

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE TORSIÓN DE EJES
CIRCULARES Y DEFLEXIÓN DE VIGAS RECTANGULARES HASTA 1/2 IN
PARA CINCO TIPOS DE METALES EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA UAN.**

PRESENTADO POR:

**FRANCISCO JAVIER GOMAJOA VILLAVICENCIO.
Código: 20451024475.**

**BLADIMIR JAVELA FLOREZ.
Código: 20451119014.**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
NEIVA
2015**

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE TORSIÓN DE EJES
CIRCULARES Y DEFLEXIÓN DE VIGAS RECTANGULARES HASTA 1/2 IN
PARA CINCO TIPOS DE METALES EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA UAN.**

**FRANCISCO JAVIER GOMAJOA VILLAVICENCIO.
Código: 20451024475.**

**BLADIMIR JAVELA FLOREZ.
Código: 20451119014.**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**LUIS ANTONIO GAVIRIA BEJARANO
Ingeniero Mecánico.**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
NEIVA
2015**

Nota de aceptación

Director de proyecto.

Jurado 1.

Jurado 2.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo doy gracias a Dios por haberme puesto a la mano todos los recursos necesarios durante la carrera, a mi esposa e hija por su apoyo afectivo incondicional, agradecimientos a mis padres por el apoyo económico y moral, y a familiares y conocidos que de manera directa o indirecta aportaron para que mis estudios se llevara a cabo hasta su finalización.

Agradecimientos también para el ingeniero Luis Antonio Gaviria por la confianza y apoyo durante la ejecución de este proyecto.

Bladimir Javela Flórez.

Primero gracias a Dios por ayudarme a cumplir mis metas, gracias a mi familia, mi mamá Ana Villavicencio, Mi Papá Jesús Bolaños, A Mi Hermana María Cristina Bolaños y a mi esposa Olga Lucia Ortiz Olaya por estar siempre apoyándome y por estar a mi lado en los momentos difíciles y duros de esta largo camino.

Francisco Gomajoa V.

DEDICATORIA.

Para esas personas que hacen grato mi pasar por esta vida, que me llenan de felicidad y siempre están ahí para apoyarme en las buenas y en las malas, para ellos está dedicado este logro.

Mi mama Elinor, mi papa Filiberto, mi hija Paula Andrea, mi esposa Clarena, mis hermanos Santiago y Deisy.

Bladimir Javela Flórez

A todos los que me apoyaron, a mi familia, amigos y compañeros de trabajo quienes hicieron posible cumplir con esta meta.

Francisco Gomajoa V.

Tabla de contenido

1. TITULO.....	6
2. RESUMEN	7
3. ABSTRACT.....	8
4. INTRODUCCIÓN.....	9
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
6. JUSTIFICACIÓN	11
7. OBJETIVOS.....	12
7.1 OBJETIVO GENERAL	12
7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
8. ESTADO DEL ARTE	13
8.1 ANTECEDENTES	13
8.2 EJE	13
8.3 PROCEDIMIENTO PARA DISEÑAR EJES	14
8.4 TORSIÓN DE EJES.....	15
8.5 DEFLEXIÓN DE EJES CIRCULARES.....	16
8.6 VIGAS	17
8.7 DEFLEXIÓN DE VIGAS	19
8.8 BANCO DE PRUEBAS EXISTENTES PARA TORSIÓN DE EJES Y DEFLEXIÓN DE VIGAS.....	20
8.8.1 BANCO DE PRUEBAS PARA ESTUDIO DE PÓRTICOS	20
8.8.2 BANCO DE PRUEBAS DE VIGAS CONTINUAS	21
8.8.3 DEFORMACIÓN DE VIGAS DE EJE RECTO.....	22
8.8.4 BANCO DIDÁCTICO DE TORSIÓN DE BARRAS	22
8.8.5 BANCO DE DEFORMACIÓN DE BARRAS PARA FLEXIÓN O TORSIÓN.....	23
8.9 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA ELEMENTOS DE MÁQUINAS.....	24
8.9.1 RESISTENCIA Y RIGIDEZ DE MATERIALES.....	24
8.9.2 PRUEBA DE TENSIÓN DE MATERIALES	25
8.10 DIFERENCIA ENTRE METALES Y PLÁSTICOS.....	25
8.11 ACEROS.....	27
8.12 NOMENCLATURA DE ACEROS.....	28

9. DISEÑO METODOLÓGICO	29
9.1 FASE DE DISEÑO	29
9.2 FASE DE CONSTRUCCIÓN	30
9.3 FASE DE PUESTA EN MARCHA	30
10. ALCANCE DEL PROYECTO	31
11. CÁLCULOS DE RESISTENCIA Y SELECCIÓN DE MATERIALES	32
11.1 CÁLCULO PAR TORSIÓN PARA EL ACERO AISI 1020 RECOCIDO.....	34
11.2 CÁLCULOS PAR TORSIÓN PARA EL ACERO AISI 1040 LAMINADO EN CALIENTE	35
11.3 CÁLCULO PAR TORSIÓN DEL COBRE C14500	36
11.4 CÁLCULO PAR TORSIÓN ALUMINIO 2014-O.....	37
11.5 CÁLCULO PAR TORSIÓN DEL ACERO INOXIDABLE 304 S30400	37
11.6 POTENCIA RECOMENDADA PARA LA TORSIÓN DE PROBETAS.....	38
11.7 TORQUE Y POTENCIA RECOMENDADA MOTOR ELÉCTRICO AC	39
11.8 SELECCIÓN DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD	40
11.9 CÁLCULO DEL DIAMETRO DE EJE DEL MOTOR ELÉCTRICO-CAJA REDUCTORA.....	41
11.10 CÁLCULO DEL EJE DE LA CAJA REDUCTORA AL SOPORTE DE LA PROBETA.....	47
11.11 CÁLCULO DE CUÑAS DEL EJE MOTOR ELÉCTRICO A LA CAJA REDUCTORA	54
11.12 CÁLCULO DE CUÑAS DEL EJE CAJA REDUCTORA AL SOPORTE DE LA PROBETA	56
12. DISEÑO DE BANCO DIDÁCTICO	57
13. CONSTRUCCIÓN	58
14. PUESTA EN MARCHA	63
15. RECURSOS FISICOS	64
15.1 RECURSO HUMANOS	64
16. PRESUPUESTO	65
17. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	67
18. RESULTADOS	69
19. CONCLUSIONES	70
20. BIBLIOGRAFÍA.....	71
21. WEBGRAFÍA.....	72
22. ANEXOS	73
APENDICE 1. PROPIEDADES ACEROS AL CARBONO.....	73

APENDICE 2. PROPIEDADES COBRE	74
APENDICE 3. PROPIEDADES ALUMINIO	75
APENDICE 4. PROPIEDADES ACEROS INOXIDABLES.....	76
APENDICE 5. TAMAÑO DE CUÑAS	77
ANEXO 1. MANUAL DE OPERACIÓN REQUERIDO	78
ANEXO 2. MANUAL DE MANTENIMIENTO REQUERIDO	88
ANEXO 3. GUÍAS DIDÁCTICAS DE LABORATORIO	90
ANEXO 4. NORMAS TÉCNICAS.....	147
ANEXO 5. PLANO ELECTRICO DEL BANCO DIDÁCTICO	148
ANEXO 6. PLANOS DEL BANCO DIDÁCTICO	149

