,630
74	20,978	1,292	20978	6383	0,077	494,630
88	20,978	1,536	20978	5367	0,092	494,630
101	20,978	1,763	20978	4677	0,106	494,630
115	20,978	2,007	20978	4107	0,120	494,630
130	20,978	2,269	20978	3633	0,136	494,630
144	20,978	2,513	20978	3280	0,151	494,630
157	21,079	2,740	21079	3023	0,164	497,011
171	20,978	2,985	20978	2762	0,179	494,630
185	21,079	3,229	21079	2565	0,194	497,011
202	20,978	3,526	20978	2338	0,212	494,630
214	20,978	3,735	20978	2207	0,224	494,630
225	20,978	3,927	20978	2099	0,236	494,630
239	20,978	4,171	20978	1976	0,250	494,630
254	20,978	4,433	20978	1860	0,266	494,630
266	20,978	4,643	20978	1776	0,279	494,630
281	20,978	4,904	20978	1681	0,294	494,630
293	20,978	5,114	20978	1612	0,307	494,630
308	20,978	5,376	20978	1534	0,323	494,630
320	20,876	5,585	20876	1469	0,335	492,225
335	20,978	5,847	20978	1410	0,351	494,630
347	20,876	6,056	20876	1355	0,363	492,225
362	20,876	6,318	20876	1298	0,379	492,225
374	20,978	6,528	20978	1263	0,392	494,630
389	20,978	6,789	20978	1214	0,407	494,630
401	20,978	6,999	20978	1178	0,420	494,630
416	20,978	7,261	20978	1135	0,436	494,630
430	20,978	7,505	20978	1098	0,450	494,630
443	19,959	7,732	19959	1014	0,464	470,603

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

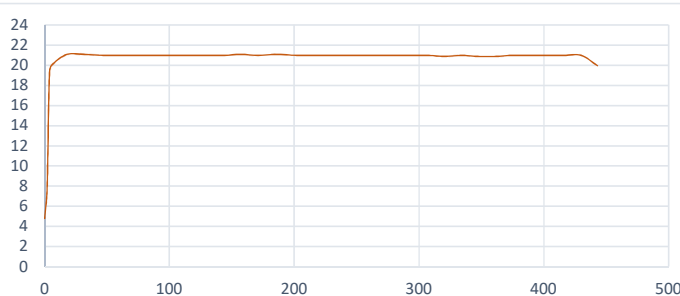
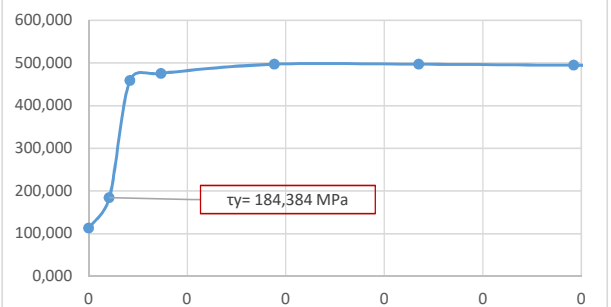



DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación	N.- 5	
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1018	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	213,197	INERCIA POLAR (mm ⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	49 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	3,666	0	3666		0	86,439
2	9,042	0,035	9042	99758	0,002	213,197
4	17,413	0,070	17413	96057	0,004	410,573
14	19,348	0,244	19348	30495	0,015	456,197
32	19,857	0,559	19857	13692	0,034	468,198
52	19,552	0,908	19552	8297	0,056	461,007
74	19,246	1,292	19246	5739	0,079	453,792
94	19,45	1,641	19450	4566	0,100	458,602
115	19,145	2,007	19145	3673	0,123	451,411
135	19,246	2,356	19246	3146	0,144	453,792
157	19,246	2,740	19246	2705	0,168	453,792
176	19,348	3,072	19348	2426	0,188	456,197
196	19,348	3,421	19348	2178	0,209	456,197
218	19,246	3,805	19246	1948	0,233	453,792
238	19,246	4,154	19246	1784	0,254	453,792
257	19,145	4,485	19145	1644	0,275	451,411
279	19,246	4,869	19246	1522	0,298	453,792
299	19,246	5,219	19246	1420	0,320	453,792
319	19,145	5,568	19145	1324	0,341	451,411
340	19,145	5,934	19145	1242	0,363	451,411
340	19,145	5,934	19145	1242	0,363	451,411
360	16,599	6,283	16599	1017	0,385	391,380

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

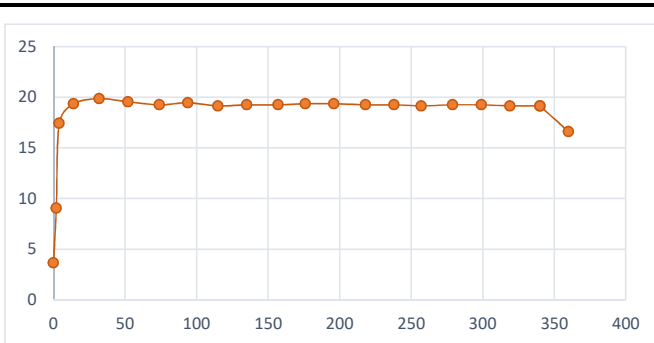
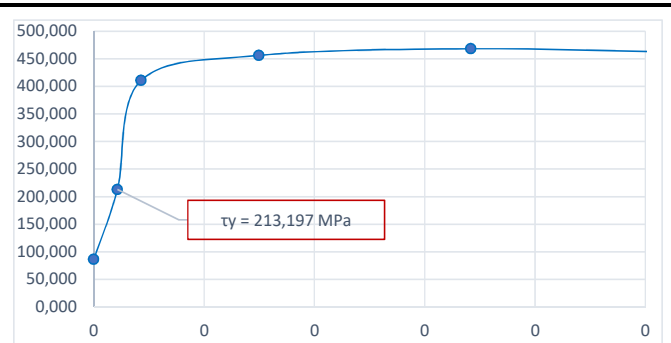


DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1045	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	204,756	INERCIA POLAR (mm⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	2,277	0	2277		0	53,688
2	8,684	0,035	8684	97764	0,002	204,756
5	14,204	0,087	14204	63963	0,005	334,909
7	17,108	0,122	17108	55029	0,007	403,381
13	20,672	0,227	20672	35804	0,014	487,415
31	21,792	0,541	21792	15828	0,032	513,823
50	22,403	0,873	22403	10088	0,052	528,229
70	22,607	1,222	22607	7272	0,073	533,039
90	22,811	1,571	22811	5707	0,094	537,849
108	23,014	1,885	23014	4798	0,113	542,636
128	23,116	2,234	23116	4066	0,134	545,041
148	23,218	2,583	23218	3532	0,155	547,446
166	23,523	2,897	23523	3191	0,174	554,637
185	23,523	3,229	23523	2863	0,194	554,637
203	23,625	3,543	23625	2620	0,213	557,042
223	23,625	3,892	23625	2385	0,234	557,042
243	23,625	4,241	23625	2189	0,254	557,042
261	23,727	4,555	23727	2047	0,273	559,447
281	23,829	4,904	23829	1909	0,294	561,852
299	23,931	5,219	23931	1802	0,313	564,257
319	23,931	5,568	23931	1689	0,334	564,257
338	24,033	5,899	24033	1601	0,354	566,662
356	24,033	6,213	24033	1520	0,373	566,662
376	24,033	6,562	24033	1439	0,394	566,662
394	24,236	6,877	24236	1385	0,413	571,449
414	24,134	7,226	24134	1313	0,434	569,044
432	24,236	7,540	24236	1263	0,452	571,449
452	24,236	7,889	24236	1207	0,473	571,449
470	24,338	8,203	24338	1166	0,492	573,854
490	24,338	8,552	24338	1118	0,513	573,854
508	24,44	8,866	24440	1083	0,532	576,259
527	24,44	9,198	24440	1044	0,552	576,259

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

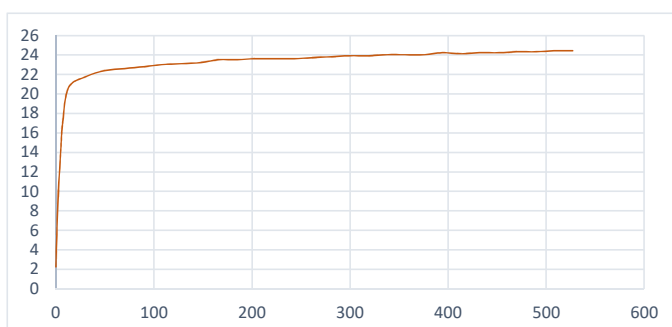
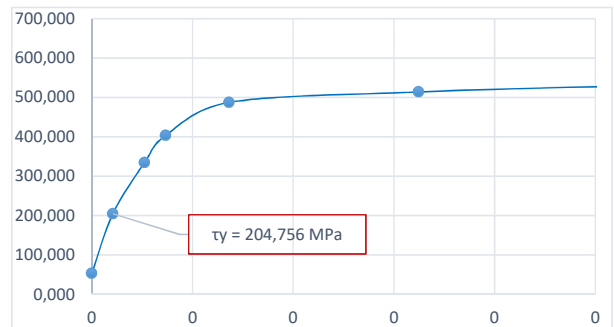


DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación	N.- 2	
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1045	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	217,130	INERCIA POLAR (mm4)	118,9619134
DIÁMETRO DE ENSAYO	5,9 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	2,851	0	2851		0	70,699
2	8,756	0,035	8756	105429	0,002	217,130
6	12,438	0,105	12438	49921	0,006	308,436
14	18,126	0,244	18126	31179	0,014	449,486
32	18,839	0,559	18839	14177	0,033	467,167
54	19,552	0,942	19552	8719	0,056	484,848
74	19,857	1,292	19857	6462	0,076	492,411
94	20,061	1,641	20061	5139	0,097	497,470
113	20,163	1,972	20163	4297	0,116	499,999
133	20,367	2,321	20367	3688	0,137	505,058
153	20,367	2,670	20367	3206	0,158	505,058
173	20,468	3,019	20468	2849	0,178	507,562
194	20,57	3,386	20570	2553	0,200	510,092
214	20,672	3,735	20672	2326	0,220	512,621
234	20,774	4,084	20774	2138	0,241	515,151
254	20,774	4,433	20774	1970	0,262	515,151
274	20,774	4,782	20774	1826	0,282	515,151
293	20,774	5,114	20774	1707	0,302	515,151
313	20,876	5,463	20876	1606	0,322	517,680
333	20,876	5,812	20876	1510	0,343	517,680
353	20,978	6,161	20978	1431	0,363	520,209
373	21,079	6,510	21079	1361	0,384	522,714
392	21,079	6,842	21079	1295	0,404	522,714
412	21,079	7,191	21079	1232	0,424	522,714
432	21,181	7,540	21181	1181	0,445	525,243
452	21,181	7,889	21181	1128	0,465	525,243
472	21,181	8,238	21181	1081	0,486	525,243
491	21,181	8,570	21181	1039	0,506	525,243
511	21,283	8,919	21283	1003	0,526	527,773
531	21,385	9,268	21385	970	0,547	530,302
553	21,487	9,652	21487	936	0,569	532,831
572	21,385	9,983	21385	900	0,589	530,302
592	21,487	10,332	21487	874	0,610	532,831
612	21,487	10,681	21487	845	0,630	532,831

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

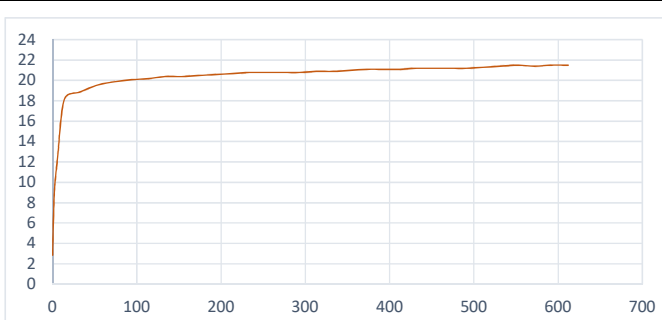
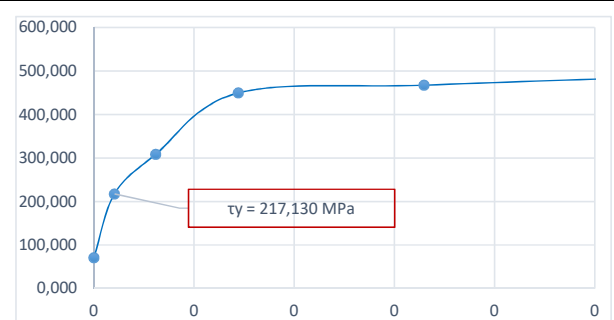



DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación	N.- 3	
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1045	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	198,978	INERCIA POLAR (mm ⁴)	118,9619134
DIÁMETRO DE ENSAYO	5,9 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	1,12	0	1120		0	27,774
2	8,024	0,035	8024	96615	0,002	198,978
7	19,552	0,122	19552	67263	0,007	484,848
22	21,181	0,384	21181	23185	0,023	525,243
41	21,894	0,716	21894	12860	0,042	542,924
63	22,2	1,100	22200	8486	0,065	550,512
83	22,505	1,449	22505	6530	0,085	558,076
101	22,709	1,763	22709	5415	0,104	563,134
121	22,811	2,112	22811	4540	0,125	565,664
140	23,014	2,443	23014	3959	0,144	570,698
160	23,116	2,793	23116	3479	0,165	573,227
178	23,218	3,107	23218	3141	0,183	575,757
198	23,32	3,456	23320	2836	0,204	578,286
218	23,32	3,805	23320	2576	0,224	578,286
238	23,422	4,154	23422	2370	0,245	580,815
256	23,422	4,468	23422	2203	0,264	580,815
275	23,523	4,800	23523	2060	0,283	583,320
293	23,523	5,114	23523	1933	0,302	583,320
313	23,523	5,463	23523	1810	0,322	583,320
333	23,625	5,812	23625	1708	0,343	585,849
351	23,625	6,126	23625	1621	0,361	585,849
371	23,829	6,475	23829	1547	0,382	590,908
391	23,829	6,824	23829	1468	0,403	590,908
409	23,829	7,138	23829	1403	0,421	590,908
428	23,931	7,470	23931	1346	0,441	593,437
448	23,931	7,819	23931	1286	0,461	593,437
468	24,033	8,168	24033	1237	0,482	595,967
486	24,033	8,482	24033	1191	0,500	595,967
506	24,134	8,831	24134	1149	0,521	598,471
524	24,134	9,146	24134	1109	0,540	598,471
544	24,236	9,495	24236	1073	0,560	601,001
563	24,338	9,826	24338	1041	0,580	603,530
581	24,338	10,140	24338	1009	0,598	603,530
601	24,338	10,489	24338	975	0,619	603,530
619	24,338	10,804	24338	947	0,637	603,530

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

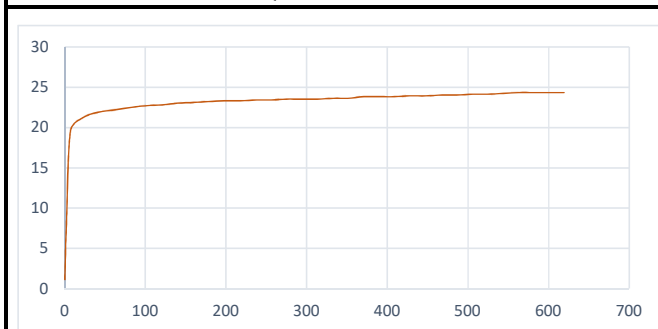
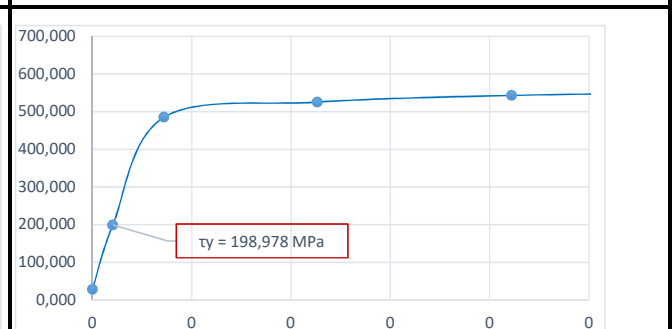


DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:

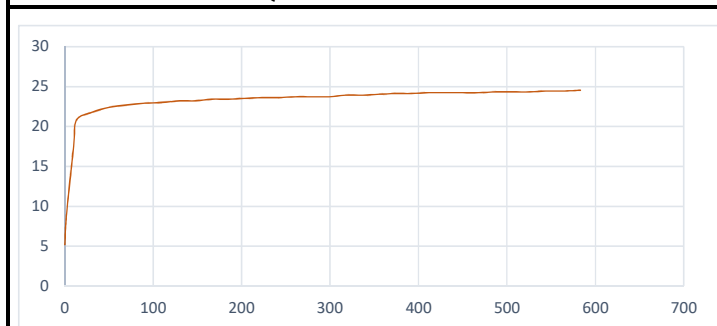
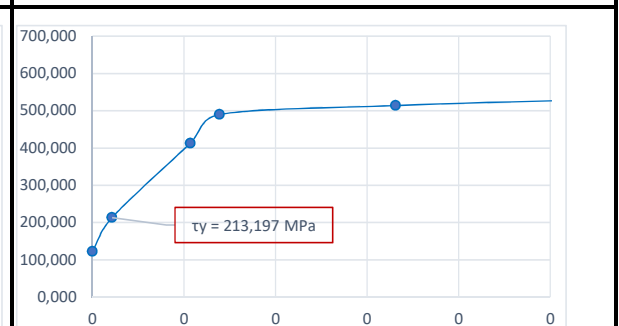
APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1045	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	213,197	INERCIA POLAR (mm ⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	49 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	5,193	0	5193		0	122,443
2	9,042	0,035	9042	99758	0,002	213,197
10	17,515	0,175	17515	38648	0,011	412,978
13	20,774	0,227	20774	35261	0,014	489,820
31	21,792	0,541	21792	15511	0,033	513,823
50	22,403	0,873	22403	9887	0,053	528,229
70	22,709	1,222	22709	7158	0,075	535,444
90	22,912	1,571	22912	5617	0,096	540,231
110	23,014	1,920	23014	4617	0,118	542,636
130	23,218	2,269	23218	3941	0,139	547,446
148	23,218	2,583	23218	3462	0,158	547,446
166	23,422	2,897	23422	3113	0,177	552,256
185	23,422	3,229	23422	2794	0,198	552,256
203	23,523	3,543	23523	2557	0,217	554,637
223	23,625	3,892	23625	2338	0,238	557,042
241	23,625	4,206	23625	2163	0,258	557,042
261	23,727	4,555	23727	2006	0,279	559,447
279	23,727	4,869	23727	1877	0,298	559,447
299	23,727	5,219	23727	1751	0,320	559,447
317	23,931	5,533	23931	1666	0,339	564,257
337	23,931	5,882	23931	1567	0,360	564,257
355	24,033	6,196	24033	1494	0,379	566,662
374	24,134	6,528	24134	1424	0,400	569,044
392	24,134	6,842	24134	1358	0,419	569,044
412	24,236	7,191	24236	1298	0,440	571,449
430	24,236	7,505	24236	1244	0,459	571,449
450	24,236	7,854	24236	1188	0,481	571,449
468	24,236	8,168	24236	1143	0,500	571,449
488	24,338	8,517	24338	1100	0,521	573,854
506	24,338	8,831	24338	1061	0,541	573,854
526	24,338	9,180	24338	1021	0,562	573,854
544	24,44	9,495	24440	991	0,581	576,259
563	24,44	9,826	24440	958	0,602	576,259
583	24,542	10,175	24542	929	0,623	578,664