Lista de figuras

FIGURA 1. BANCOS DIDÁCTICOS DE INGENIERÍA MECÁNICA	13
FIGURA 2. EJE	14
FIGURA 3. DISEÑO DE EJES.....	15
FIGURA 4. TORSIÓN DE EJES	16
FIGURA 5. DEFLEXIÓN DE EJES	17
FIGURA 6. VIGAS	17
FIGURA 7. ESTUDIO DE PÓRTICOS.....	20
FIGURA 8. BANCO DE PRUEBAS DE VIGAS CONTINUAS	21
FIGURA 9. DEFORMACIÓN DE VIGAS EJE RECTO	22
FIGURA 10. TORSIÓN DE BARRAS.....	23
FIGURA 11. DEFORMACIÓN DE BARRAS POR FLEXIÓN O TORSIÓN	23
FIGURA 12. PROBETAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARA TIPOS DE MATERIALES	24
FIGURA 13. DEFORMACIÓN UNITARIA PARA MATERIALES DÚCTILES Y FRÁGILES	25
FIGURA 14. DIFERENTES MATERIALES USADOS EN LA INDUSTRIA.....	26
FIGURA 15. ACEROS	27
FIGURA 16. NOMENCLATURA DE ACEROS	28
FIGURA 17. PROBETAS DE ENSAYO PARA TORSIÓN Y DEFLEXIÓN DE VIGAS Y EJES	33
FIGURA 18. DIAGRAMA DE FUERZAS	41
FIGURA 19. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, MOMENTOS FLECTORES Y FUERZAS CORTANTES	44
FIGURA 20. DIAGRAMA FUERZAS PRESENTES.....	48
FIGURA 21. RESULTADO FUERZAS CORTANTES.....	51
FIGURA 22. DISEÑO DEL BANCO DIDÁCTICO	78
FIGURA 23. INSTALACIÓN DEL ACTUADOR HIDRÁULICO	58
FIGURA 24. MOTOR ELÉCTRICO SUMINISTRADO PARA EL BANCO	59
FIGURA 25. SOPORTE DE LA PROBETA TORSIÓN.....	59
FIGURA 26. ACOPLAMIENTO SOPORTE PROBETA TORSIÓN.....	60
FIGURA 27. ENSAMBLAJE COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO	60
FIGURA 28. PINTURA DEL BANCO DIDÁCTICO.....	61
FIGURA 29. INSTALACIÓN FINAL DE COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO	61

FIGURA 30. BANCO DIDÁCTICO FINAL PROYECTO.....	62
FIGURA 31. PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DIDÁCTICO.....	63

Lista de tablas

TABLA 1. PATRONES DE CARGA.....	18
TABLA 2. TIPOS DE VIGAS.....	19
TABLA 3. TIPOS DE METALES Y PLÁSTICOS USADOS EN LA INDUSTRIA.....	27

1. TITULO

CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE TORSIÓN DE EJES CIRCULARES Y DEFLEXIÓN DE VIGAS RECTANGULARES HASTA 1/2 IN PARA CINCO TIPOS DE METALES EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA UAN.

2. RESUMEN.

El banco didáctico para torsión de ejes circulares y deflexión de vigas rectangulares; será implementado en los laboratorios de la facultad de ingeniería mecánica de la universidad Antonio Nariño con sede Neiva.

El banco servirá de apoyo en algunas áreas de la facultad de ingeniería Mecánica, donde a través de clases teórico-prácticas los estudiantes podrán experimentar las fallas de los elementos de máquinas como lo son: ejes y vigas, y de esta manera determinar el tipo de material y las dimensiones recomendadas para la potencia, torque, esfuerzos y momentos que estarán sometido bajo cargas en sus puntos de apoyo o resistencias.

El banco consta de dos sistemas independientes en un equipo compacto y de fácil operación, donde los docentes y estudiantes, podrán realizar prácticas de torsión de ejes circulares mediante la verificación de instrumento de control y un procedimiento donde un actuador ejercerá fuerza sobre la viga para flexionar la probeta y comprobar a través de 5 diferentes tipos de materiales (Acero AISI1020 AISI 1040, Inoxidable 304, Cobre C14500 y aluminio 2014-O), la resistencia máxima de torsión hasta el momento de ruptura del material.

El sistema de flexión de vigas rectangulares comprueba el desplazamiento final y la presión máxima ejercida sobre la viga en el punto medio, a través de probetas de 5 tipos de materiales especificados anteriormente.

Finalmente se comprueba la carga necesaria para realizar las pruebas de torsión y la presión máxima requerida para flexionar los cinco tipos de materiales establecidos.

3. ABSTRACT.

The test beds for twist of circular axes and deflection of rectangular girders; will be implemented in the laboratories of the faculty of mechanical engineering at the Antonio Nariño university headquarters Neiva.

The test bed will support in some areas of the Faculty of mechanical engineering, where through theoretical-practical classes students will experience failures of elements of machines such as: shafts and beams, and thus determine the type of material and the size recommended for power, torque, efforts and moments that will be subjected under loads at its points of support or resistance.

The test bed consists of two systems in a compact and easy operation, where teachers and students, will be able to perform torsion circular shafts by means of verification of control instrument and a procedure where an actuator will exert force on the beam to bend the probe and check through 5 different types of materials (steel AISI1020 AISI 1040 (, Stainless 304, C14500 copper and aluminum 2014-O), the maximum resistance torque up to the fracture moment of the material.

Bending of rectangular beams system checks the final displacement and the maximum pressure exerted on the beam at the midpoint, through test tubes of 5 types of materials specified above.

Finally checks the charge needed for testing of torque and the maximum pressure required to flex the five types of established materials.

4. INTRODUCCIÓN.

Para la selección de materiales en los elementos de máquinas, se debe tener en cuenta las propiedades mecánicas, físicas, químicas, térmicas entre otras; que garanticen la durabilidad del elemento y puedan prevenir fallas prematuras causantes de paradas en los equipos del sector industriales que reducen la producción en las compañías regionales, nacionales e internacionales.

En el sector industrial, los elementos de máquinas constantemente están sometidos a cargas axiales, radiales o combinadas, lo cual ocasiona fallas prematuras a los componentes, disminuyendo la producción de la máquina y la vida útil de sus elementos; el diseñador debe seleccionar adecuadamente el tipo de materiales y las dimensiones correspondientes de los componentes de la máquina; teniendo en cuenta, las cargas donde estará sometido el componente para así encontrar las fuerzas cortantes, momentos flectores máximos, torsión, esfuerzo torsional y flexionante, factores de diseño; que garanticen el funcionamiento de dichos elementos en las máquinas.

La facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño tiene como función capacitar a sus alumnos en áreas como resistencia de materiales, tecnología de materiales, diseños mecánicos, estática entre otras materias relacionadas que mediante clases teórico-prácticas los estudiantes puedan interactuar con los fenómenos ocasionados por el funcionamiento de equipos móviles para la transmisión de potencia y torque.

Es por tal motivo, que se requiere la construcción de un banco didáctico de torsión de ejes circulares y flexión de vigas rectangulares, en el que los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica realicen pruebas utilizando guías de laboratorio sobre el equipo, donde se incremente el proceso de capacitación y conocimientos mediante experiencias reales en las cuales el ingeniero afronte situaciones laborales que involucre la transmisión de potencia mediante una fuente motriz (motores) a una fuerza impulsora o generador de energía (bombas, generadores, caja reductoras entre otras).

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño cuenta con líneas de investigación para la presentación de proyectos de grado, para lo cual se selecciona la ingeniería de materiales como punto de partida para la construcción de un banco didáctico que brinda capacitación a sus alumnos de ingenierías sobre la resistencia y selección de elementos de máquinas; por tal motivo, es necesario adquirir los conocimientos teóricos – prácticos, para tener claridad de los fenómenos producidos en su profesión; pero la Universidad no cuenta con un banco didáctico de torsión de ejes circulares y deflexión de vigas rectangulares, para que los estudiantes, adquieran los conocimientos prácticos producidos por la potencia y torque de un motor para producir trabajo en máquinas y equipos del sector industrial.

En su entorno laboral, el egresado de la facultad de ingeniería mecánica, debe estar capacitado en el análisis de cargas sometidas en las máquinas; diseñar y seleccionar los elementos de máquinas adecuados para el correcto funcionamiento del equipo y garantizar la durabilidad y operación del mismo.

Con la construcción del banco didáctico, puede ser implementado en otras asignaturas, facultades y podrá complementarse las clases con pruebas del equipo que estén relacionadas.

6. JUSTIFICACIÓN.

Con la implementación de este banco se busca dar solución a una necesidad que se presenta en la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño de Neiva debido a que ésta no cuenta con bancos didácticos de torsión de ejes y deflexión de vigas, que permita a los estudiantes interactuar en los siguientes aspectos: Resistencia y selección de materiales, dinámica, mecanismos, diseño mecánico, entre otros.

Por tal motivo, se puede afirmar que al contar con estos equipos didácticos, se lograría que los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica, desarrollen proyectos de investigación o exploren fenómenos en particular por un mayor nivel académico.

Con lo anterior se busca que la universidad aporte a la región profesionales que generen innovación en desarrollos tecnológicos en la industria e ingeniería con lo cual pretendemos optimizar procesos selectivos de materiales de diseño y construcción en beneficio de la sociedad.

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL:

Determinar el diseño, construcción y funcionamiento de un Banco Didáctico de torsión de ejes circulares y deflexión de vigas rectangulares hasta 1/2 in, para ser implementado en los laboratorios del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño de Neiva.

7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ✓ Diseñar una estructura que aloje los elementos necesarios para el banco didáctico basado en previos cálculos matemáticos.
- ✓ Construir el banco didáctico previamente diseñado en software cumpliendo con los requerimientos necesarios para pruebas a realizar.
- ✓ Poner en funcionamiento del banco didáctico de torsión de ejes y deflexión de vigas usando probetas calibradas
- ✓ Elaborar el manual de pruebas de experimentos y guías de laboratorio para torsión y flexión máximas de ejes y vigas que se pueden implementar al banco didáctico en la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño.
- ✓ Diseñar el manual de operación y mantenimiento requerido para el banco didáctico de torsión de ejes circulares y deflexión de vigas rectangulares para la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva.

8. ESTADO DEL ARTE

8.1 Antecedentes

Los bancos didácticos son muy usados para complementar las clases en las facultades de ingeniería en universidades regionales, nacionales e internacionales, donde estas máquinas aportan a los alumnos prácticas y experimentos de la vida real, permitiéndoles diagnosticar, reparar y dar conclusiones sobre el funcionamiento de la máquina y sus elementos.

Figura 1. Bancos didácticos de ingeniería mecánica.



Fuente: Dikoin. Equipos didácticos técnicos. (Recuperado el 08 Julio de 2015).
Disponible en internet: <http://dikoin.com/>

8.2 EJE.

Un eje o árbol es un componente de un mecanismo que transmite movimiento entre una fuente motriz (motores eléctricos, motores de combustión interna, entre otros) y conducida (poleas, bombas, transmisiones, entre otras, para transmitir torque, fuerza y potencia a una fuente conducida (bombas, mecanismos, poleas, etc.)¹ a través de semiejes y ejes cardánicos

¹ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas: Diseño de ejes. Mexico. 2006. Cuarta edición. P 532

Figura 2. Eje



Fuente: SABINO. Ejes. (Recuperado el 09 Julio 2015). Disponible en internet:
<http://www.sabino.com.ar/paginas/espanol/productos1.html>

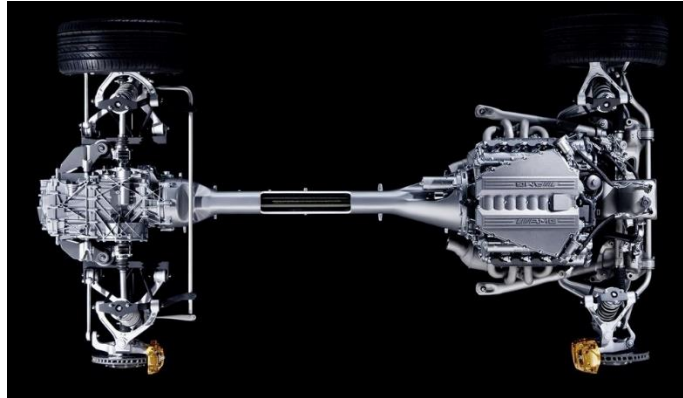
8.3 Procedimiento para diseñar ejes.

Para poder diseñar ejes, se deben analizar las cargas y resistencias que estará sometido el eje en su sección transversal, luego desarrollar y encontrar los esfuerzos cortantes torsionales y esfuerzos flexionantes empleando esfuerzos combinados, hay varios métodos para el análisis del diseño de ejes, entre ellos, se encuentra la teoría de falla por energía de la distorsión y la teoría del esfuerzo cortante máximo, para llevar a cabo un correcto procedimiento de diseño de ejes, se debe llevar a cabo las siguientes recomendaciones.

- Determinar la velocidad de giro del eje.
- Determinar la potencia y el par motor que debe transmitir el eje.
- Determinar el diseño de los componentes transmisores de potencia y resistencias del eje y especificar el lugar requerido para el diseño.
- Especificar las cargas que estará sometido el eje y determinar la ubicación de los cojinetes, normalmente se usan dos reacciones para soportar el eje en posición horizontal.
- Hallar si las cargas sometidas son axiales, radiales o combinadas.
- Hallar el torque y momento flexionante máximo del eje.
- Realizar el diagrama de cuerpo libre, fuerzas cortantes y momentos flectores máximos.

- Analizar el esfuerzo cortante torsional y esfuerzo flexionante.
- Usar la fórmula para esfuerzos combinados.
- Determinar el diámetro mínimo recomendado para el eje con la teoría de la falla de distorsión o teoría del esfuerzo cortante máximo².

Figura 3. Diseño de ejes.



Fuente: Mecánica y Motores. El eje de transmisión. (Recuperado 10 Julio 2015).
 Disponible de internet: <http://www.mecanicaymotores.com/el-eje-de-transmision.html>.

8.4 Torsión de ejes.

La torsión de un eje se implementa para la transmisión de movimiento de una fuente motriz de un motor para realizar un trabajo, lo cual el eje está sometido a cargas perpendiculares y transversales lo que ocasiona fallas prematuras por fatiga de materiales sobre cargas expuestas sobre los elementos de máquinas, desgastes abrasivos y corrosivos; la torsión se refiere a la carga sometida a un elemento de máquinas, ya sea a un eje o viga para hacerlo girar y torcerlo, se denomina par de torsión, momento torsional, o par, cuando se aplica un par de torsión, se desarrolla en el eje un esfuerzo cortante en su interior y se crea una deformación torsional, el resultado final es un ángulo de torsión de un extremo del miembro con respecto a otro³.

² Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas: Diseño de ejes. Mexico. 2006. Cuarta edición. P 532

³ Mott, Robert. Resistencia de materiales: Esfuerzo cortante y deformación torsional.. Mexico. 2009. Quinta edición. P 186.

Figura 4. Torsión de ejes.



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO. Analisis y ensayos de elementos y conjuntos mecánicos. (Recuperado el 10 Julio 2015). Disponible en internet: <http://strengthg.blogspot.com/2013/10/torsion-de-ejes-circulares-parte-iv.html>

La torsión se define matemáticamente de la siguiente forma.

$$\tau = F * d$$

Donde:

τ : Torque [Nm]

F : Fuerza [N]

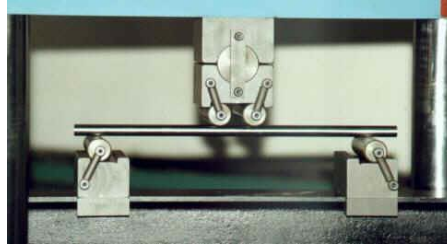
d : Distancia de la aplicación de la carga [m]

La torsión es producida por la fuerza aplicada sobre la distancia de la aplicación de la carga.