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN


OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación		
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 1045	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	204,874	INERCIA POLAR (mm ⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	49 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	3,666	0	3666		0	86,439
2	8,689	0,035	8689	95864	0,002	204,874
4	13,689	0,070	13689	75514	0,004	322,766
14	19,348	0,244	19348	30495	0,015	456,197
32	20,458	0,559	20458	14107	0,034	482,369
52	21,28	0,908	21280	9030	0,056	501,751
64	21,624	1,117	21624	7455	0,068	509,862
86	22,301	1,501	22301	5722	0,092	525,824
108	22,607	1,885	22607	4619	0,115	533,039
126	22,811	2,199	22811	3995	0,135	537,849
146	23,014	2,548	23014	3478	0,156	542,636
166	23,116	2,897	23116	3073	0,177	545,041
185	23,218	3,229	23218	2769	0,198	547,446
203	23,32	3,543	23320	2535	0,217	549,851
223	23,422	3,892	23422	2318	0,238	552,256
243	23,523	4,241	23523	2136	0,260	554,637
263	23,523	4,590	23523	1974	0,281	554,637
281	23,625	4,904	23625	1855	0,300	557,042
301	23,625	5,253	23625	1732	0,322	557,042
319	23,727	5,568	23727	1641	0,341	559,447
338	23,829	5,899	23829	1556	0,361	561,852
356	23,829	6,213	23829	1477	0,380	561,852
374	23,931	6,528	23931	1412	0,400	564,257
394	23,931	6,877	23931	1340	0,421	564,257
412	24,033	7,191	24033	1287	0,440	566,662
432	24,033	7,540	24033	1228	0,462	566,662
450	24,033	7,854	24033	1178	0,481	566,662
470	24,033	8,203	24033	1128	0,502	566,662
490	24,236	8,552	24236	1091	0,524	571,449
508	24,236	8,866	24236	1053	0,543	571,449
526	24,236	9,180	24236	1017	0,562	571,449
545	24,338	9,512	24338	985	0,582	573,854
563	24,44	9,826	24440	958	0,602	576,259
583	24,44	10,175	24440	925	0,623	576,259
601	24,44	10,489	24440	897	0,642	576,259

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

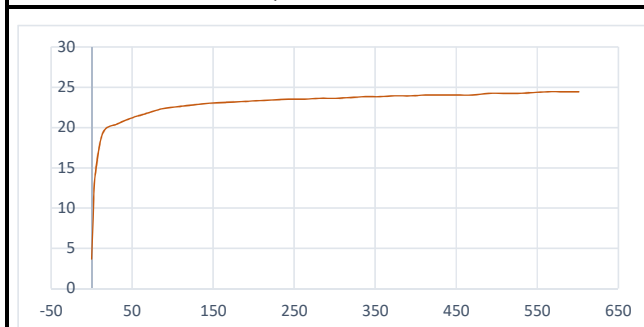
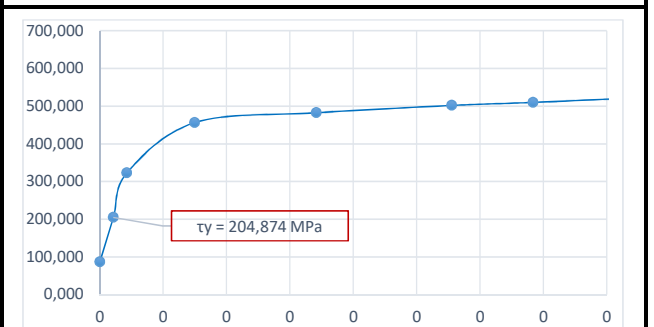



DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



OBSERVACIONES:

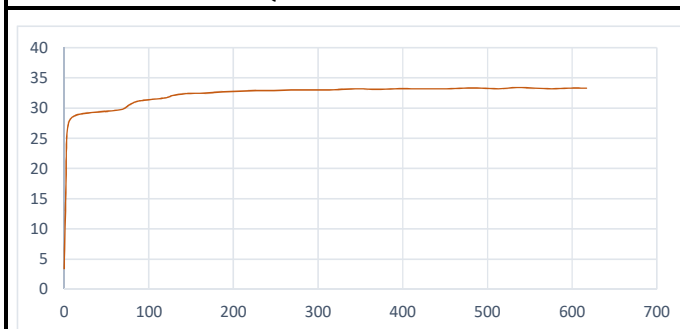
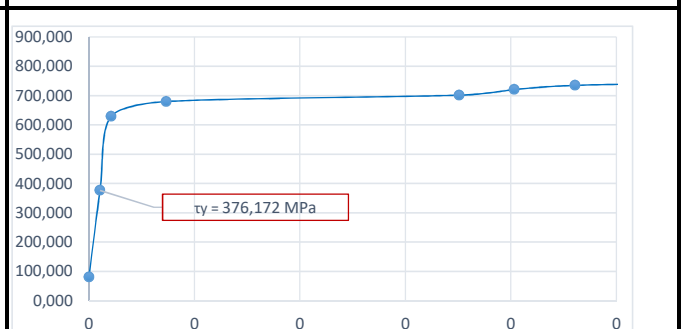
APROBADO POR:

ELABORADO POR	Paúl Ganán Alex Mullo	ENSAYO DE PROBETA	
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Ensayo de Torsión		
ASIGNATURA	Proyecto de Titulación	N.- 5	
FECHA	02 de Julio del 2019		

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

TIPO DE MATERIAL	ACERO AISI 4340	RESISTENCIA DE CEDENCIA A TORSIÓN (Mpa)	376,172	INERCIA POLAR (mm ⁴)	127,2345025
DIÁMETRO DE ENSAYO	6 mm				
LONGITUD DE ENSAYO	50 mm				

ÁNGULO DE GIRO (Grados)	TORQUE (N.m)	ÁNGULO DE GIRO (Radianes)	TORQUE (N.mm)	MÓDULO DE CORTE Mpa	DEFORMACIÓN ANGULAR (Radianes)	ESFUERZO CORTANTE Mpa
0	3,434	0	3434		0	80,969
2	15,954	0,035	15954	179609	0,002	376,172
4	26,68	0,070	26680	150181	0,004	629,075
14	28,819	0,244	28819	46349	0,015	679,509
67	29,735	1,169	29735	9993	0,070	701,107
77	30,55	1,344	30550	8933	0,081	720,323
88	31,161	1,536	31161	7973	0,092	734,730
119	31,67	2,077	31670	5992	0,125	746,731
128	32,077	2,234	32077	5642	0,134	756,328
144	32,383	2,513	32383	5063	0,151	763,543
166	32,485	2,897	32485	4406	0,174	765,948
187	32,688	3,264	32688	3936	0,196	770,734
207	32,79	3,613	32790	3567	0,217	773,139
227	32,892	3,962	32892	3263	0,238	775,544
248	32,892	4,328	32892	2986	0,260	775,544
268	32,994	4,677	32994	2772	0,281	777,949
288	32,994	5,027	32994	2579	0,302	777,949
308	32,994	5,376	32994	2412	0,323	777,949
329	33,096	5,742	33096	2265	0,345	780,354
349	33,198	6,091	33198	2142	0,365	782,759
369	33,096	6,440	33096	2019	0,386	780,354
391	33,198	6,824	33198	1912	0,409	782,759
410	33,198	7,156	33198	1823	0,429	782,759
430	33,198	7,505	33198	1738	0,450	782,759
452	33,198	7,889	33198	1654	0,473	782,759
472	33,299	8,238	33299	1588	0,494	785,141
493	33,299	8,604	33299	1521	0,516	785,141
513	33,198	8,954	33198	1457	0,537	782,759
535	33,401	9,338	33401	1406	0,560	787,546
556	33,299	9,704	33299	1348	0,582	785,141
576	33,198	10,053	33198	1298	0,603	782,759
596	33,299	10,402	33299	1258	0,624	785,141
617	33,299	10,769	33299	1215	0,646	785,141
617	33,299	10,769	33299	1215	0,646	785,141

DIAGRAMA TORQUE-ÁNGULO DE GIRO

DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN


OBSERVACIONES:

APROBADO POR:

MANUAL DE USUARIO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



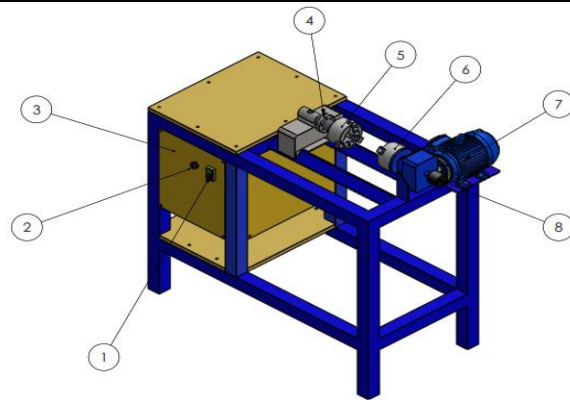
MANUAL DE USUARIO DE LA MÁQUINA DE TORSIÓN

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- ❖ Capacidad Máxima 100 N.m
- ❖ Alimentación 110V y 220V

PARTES DE LA MÁQUINA DE TORSIÓN

1. On/Off
2. Selector
3. Tablero de control
4. Sensor de Torque
5. Mandril Fijo
6. Mandril Móvil
7. Motorreductor
8. Encoder Incremental



INTERFAZ GRÁFICA



MATERIALES A EMPLEARSE

- ❖ Acero Estructural ASTM A36
- ❖ Acero SAE 1018
- ❖ Acero AISI 1045
- ❖ Acero AISI 4340

DIMENSIONES DE LA PROBETA DE ENSAYO

Las probetas que se utilizan en este ensayo según la norma ASTM E143-02 son probetas cilíndricas sólidas, en las cuales se debe tomar en cuenta que sean rectas, de diámetro uniforme y una longitud igual a su longitud libre más dos a cuatro diámetros como se muestra en la Figura 1.

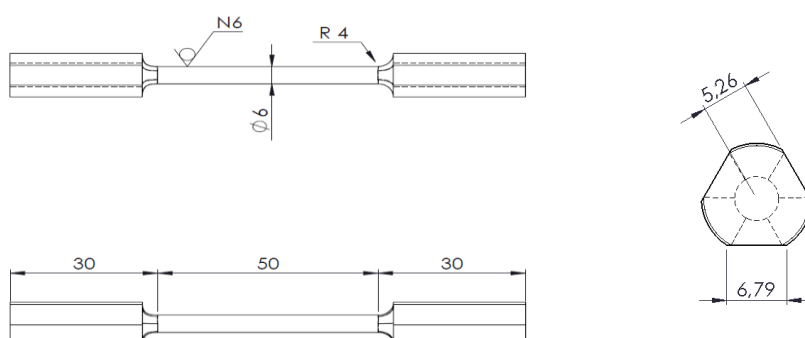






Figura 1. Dimensiones de las probeta para ensayos de torsión

INSTRUCCIONES DE USO

- ❖ Se debe conectar la máquina de torsión a una fuente de alimentación de 110V y 220V.
- ❖ Encender la máquina y la PC.
- ❖ Abrir el ejecutable MÁQUINA DE TORSIÓN 2019.exe.
- ❖ Verificar que las mordazas de los mandriles estén en la misma dirección, si no lo están se puede ubicar los mandriles en la misma dirección con el selector ubicado en la parte frontal de la máquina.
- ❖ Utilizar el calibrador para medir el diámetro interno de la probeta y la longitud de ensayo. Colocar los valores medidos en la pantalla de control.