8.5 Deflexión de vigas.

La deflexión en ejes, suele ser el factor crítico, ya que una deflexión excesiva puede causar un desgaste prematuro en los cojinetes del eje e incluso la fractura del material ocasionando el paro inmediato de la máquina que está sometido el eje. Los engranes, las bandas o las cadenas impulsadas sufren de alineación por deflexiones altas y hay un aumento de fatiga de materiales generados por la torsión, deflexión y vibraciones de los elementos de máquinas.

Figura 5. Deflexión en ejes.

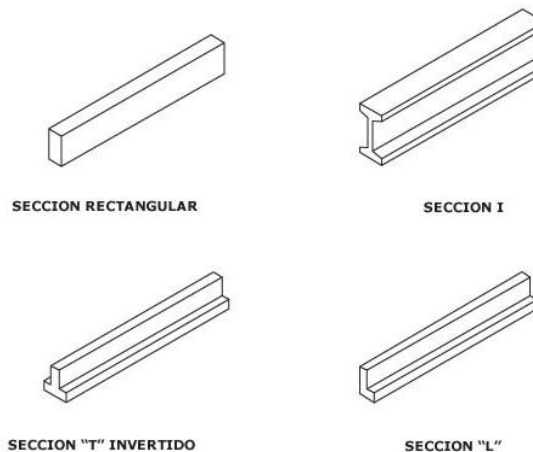


Fuente: Mecánica de materiales. Flexión. (Recuperado el 11 Julio 2015). Disponible en internet: <http://ingoswaldotorres.blogspot.com/>

8.6 Vigas.

Son miembros estructurales sometidos a cargas axiales, radiales o combinadas; es decir a fuerzas o momentos que tienen sus vectores perpendiculares al eje de la barra y ocasionan que se presenten fuerzas cortantes, momentos flectores deflexión a lo largo de su sección transversal⁴.

Figura 6. Vigas.


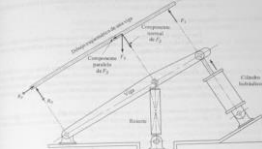
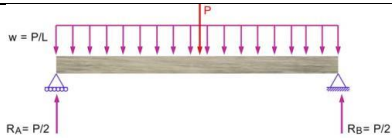
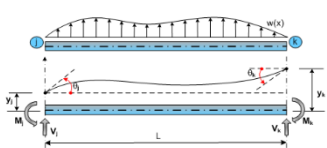
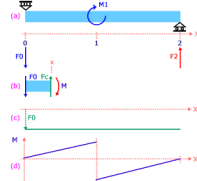


Fuente: Atlas prefabricados. Vigas de concreto. (Recuperado el 11 Julio de 2015). Disponible de internet: http://atlasprefabricados.com/vigas_de_concreto.php

⁴ Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Vigas. (Citado 15 Marzo 2015). Disponible en internet: http://www.academia.edu/6795910/TIPO_DE_VIGAS

Las vigas se someten a varios patrones de carga, incluidos:

Tabla 1. Patrones de carga.

Cargas concentradas normales.	 <p>The diagram shows a beam labeled 'Viga' supported at two points, R_1 and R_2, with three downward arrows representing normal concentrated loads. To the right, a photograph shows three tubes labeled 'Tubos' resting on a beam labeled 'Viga' supported by a frame.</p>
Cargas concentradas inclinadas.	 <p>The diagram shows a beam supported at one end and inclined at an angle. A concentrated load P is applied perpendicular to the beam. The load is decomposed into components P_x and P_y. Other labels include 'Carga', 'Reacción', and 'Cilindro'.</p>
Cargas uniformemente distribuidas.	 <p>The diagram shows a beam of length L supported at two points, R_A and R_B. A uniformly distributed load $w = P/L$ is applied downwards. A point load P is shown at the center. Reactions are given as $R_A = P/2$ and $R_B = P/2$.</p>
Cargas distribuidas variables.	 <p>The diagram shows a beam of length L supported at two points, V_1 and V_2. A variable distributed load $w(x)$ is applied. The beam is shown in its undeformed state and its deformed state with deflection $v(x)$. Moments M_1 and M_2 are also indicated.</p>
Momentos concentrados	 <p>The diagram shows a beam of length L supported at two points, R_1 and R_2. A concentrated moment M_1 is applied at a distance l from the left support. Below the beam are three diagrams: (a) free body diagram showing forces R_1, R_2, and M; (b) shear force diagram showing a constant shear force R_1; (c) bending moment diagram showing a linear increase in moment from 0 to M_1 at the point of application.</p>



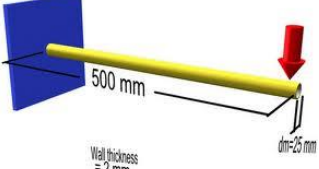
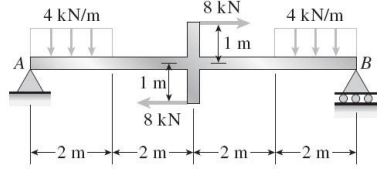
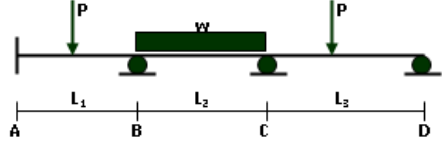
Fuente: Autores

Las vigas, están sometidas a los siguientes apoyos y:

- Apoyos simples de rodillos.
- Apoyo de pasador
- Apoyo fijo.
- Empotramiento

Normalmente, los tipos de vigas son:

Tabla 2. Tipos de vigas.

Vigas simples	
Vigas salientes	
Vigas en voladizo.	
Vigas compuestas	
Vigas continuas	

Fuente: Autores

8.7 Deflexión de vigas.

La deflexión en vigas es la deformación que sufre el elemento originado por el efecto de las flexiones internas del material.

Para determinar la deflexión, es necesario aplicar las fuerzas y desplazamientos usando los dos tipos de métodos de cálculo, el geométrico y las teorías de energía.

- **Métodos geométricos:** aplicación directa de ecuaciones de equilibrio, ecuaciones de compatibilidad y leyes constitutivas del material (elástico-lineal).

- **Métodos de energía:** en estos métodos las ecuaciones de equilibrio o de compatibilidad se reemplazan por un principio de energía y se combinan con las leyes constitutivas del material.

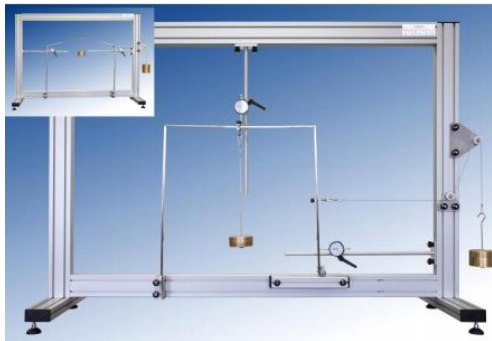
8.8 Bancos de pruebas existentes para torsión de ejes y deflexión de vigas.

8.8.1 Banco de pruebas para estudio de pórticos⁵.

El banco de pruebas para estudio de pórticos, consiste en el estudio de la deformación en el plano, estructuras tipo pórtico. El equipo cuenta con un sistema característico de empotramiento y apoyo articulado deslizante.

La deformación registrada se extrae del sistema mediante 2 relojes comparadores que se colocan en cualquier punto del pórtico. Estas deformaciones son la respuesta del sistema frente a las distintas cargas aplicadas hasta 12 Kg suspendiendo diferentes masas con un rango desde 0,5 a 2,5 kg.

Figura 7. Estudio de pórticos.