MATERIAL	
Diámetro (mm)	Longitud (mm)
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

- ❖ Trazar una línea recta con el marcador a lo largo de la sección cilíndrica en la sección reducida de la probeta, esto con el fin de poder visualizar de manera más fácil la deformación de la probeta.
- ❖ Ubicar, centrar y ajustar la probeta entre las mordazas del mandril. Se debe asegurar que la probeta este ajustada para que no exista deslizamiento de la misma.
- ❖ Dar click izquierdo en iniciar o correr la programación,  luego dar doble click en RESETEAR DIAGRAMA  hasta que las pantallas gráficas queden en blanco.
- ❖ Dar click izquierdo en INICIAR ENSAYO  de esta forma el mandril móvil empezará a girar y los datos obtenidos se irán registrando en un formato Excel y visualizando en las pantallas gráficas.
- ❖ Una vez producida la ruptura del material la máquina se detiene y se podrá observar los diagramas de torque vs ángulo de giro y esfuerzo cortante vs deformación angular.
- ❖ Dar click izquierdo en FINALIZAR ENSAYO  seguidamente abrir y guardar los datos obtenidos que se encuentran en la carpeta DOCUMENTOS/DATOS2019.xlsx.
- ❖ Abrir el archivo FORMATOENSAYO.xlsx que se encuentra en la misma carpeta y copiar los valores de ángulo de giro y torque a este formato.
- ❖ Comparar las propiedades mecánicas de cedencia a tracción con las propiedades mecánicas de cedencia a torsión obtenidas durante el ensayo $\frac{S_y}{\tau_y} \approx 2$
- ❖ Retirar la probeta y analizar el tipo de ruptura que posee.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- ❖ Apagar y desconectar la máquina después de finalizar el ensayo.
- ❖ No abrir el tablero de control sin previa autorización.
- ❖ No colocar probetas con un diámetro mayor a 6mm.
- ❖ No encender el motor sin carga por intervalos muy largos.

HOJA GUÍA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

PRÁCTICA DE LABORATORIO

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	IELM	RESISTENCIA DE MATERIALES

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	RESISTENCIA DE MATERIALES	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	ENSAYO DE TORSIÓN	1

1 OBJETIVO

- Analizar el comportamiento mecánico de los materiales al ser sometidos a un par torsor y determinar sus propiedades mecánicas.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 INTRODUCCIÓN

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia los efectos internos del esfuerzo y la deformación en un cuerpo sólido que está sometido a una carga externa que permite analizar varios elementos, máquinas y estructuras portadoras de carga, garantizando que las deformaciones ocurridas estén dentro de los límites permisibles sin que se produzcan roturas. La presente práctica se centra en el análisis de materiales que están sometidos a un par torsor T al otro extremo de un eje circular sujeto a un soporte fijo en uno de sus extremos, el eje se torcerá al girar su extremo libre a través de un ángulo ϕ llamado ángulo de giro, es decir que, dentro de un cierto rango de valores de T , el ángulo de giro ϕ es proporcional a T , y también muestra que ϕ es proporcional a la longitud L del eje. Obteniendo los valores de torque aplicado y ángulo de giro se puede representar gráficamente la curva de esfuerzo-deformación, la cual permitirá verificar las propiedades mecánicas experimentales con las teóricas mostradas en las fichas técnicas del material.

2.2 TORSIÓN

Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico se llama vector de par de torsión, porque el momento causa que el elemento se tuerza respecto a ese eje. Una barra sometida a un momento de ese tipo se dice que está sometida a torsión y esto provoca una deformación cortante en el material, este efecto es de gran importancia en el diseño de ejes o árboles de transmisión utilizados en vehículos y maquinaria. A continuación, se explican algunos conceptos fundamentales para comprender el efecto de la torsión sobre un elemento, los cuales se muestran a continuación:

- **Fragilidad:** Se denomina material frágil a aquel que llega a la rotura sin mucha deformación. En estructuras, un material frágil no es deseable, ya que tiene roturas sin previo aviso, colapsan de forma inmediata y no da tiempo a reaccionar.
- **Ductilidad:** Se denomina material dúctil a aquel elemento que al llegar a rotura ha sufrido deformaciones grandes. Esto en el cálculo de estructuras nos interesa porque nos avisa de que la estructura va a colapsar. El acero es un material dúctil.
- **Fluencia:** La fluencia o cedencia es la deformación irre recuperable de la probeta, a partir de la cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible. Este fenómeno se sitúa justo encima del límite elástico, y se produce un alargamiento muy rápido sin que varíe la tensión aplicada.
- **Momento torsor:** A lo largo de un eje actúan una serie de pares de fuerzas por lo tanto el momento torsor se define como la suma algebraica de los momentos de los pares aplicados, situada a un lado de la sección a considerar.
- **Ángulo de torsión:** Si un eje de longitud L está sometido a un momento de torsión constante T en toda su longitud es posible encontrar el ángulo de translación axial del extremo de la barra que gira respecto al otro.
- **Momento polar de inercia:** Se puede determinar si el elemento a analizar tiene una sección transversal circular.
- **Deformación por cortante:** Se marca una generatriz a-b en la superficie del eje sin carga y luego se aplica un momento torsor T , el ángulo medido en radianes, entre la posición inicial y final de la generatriz, se define como la deformación por cortante en la superficie de la barra.
- **Módulo de elasticidad en cortante:** La relación entre la tensión cortante (esfuerzo torsor T) y su deformación (γ) se llama módulo de elasticidad en cortante o módulo de rigidez.
- **Módulo de rotura:** Es la tensión cortante que se obtiene sustituyendo en la ecuación, el par máximo de torsión T que puede soportar el eje cuando se ensaya a rotura.