Fuente: DIKGIN. Estudios de pórticos. (Recuperado el 12 Julio 2015). Disponible en internet:<http://dikoin.com/wp-content/uploads/2014/10/ST-01.2-ESTUDIO-DE-PORTICOS.pdf>

⁵ Dikoin. Estudios de pórticos. (Citado 20 Marzo 2015). Disponible en internet:
<http://dikoin.com/wp-content/uploads/2014/10/ST-01.2-ESTUDIO-DE-PORTICOS.pdf>

8.8.2 Banco de pruebas de vigas continuas⁶.

El objetivo fundamental del banco, es estudiar las características de vigas, su funciones es estudiar las deformaciones de probetas bajo cargas axiales, radiales o combinadas, el equipo cuenta con un sistema característico de empotramiento y apoyos articulados deslizantes con dinamómetro, los resultados de la deformación se extrae mediante tres relojes comparadores en cualquier punto de la viga, puede operar hasta vigas de 12 Kg, con rango de probetas con masa de 0,5 a 2,5 kg. El equipo se suministra con 2 vigas de secciones diferentes, 20x5mm y 20x3mm.

Figura 8. Banco de pruebas de vigas continuas.



Fuente: DIKGIN. Vigas continuas. (Recuperado el 12 Julio 2015). Disponible en internet: <http://dikoin.com/wp-content/uploads/2014/10/ST-03.1-VIGAS-CONTINUAS.pdf>

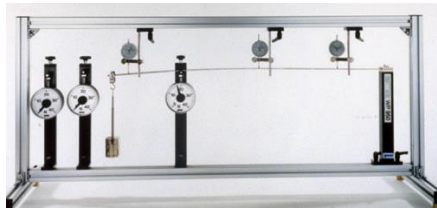
⁶ Dikoin. Vigas continuas. (Citado 20 Marzo 2015). Disponible en internet: <http://dikoin.com/wp-content/uploads/2014/10/ST-03.1-VIGAS-CONTINUAS.pdf>

8.8.3 Deformación de vigas de eje recto⁷.

Es un banco que consta de cinco vigas de diferentes dimensiones y de diversos materiales que muestran la influencia de la geometría y del módulo de elasticidad longitudinal en el comportamiento de la viga sometida a carga.

Las piezas necesarias para la realización del ensayo se guardan de forma racional y bien protegidas en un sistema de almacenamiento. El conjunto para el ensayo se monta en un bastidor.

Figura 9. Deformación de vigas de eje recto.



Fuente: GUNT. Bancos didácticos de ingeniería mecánica y elementos de máquinas. (Recuperado el 12 Julio 2015). Disponible en internet:

http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/templates/scripts/picDetail.php?actEntry=3630&lang=3&dir=02095000&src=Foto_Totale.jpg&color=CC3366&software=0

8.8.4 Banco didáctico de torsión de barras⁸.

El banco didáctico estudia la torsión de barras bajo el efecto de un momento de torsión. La probeta se sujeta en dos soportes desplazables provistos de mandriles. El momento de torsión se genera por medio de un disco circular, una polea de reenvío y una pesa. La longitud de sujeción y el momento de torsión se pueden variar. Las torsiones resultantes se leen por medio de goniómetros en dos puntos cualesquiera de la barra.

⁷ Gunt Hamburg. Equipos para la educación en ingeniería: Deformación de vigas ejes recto. (Citado 22 Marzo 2015). Disponible en internet: http://www.gunt.de/static/s3630_3.php?p1=&p2=&pN=;

⁸ Gunt Hamburg. Equipos para la educación en ingeniería: Torsión de vigas. (Citado 22 Marzo 2015). Disponible en internet: http://www.gunt.de/static/s4156_3.php?p1=&p2=&pN=;

Figura 10. Torsión de barras.



Fuente: GUNT. Torsión de barras. (Recuperado el 13 Julio 2015): Disponible en internet: http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/templates/scripts/picDetail.php?actEntry=4156&lang=3&dir=02211029&src=Foto_Totale.jpg&color=CC3366&software=0

8.8.5 Banco de deformación de barras por flexión o torsión⁹.

El banco de deformación de barras por flexión o torsión estudia la influencia de estos factores en la deformación de una probeta sometida a una carga de flexión o a un momento de torsión a lo largo de su sección transversal.

Figura 11. Deformación de barras por flexión o torsión.



Fuente: GUNT. Deformación de barras por flexión o torsión. (Recuperado el 13 Julio 2015). Disponible en internet: http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/templates/scripts/picDetail.php?actEntry=3243&lang=3&dir=02010000&src=Foto_Totale.jpg&color=CC3366&software=0

⁹ Gunt Hamburg. Equipos para la educación en ingeniería: Deformación de barras por flexión o torsión. (Citado 22 Marzo 2015). Disponible en internet: http://www.gunt.de/static/s3243_3.php?p1=&p2=&pN=;;#

8.9 Selección de materiales para elementos de máquinas.

La selección de materiales para los elementos de máquinas en la ingeniería es de gran importancia en el diseño, construcción y puesta en marcha del equipo elaborado por el diseñador mecánico. Ya que primero se debe seleccionar el tipo de material y luego las dimensiones del elemento para garantizar la durabilidad y funcionamiento de la pieza para mantener un nivel bajo de riesgo por avería del componente¹⁰.

8.9.1 Resistencia y rigidez de materiales.

Para determinar la resistencia de materiales se realiza mediante probetas de ensayo estándar en máquinas universales; donde mediante la implementación de este equipo, se puede hallar una variedad de características y resistencias de diferentes tipos de materiales para emplearse en los diseños mecánicos¹¹.

Figura 12. Probetas de ensayo de tracción para tipos de materiales.



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. Laboratorios de tracción.
(Recuperado el 13 Julio 2015). Disponible en internet:
<http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/Laboratorio/Tracc11.jpg>

¹⁰ Budynas, Richard & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Fundamento de materiales. Mexico. S.f. Octava edición. P 28.

¹¹ Budynas, Richard & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Resistencia y rigidez de materiales. Mexico. S.f. Octava edición. P 28.

8.9.2 Prueba de tensión de materiales.

La prueba de tensión de materiales se realiza para determinar las características y calcular de forma experimental el punto de fluencia, es cuando material empieza la deformación elástica donde se retirar el esfuerzo y vuelve a tomar su posición inicial sin alterar sus propiedades del material, y si se somete a un esfuerzo mayor al punto de tensión o resistencia ultima, es cuando el material tiende a deformarse plásticamente y obteniendo la forma sin retornar a su configuración inicial hasta el punto de ruptura; es cuando el material falla, para materiales frágiles, el punto de fluencia está muy cercano al punto de ruptura y el material tiene un alto de nivel de falla.

Figura 13. Deformación unitaria para materiales dúctiles y frágiles.



Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. Ductilidad. (Recuperado el 14 Julio 2015). Disponible en internet: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

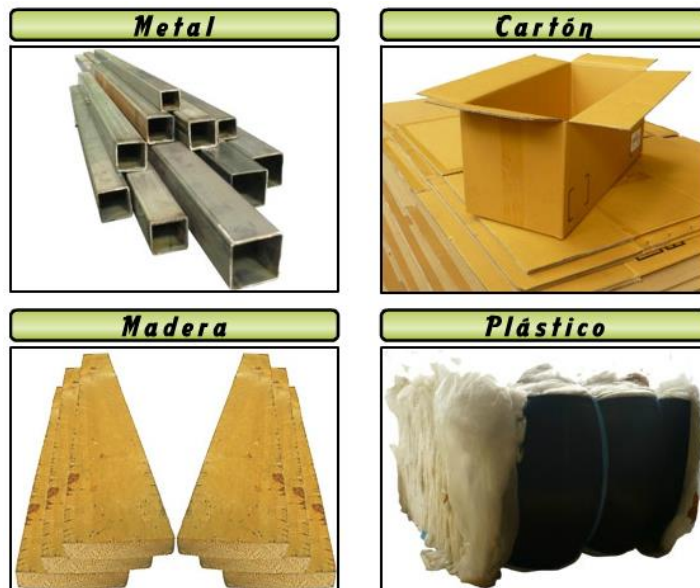
8.10 Diferencias entre metales y plásticos.