2.2.1 DIAGRAMA MOMENTO TORSOR-ÁNGULO DE GIRO

La obtención del diagrama de momento torsor en función del ángulo de torsión, para una probeta cilíndrica sometida a torsión, es fundamental para determinar el módulo de corte, el esfuerzo cortante de proporcionalidad y el esfuerzo cortante de fluencia. La Figura 1. indica el diagrama de momento torsor vs ángulo de giro en el cual se distingue:

- a) Límite de proporcionalidad
- b) Límite de fluencia superior A,
- c) Límite de fluencia inferior B,
- d) La zona de cadencia C
- e) El límite de rotura de la probeta, señalado con el punto D.

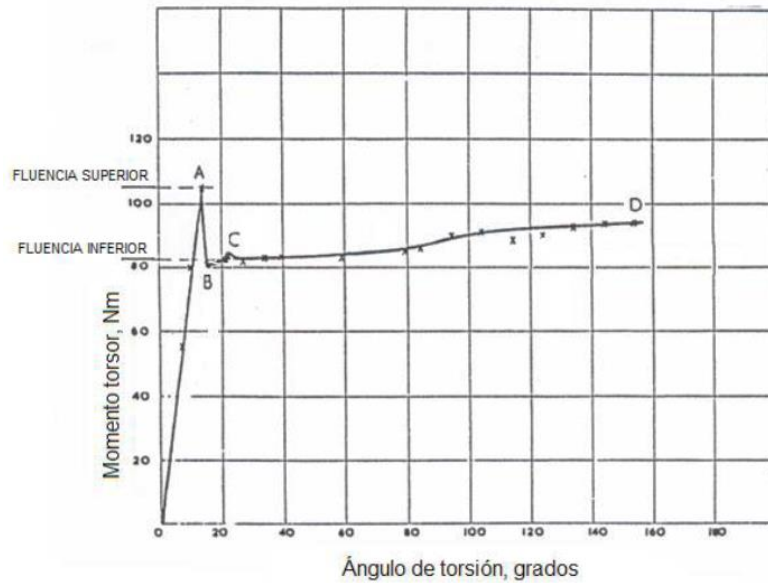


Figura 1. Diagrama de momento torsor vs ángulo de giro.

2.3 ENSAYO DE TORSIÓN

El ensayo de torsión se aplica en la industria para determinar constantes elásticas y propiedades de los materiales también se puede aplicar para medir la resistencia de soldaduras y uniones. Para su realización se elabora la probeta de longitud determinada de acuerdo a lo estipulado en la norma, luego se fija en las mordazas de la máquina asegurando que esté bien sujeta para evitar un deslizamiento. Durante el ensayo la máquina va mostrando valores del torque aplicado y del ángulo de giro hasta llegar a la ruptura del material. El ensayo de torsión entrega información directa sobre la resistencia a cortante y la confirmación de propiedades mecánicas, además permite:

1. Analizar el comportamiento de los materiales al ser sometidos a un esfuerzo de torsión.
2. Construir gráficas momento torsor vs ángulo de giro y esfuerzo vs. deformación angular.
3. Calcular el módulo de rigidez, esfuerzo máximo cortante y verificar los resultados con los establecidos en la ficha técnica del fabricante.
4. Analizar el comportamiento de las secciones transversales en la prueba y determinar el tipo de ruptura que se presenta la probeta.



Figura 2. Máquina para ensayos de torsión

2.3.1 PROBETAS NORMALIZADAS PARA ENSAYOS DE TORSIÓN

Las probetas que se utilizan en este ensayo según la norma ASTM E143-02 son probetas cilíndricas sólidas, en las cuales se debe tomar en cuenta que sean rectas, de diámetro uniforme y una longitud igual a su longitud libre más dos a cuatro diámetros como se muestra en la Figura 3.

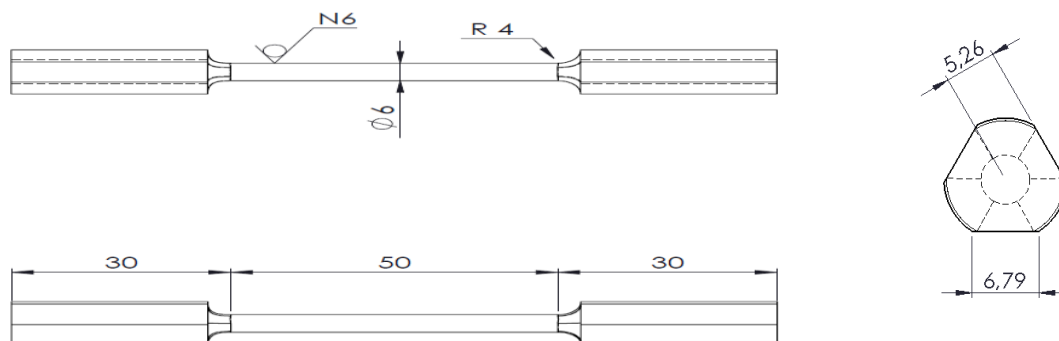


Figura 3. Dimensiones de la probeta según norma ASTM E143-02

2.4 METODOLOGÍA PARA EL ENSAYO DE TORSIÓN

Una vez obtenido los valores de torque y ángulo de giro se proceden a calcular cada una de las propiedades mecánicas del material como se detalla a continuación:

2.4.1 Módulo de corte

El módulo de corte es una propiedad del material que sirve para verificar el cumplimiento de los materiales sometidos a torsión cuando el ángulo de giro es proporcional al momento torsor aplicado y viene dado por la siguiente ecuación.

$$G = \frac{T.L}{J.\phi} \quad (1)$$

Donde:

G= Módulo de corte [MPa]

T= Momento torsor resultante que actúa en la sección transversal [N.mm]

L= Longitud de ensayo de la probeta [mm]

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

φ=Ángulo de giro [rad]

2.4.2 Momento polar de inercia

El momento polar de inercia para ejes de sección transversal circular sólida, se puede encontrar con la siguiente ecuación, para posteriormente aplicar este valor en la determinación del módulo de corte.