Los materiales plásticos son fundamentales en la industria, su estructura interna es completamente diferente a la de los aceros, no está compuesto por átomos o iones sino por macromoléculas orgánicas, los plásticos ofrecen menor estabilidad dimensional a la de los aceros; posee mayor coeficiente de dilatación térmica, menor rigidez y mayor estabilidad.

En general, las principales diferencias son las siguientes:

- Coeficiente de dilatación térmica 20 veces mayor que los metales.
- Los plásticos disipan mucho menos calor. Por lo que se debe tener cuidado con el sobrecalentamiento del material
- Las temperaturas de reblandecimiento y de fusión son más bajas que los metales
- Los plásticos son mucho más elásticos¹²

Figura 14. Diferentes materiales usados en la industria.



Fuente: PM Reciclables & limitada. Productos. (Recuperado el 15 Julio 2015).
Disponible en internet: <http://www.plasticosmetales.com/>

¹² Universidad Tecnológica de Pereira. Diferencia entre metales y plásticos. (Recuperado el 14 Julio 2015). Disponible en internet: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

Tabla 3. Tipos de metales y plásticos usados en la industria.

Metales	Plásticos
Aleaciones férricas (Aceros y fundiciones)	Madera
Aleaciones de aluminio	Plásticos
Aleaciones de manganeso	Textiles
Aleaciones de cobre	Materiales compuestos

Fuente: Gestores del proyecto.

8.11 ACEROS.

Los aceros son materiales metálicos al carbono o aleaciones, donde están compuestos por la aleación de hierro y carbono con cantidades que dependen de las propiedades que va a quedar el material como lo son: Manganeso, silicio, azufre, fósforo entre otros¹³.

Figura 15. Aceros



Fuente: Aceros industriales. Productos. (Recuperado el 16 Julio 2015). Disponible en internet:

[http://www.acerosindustriales.com.co/sitio/index.php/component/aceros/?seccion=](http://www.acerosindustriales.com.co/sitio/index.php/component/aceros/?seccion=2)

2

¹³ Budynas, Richard & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Aceros aleados. Mexico. S.f. Octava edición. P 48.

8.12 Nomenclatura de aceros.

Para nombrar los aceros, hay dos institutos encargados que son la AISI (American Iron and Steel Institute) y la SAE (Society of Automotive Engineers) se clasifican de 4 - 5 números dependiendo de la cantidad de carbono y de las aleaciones del acero.

Para poder clasificar los aceros, se debe tener en cuenta los siguientes datos.

Los dos primeros números se refieren a los principales elementos de aleación presentes y los últimos dos o tres se refieren al porcentaje de carbono, así:

Figura 16. Nomenclatura de aceros.

- 10XX – Aceros al carbono
- 11XX – Aceros al carbono - resulfurizados
- 12XX – Aceros al carbono - resulfurizados y refosforados
- 13XX – Manganeso 1.75
- 23XX – Níquel 3.5
- 25XX – Níquel 5.0
- 31XX – Níquel 1.25 y cromo 0.6
- 33XX – Níquel 3.5 y cromo 1.5
- 40XX – Molibdeno 0.2 eo 0.25
- 41XX – Cromo 0.5, 0.8, 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, 0.30
- 43XX – Níquel 1.83, cromo 0.50, 0.80 y molibdeno 0.25
- 44XX – Molibdeno 0.53
- 46XX – Níquel 0.85, 1.83 y molibdeno 0.20, 0.25
- 47XX – Níquel 1.05, cromo 0.45, molibdeno 0.20, 0.35
- 48XX – Níquel 3.5 y molibdeno 0.25
- 50XX – Cromo 0.4
- 51XX – Cromo 0.8, 0.88, 0.93, 0.95, 1.0
- 61XX – Cromo 0.6, 0.95 y vanadio 0.13, 0.15
- 86XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.20
- 87XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.25
- 88XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.35
- 92XX – Silicio 2.0
- 93XX – Níquel 3.25, cromo 1.2, molibdeno 0.12
- 98XX – Níquel 1.0, cromo 0.8, molibdeno 0.25

Fuente: ingmecanica.com. Estudio y clasificación de los aceros. (Recuperado el 16 Julio 2015). Disponible en internet:

<http://ingmecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

9. DISEÑO METODOLÓGICO.

Para el desarrollo del proyecto de grado, se va a implementar una metodología que consiste en tres partes, etapa de diseño, construcción y puesta en marcha; para cumplir los objetivos generales y específicos, cumpliendo las actividades que se han propuesto durante el avance del banco didáctico.

9.1 FASE DE DISEÑO

En esta fase del proyecto de grado, se basa en la recolección de información del proyecto de grado, parámetros establecidos para el diseño, cálculo de resistencia y selección de materiales para el desarrollo del diseño por los autores del proyecto. En la sección 11 y 12 se determinan los cálculos de los elementos y materiales de máquinas y el diseño preliminar del proyecto de grado.

ACTIVIDADES A REALIZAR.

- Recolección y selección de información primaria, secundaria, complementaria y anexos para documentación del estado del arte y para ser implementada en el proyecto de grado.
- Elaboración del pre diseño establecido.
- Comprobación del diseño mediante modelos matemáticos, resistencia y selección de materiales.
- Elaboración del libro anteproyecto para aprobación del CTG.
- Comprobación del prototipo propuesto con un programa de diseño
- Presentación del anteproyecto de grado al comité de trabajos de grado CTG.
- Correcciones del anteproyecto evaluado
- Aprobación del anteproyecto e inicio del banco didáctico.
- Elaboración de las guías de laboratorio

Nota: Dichas actividades se desarrolla por medio del programa de diseño SOLID EDGE 2014, y para la elaboración de los cálculos establecidos, se tomara libros guías de la carrera resistencia, selección de materiales, dinámica, metodología de la investigación entre otros.

9.2 FASE DE CONSTRUCCIÓN.

La segunda etapa del proyecto, es la fase de construcción, inicia con la cotización de materiales, compra, traslado, alistamiento e instalación de componentes del banco didáctico, para llevar un orden cronológico y ordenado, se debe cumplir las siguientes actividades establecidas.

- Cotización de materiales en Neiva y a nivel nacional.
- Compra de materiales centro de comercio y proveedores nacionales.
- Transporte de los componentes del equipo realizado por los autores.
- Instalación de componentes para armar el banco.
- Elaboración de la documentación técnica final para presentar en la universidad.
- Pruebas de funcionamiento y ajustes.
- Toma de evidencias para diligenciar el libro final.

9.3 FASE DE PUESTA EN MARCHA.

La última fase del proyecto, consiste en el funcionamiento del banco didáctico, entrega a la facultad de ingeniería mecánica de la universidad Antonio Nariño Sede Neiva con su documentación técnica solicitada como manuales de operación, mantenimiento y guías didácticas relacionadas.

- Prueba de funcionamiento banco en la universidad.
- Revisión final de la máquina y ajustes finales.
- Entrega del documento para evaluación del CTG.
- Correcciones del proyecto de grado.
- Entrega del documento final.
- Entrega del banco didáctico a la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva.

10. ALCANCE DEL PROYECTO

- ✓ Pruebas de torsión de ejes circulares y vigas rectangulares de acero AISI 1020, acero 1040, Acero inoxidable S30400, cobre C14500 y aluminio 2014O
- ✓ Diámetro máximo de torsión y flexión de ½ in (12,7 mm)
- ✓ Potencia motor eléctrico 3 hp.
- ✓ Potencia sistema hidráulico 3 hp
- ✓ Presión máxima del sistema hidráulico 2.500 psi.
- ✓ Sistema de medición digital de torsión sobre las probetas.
- ✓ Medición de ángulo de torsión manual.
- ✓ Medición de presión desde la válvula de control y actuador hidráulico.
- ✓ Equipo portable y de fácil mantenimiento.