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \quad (2)$$

Donde:

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

D= Diámetro de la probeta [mm]

2.4.3 Esfuerzo de cedencia

Como indica el esfuerzo último antes de llegar a la zona de fluencia de un material se define mediante la siguiente ecuación.

$$\tau_y = \frac{T_u \cdot r}{J} \quad (3)$$

Donde:

τ_y = Esfuerzo de cedencia a torsión [MPa]

T_u= Torque de cedencia [N.mm]

r= Radio de la probeta de ensayo [mm]

J= Momento polar de inercia [mm⁴]

4.5.5.5 Deformación angular

La deformación angular producida por el momento torsor aplicado en la probeta se determina de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\gamma = \frac{\tau_{máx}}{G} \quad (4)$$

Donde:

γ= Deformación angular [rad]

τ_{máx}= Esfuerzo cortante máximo que se produce en la superficie externa [MPa]

G= Módulo de corte [MPa]

4.5.5.5 Teoría del esfuerzo cortante máximo (ECM)

Para un estado general de esfuerzo, la hipótesis del esfuerzo cortante máximo produce la fluencia aplicando la siguiente ecuación.

$$\tau_y = \frac{S_y}{2} \quad (5)$$

Donde:

T_y = Esfuerzo de cedencia a torsión [MPa].

S_y = Esfuerzo de cedencia a tracción [MPa].

Obteniendo un factor de proporcionalidad de la ecuación anterior resulta en lo siguiente.

$$\frac{S_y}{\tau_y} \approx 2 \quad (6)$$

2.2 EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES

1. Máquina para ensayos de torsión.
2. Llave de mandril.
3. Calibrador.
4. Marcador permanente.
5. Probeta (Acero ASTM A36)
6. Probeta (Acero AISI 1018)

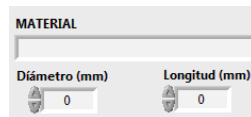
2.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Seguir las instrucciones para realizar el ensayo de acuerdo a la hoja guía.
- Durante el ensayo no apagar la máquina.





2.4 PROCEDIMIENTO

1. Maquinar el acero ASTM A36 siguiendo las dimensiones recomendadas en la norma ASTM E143-02.
2. Maquinar un eje de acero AISI 1018 $\Phi 3/8$ siguiendo las dimensiones recomendadas en la norma ASTM E143-02.
3. Mecanizar los extremos de la probeta en forma de triángulo para que exista una mejor sujeción al momento de ajustar la probeta en el mandril.
4. Se debe conectar la máquina de torsión a una fuente de alimentación de 110V y 220V.

5. Encender la máquina y la PC.
6. Abrir el ejecutable MÁQUINA DE TORSIÓN 2019.exe.
7. Verificar que las mordazas de los mandriles estén en la misma dirección, si no lo están se puede ubicar los mandriles en la misma dirección con el selector ubicado en la parte frontal de la máquina.
8. Utilizando el calibrador pie de rey medir el diámetro interno de la probeta y la longitud de ensayo. Colocar los valores medidos en la pantalla de control.



The image shows a software interface titled 'MATERIAL'. Below the title, there are two input fields: 'Diámetro (mm)' and 'Longitud (mm)'. Both fields have a value of '0' entered. There are also small circular icons next to each input field, possibly representing measurement tools or units.

9. Trazar una línea recta con el marcador a lo largo de la sección cilíndrica en la sección reducida de la probeta, esto con el fin de poder visualizar de manera más fácil la deformación de la probeta.
10. Ubicar, centrar y ajustar la probeta entre las mordazas del mandril. Se debe asegurar que la probeta este ajustada para que no exista deslizamiento de la misma.
11. Dar click izquierdo en iniciar o correr la programación,  luego dar doble click en RESETEAR DIAGRAMA  hasta que las pantallas gráficas queden en blanco.
12. Dar click izquierdo en INICIAR ENSAYO  de esta forma el mandril móvil empezará a girar y los datos obtenidos se irán registrando en un formato Excel y visualizando en las pantallas gráficas.
13. Una vez producida la ruptura del material la máquina se detiene y se podrá observar los diagramas de torque vs ángulo de giro y esfuerzo cortante vs deformación angular.
14. Dar click izquierdo en FINALIZAR ENSAYO  seguidamente abrir y guardar los datos obtenidos que se encuentran en la carpeta DOCUMENTOS/DATOS2019.xlsx.
15. Abrir el archivo FORMATOENSAYO.xlsx que se encuentra en la misma carpeta y copiar los valores de ángulo de giro y torque a este formato.
16. Comparar las propiedades mecánicas de cedencia a tracción con las propiedades mecánicas de cedencia a torsión obtenidas durante el ensayo.
17. Retirar la probeta y analizar el tipo de ruptura que posee. Si necesita iniciar un nuevo ensayo regrese al paso. Una vez finalizado el ensayo se debe proceder a apagar la máquina y luego la PC.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS****DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS**

NRO	MATERIAL	TORQUE [N.m]	ÁNGULO [°]	INERCIA POLAR [mm]	DIÁMETRO [mm]	ESFUERZO DE CEDENCIA A TRACCIÓN (S_y) [MPa]	ESFUERZO DE CEDENCIA A TORSIÓN (τ_y) [MPa]
1	Acero ASTM A36						
2							
3							
4							

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS

NRO	MATERIAL	TORQUE [N.m]	ÁNGULO [°]	INERCIA POLAR [mm]	DIÁMETRO [mm]	ESFUERZO DE CEDENCIA A TRACCIÓN (S_y) [MPa]	ESFUERZO DE CEDENCIA A TORSIÓN (τ_y) [MPa]
1	Acero SAE 1018						
2							
3							
4							

3.2 CUESTIONARIO

1. Con los datos obtenidos grafique la curva esfuerzo-deformación e identifique la resistencia de cedencia a torsión.
2. ¿Qué es la fluencia y cuál es el valor obtenido en la práctica?
3. ¿Qué es momento torsor, ángulo de torsión y para que se utilizan?
4. Determine qué tipo de comportamiento y ruptura mostró cada material ensayado.
5. Compare los resultados obtenidos en la práctica y determine si la estructura del material es la adecuada, para aplicaciones sometidas a torsión.

4	CONCLUSIONES
5	RECOMENDACIONES

6	BIBLIOGRAFÍA
<p>[1] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, vol. Octava Edición, México: Mc Graw Hill, 2008.</p>	
7	ANEXOS

PLANOS