11. Cálculos de resistencia y selección de materiales

Para realizar los cálculos recomendados para el banco didáctico, se debe tener en cuenta las siguientes normas para llevar a cabo la resistencia y selección de los materiales adecuados en la etapa de diseño, construcción y puesta en marcha el equipo.

- ✓ Ensayo de torsión de alambre (ASTM A938, ISO 7800)¹⁴
- ✓ NTC: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC3995. Materiales metálicos. Alambres. Ensayo de torsión simple¹⁵.
- ✓ ASTM A1058-14, Métodos de prueba estándar para la prueba mecánica de productos de acero.

Para realizar las pruebas de laboratorio, se tiene en cuenta las dimensiones de las probetas de ensayo para torsión, ver figura 17. El rango de las probetas es de $\left(\frac{1}{8}in - \frac{1}{2}in\right)$, la velocidad de giro de las probetas se recomienda de 35 rpm, mínima velocidad de torsión para ejes circulares.

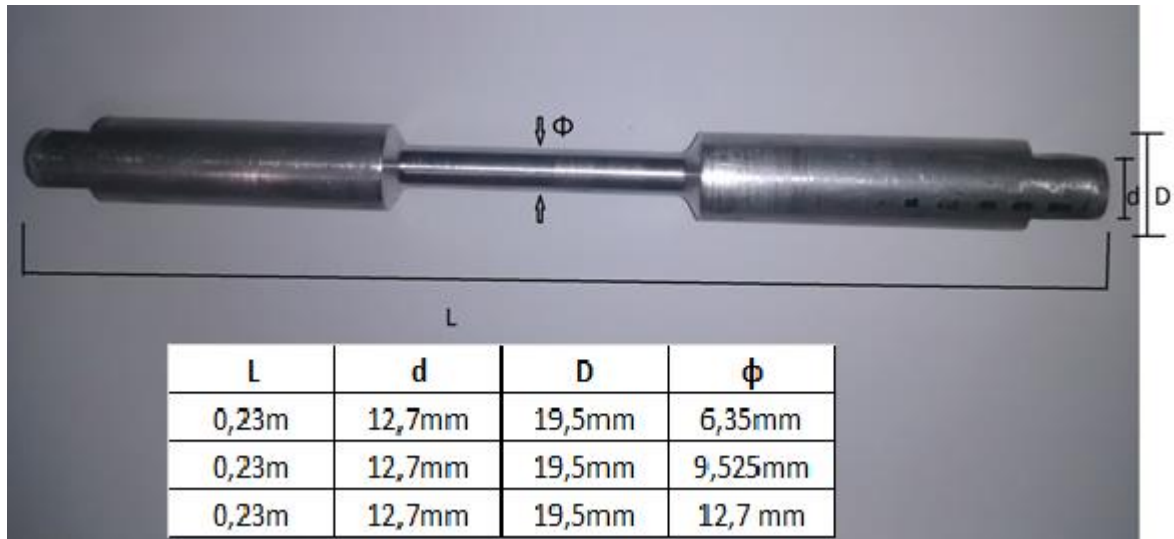
Los materiales de la probeta que se va a implementar, es aceros al carbono, cobre, aluminio y acero inoxidable.

- ✓ Acero 1020 recocido con $S_u = 414$ MPa, (Apéndice 1).
- ✓ Acero 1040 Laminado en caliente con $S_u = 496$ MPa, (Apéndice 1).
- ✓ Cobre C14500 duro con $S_u = 331$ MPa, (Apéndice 2).
- ✓ Aluminio 2014-O con $S_u = 186$ MPa, (Apéndice 3).
- ✓ Acero inoxidable 304 S30400 Recocido con $S_u = 586$ MPa, (Apéndice 4)

¹⁴ ASTM A938. Ensayo de torsión de alambres. Equivale a la norma ISO 7800. West Conshohocken, PA, 2013

¹⁵ NTC 3995. Materiales metálicos. Alambres. Ensayo de torsión simple. Bogota D.C. 2014 (Primera actualización 05 Junio de 2015)

Figura 17. Probetas de ensayo para torsión y deflexión de vigas y ejes.



Fuente: Propia.

Ya teniendo en cuenta los datos de entrada, se debe calcular el par de torsión aplicado sobre ejes circulares, se implementa para calcular la potencia del motor eléctrico.

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J} \text{ se toma de la referencia}^{16}$$

Donde:

T : Par torsión

c : Radio de la sección transversal

J : Momento polar de inercia de la sección transversal.

¹⁶ Mott, Robert. Resistencia de materiales. Esfuerzo cortante torsional en miembros con secciones transversales circulares. México. 2009. Quinta edición. P 195.

Se despeja T , para hallar el par torsión de cada material.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c}$$

Se aclara que el $\tau_{max} = Su$ del material, y J para secciones circulares es:

$$J = \frac{\pi D^4}{32}^{17}$$

Ya que se tiene 3 diferentes probetas, se selecciona la de mayor diámetro, en este caso $D = 12,7 \text{ mm}$ ($\frac{1}{2} \text{ in}$), se calcula el momento polar de inercia máximo de las probetas, y el centroide (c) es 6,35 mm.

$$J = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi(12,7 \text{ mm})^4}{32} = 2.553,96 \text{ mm}^4$$

El momento polar de inercia máximo de las probetas es de $2.553,96 \text{ mm}^4$, finalmente se calcula el par torsión para cada material de prueba.

11.1 Cálculo par torsión para el acero AISI 1020 Recocido.

Usando la ecuación de la sección 1, se halla el par torsión máximo para el acero AISI 1020 recocido, teniendo en cuenta los siguientes datos de entrada.

¹⁷ Mott, Robert. Resistencia de materiales. Momento polar de inercia de una barra circular. México. 2009. Quinta edición. P 195.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c}$$

$$\tau_{max} = 414 \text{ MPa} = 414 \frac{N}{mm^2}$$

$$J: 2.553,96 \text{ mm}^4$$

$$c: 6,35 \text{ mm}$$

Se halla el par torsión del acero AISI 1020 recocido.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c} = \frac{\left(414 \frac{N}{mm^2}\right) * (2.553,96 \text{ mm}^4)}{6,35 \text{ mm}} = 166.510,15 \text{ Nmm} = 166,51 \text{ Nm}$$

El par torsión máximo del acero AISI 1020 recocido es de 166,51 Nm

11.2 Cálculo par torsión para el acero AISI 1040 laminado en caliente.

Usando la ecuación de la sección 1, se halla el par torsión máximo para el acero AISI 1040 laminado en caliente, teniendo en cuenta los siguientes datos de entrada.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c}$$

$$\tau_{max} = 496 \text{ MPa} = 496 \frac{N}{mm^2}$$

$$J: 2.553,96 \text{ mm}^4$$

$$c: 6,35 \text{ mm}$$

Se halla el par torsión del acero AISI 1040 recocido.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c} = \frac{\left(496 \frac{N}{mm^2}\right) * (2.553,96 mm^4)}{6,35 mm} = 199.490,42 Nmm = 199,49 Nm$$

El par torsión máximo del acero AISI 1040 laminado en caliente es de 199,49 Nm

11.3 Cálculo par torsión del cobre C14500.

Usando la ecuación de la sección 1, se halla el par torsión máximo para el cobre C14500, teniendo en cuenta los siguientes datos de entrada.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c}$$

$$\tau_{max} = 331 MPa = 331 \frac{N}{mm^2}$$

$$J: 2.553,96 mm^4$$

$$c: 6,35 mm$$

Se halla el par torsión del cobre C14500.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c} = \frac{\left(331 \frac{N}{mm^2}\right) * (2.553,96 mm^4)}{6,35 mm} = 133.127,68 Nmm = 133,13 Nm$$

El par torsión máximo del cobre C14500 es de 133,13 Nm

11.4 Cálculo par torsión aluminio 2014-O.

Usando la ecuación de la sección 1, se halla el par torsión máximo para el aluminio 2014-O, teniendo en cuenta los siguientes datos de entrada.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c}$$

$$\tau_{max} = 186 \text{ MPa} = 331 \frac{N}{mm^2}$$

$$J: 2.553,96 \text{ mm}^4$$

$$c: 6,35 \text{ mm}$$

Se halla el par torsión del aluminio 2014-O.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c} = \frac{\left(186 \frac{N}{mm^2}\right) * (2.553,96 \text{ mm}^4)}{6,35 \text{ mm}} = 74.808,91 \text{ Nmm} = 74,81 \text{ Nm}$$

El par torsión máximo del aluminio 2014-O es de 74,81 Nm

11.5 Cálculo par torsión del acero inoxidable 304 S30400.

Usando la ecuación de la sección 1, se halla el par torsión máximo para el acero inoxidable 304, teniendo en cuenta los siguientes datos de entrada.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c}$$

$$\tau_{max} = 586 \text{ MPa} = 586 \frac{N}{mm^2}$$

$$J: 2.553,96 \text{ mm}^4$$

$$c: 6,35 \text{ mm}$$

Se halla el par torsión del acero AISI 1020 recocido.

$$T = \frac{\tau_{max} * J}{c} = \frac{\left(586 \frac{N}{mm^2}\right) * (2.553,96 \text{ mm}^4)}{6,35 \text{ mm}} = 235.688,28 \text{ Nmm} = 235,69 \text{ Nm}$$

El par torsión máximo del acero inoxidable 304 es de 235,69 Nm

11.6 Potencia recomendada para la torsión de las probetas.

De acuerdo al par de torsión de los materiales de las probetas, se recomienda el acero inoxidable con $T = 235,69 \text{ Nm}$, y la velocidad de rotación de la probeta es de 35 rpm, luego la potencia recomendada para el diseño es:

$$P = T * n^{18}$$

$$T: 235,69 \text{ Nm}$$

$$n: 35 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} = 3,6 \frac{rad}{s}$$

¹⁸ Mott, Robert. Resistencia de materiales. Par de torsión, potencia y velocidad de rotación: Potencia. México. 2009. Quinta edición. P 192.

Se halla P

$$P = T * n = (235,69 \text{ Nm}) * \left(3,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = 848,48 \text{ Watts}$$

Debido a torsión de diferentes materiales, se determina un factor de diseño de $N=2,5$, luego:

$$P = 848,48 \text{ Watts} * 2,5 * \frac{1 \text{ hp}}{745,7 \text{ Watts}} = 2,84 \text{ hp}$$

La potencia recomendada para la torsión de las probetas es de 3 hp.

11.7 Torque y potencia recomendada motor eléctrico AC .

El par torsional recomendado para la probeta es de 235,69 Nm ya que es el máximo entre los cinco tipos de materiales a una velocidad de 35 rpm, se calcula el par torsional del motor eléctrico para operar el banco didáctico, si la velocidad nominal del motor es de 1.750 rpm, luego:

$$P_1 = P_2$$

$$T_1 * n_1 = T_2 * n_2$$

$$P_1 = 235,69 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 35 \text{ rpm} = 3,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$n_2 = 1.750 \text{ rpm} = 183,26 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Se halla el torque recomendada para el motor eléctrico:

$$T_2 = \frac{T_1 * n_1}{n_2} = \frac{(235,69 \text{ Nm}) * \left(3,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}{\left(183,26 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)} = 4,62 \text{ Nm}$$

El torque necesario para el motor eléctrico es de 4,62 Nm y la potencia es de 2,97hp.

Se selecciona un motor eléctrico de 3 hp a 1.750 rpm.

11.8 Selección del reductor de velocidad.

De la sección 1,6 y 1,7 se conoce que la potencia que requiere el sistema para torsión de la probeta es de 3 hp, con velocidad de entrada de 1.750 rpm y velocidad de salida 35 rpm, cuya relación de transmisión es de:

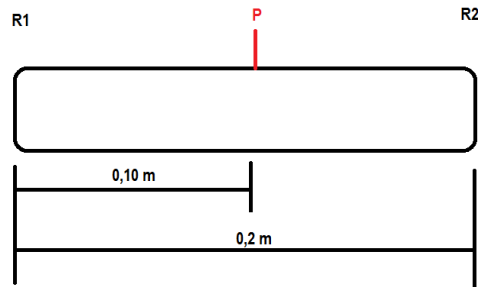
$$\text{Relación de transmisión (i)} = \frac{1.750 \text{ rpm}}{35 \text{ rpm}} = 50:1$$

Es decir, que se selecciona un reductor de 3 hp, con relación de transmisión de 50:1 con velocidad de salida 35 rpm.

11.9 Cálculo del diámetro de eje del motor eléctrico- caja reductora.

Para los cálculos del diámetro del eje del motor eléctrico y caja reductora, se debe tener en cuenta los datos de entrada. En este caso se va a usar un motor eléctrico con una potencia de 3 hp a una velocidad de 1.750 rpm. Estableciendo los datos anteriores, se determina el diámetro del eje, en la figura 18, se tiene el diagrama de cuerpo libre

Figura 18. Diagrama de fuerzas



Fuente: Autores.

Donde:

R₁: Resistencia motor eléctrico.

R₂: Resistencia caja reductora

P: Fuerza del eje.

Ahora se halla el par de torsión producido por el motor eléctrico

$$\frac{1.750 \text{ rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = \frac{183,26 \text{ rad}}{\text{s}}$$

Finalmente se convierte los hp a watts.

$$P = 3 \text{ hp} * \frac{745,7 \text{ Nm/s}}{1 \text{ hp}} = 2.237,1 \text{ Nm/s}$$

Ya se puede calcular el par de torsión producido por el motor eléctrico.

$P = T * n$ se despeja T, luego:

$$T = \frac{P}{n} = \frac{2.237,1 \text{ Nm/s}}{\frac{183,26 \text{ rad}}{s}} = 12,21 \text{ Nm.}$$

Ya que se tiene el par de torsión producido sobre el eje, se determina la fuerza producida sobre el eje, teniendo en cuenta, la distancia de aplicación de la fuerza es equivalente al radio del eje del motor ($d = r$), cuyo diámetro es de 1 in, su radio es $\frac{1}{2}$ in.

$$r = \frac{1}{2} \text{ in} * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} * \left(\frac{1 \text{ m}}{1.000 \text{ mm}}\right) = 0,013 \text{ m.}$$

Ahora se determina la fuerza resultante con la fórmula de torque

$T = F * d$ se despeja F.

$$F = \frac{T}{r} = \frac{12,21 \text{ Nm}}{0,013 \text{ m}} = 939,23 \text{ N} \approx 950 \text{ N.}$$

Ya teniendo en cuenta el valor de la fuerza producida en el eje, se calculan las resistencias R_1 y R_2 con el fin de determinar las fuerzas cortantes y momentos flectores del eje, para hallar el diámetro recomendado del eje.

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 - 950 \text{ N} + R_2 = 0$$

$$R_1 = 950 \text{ N} - R_2 \quad (1)$$

Ahora se halla los momentos flectores sobre el eje

$$\sum M_0 = 0$$

$$950\text{N} (0,1\text{m}) - R_2 (0,2\text{m}) = 0; \text{ se despeja } R_2.$$

$$R_2 = \frac{95\text{Nm}}{0,2 \text{ m}} = 475\text{N}$$

$$R_2 = 475\text{N}$$

Ahora se reemplaza en el paso (1)

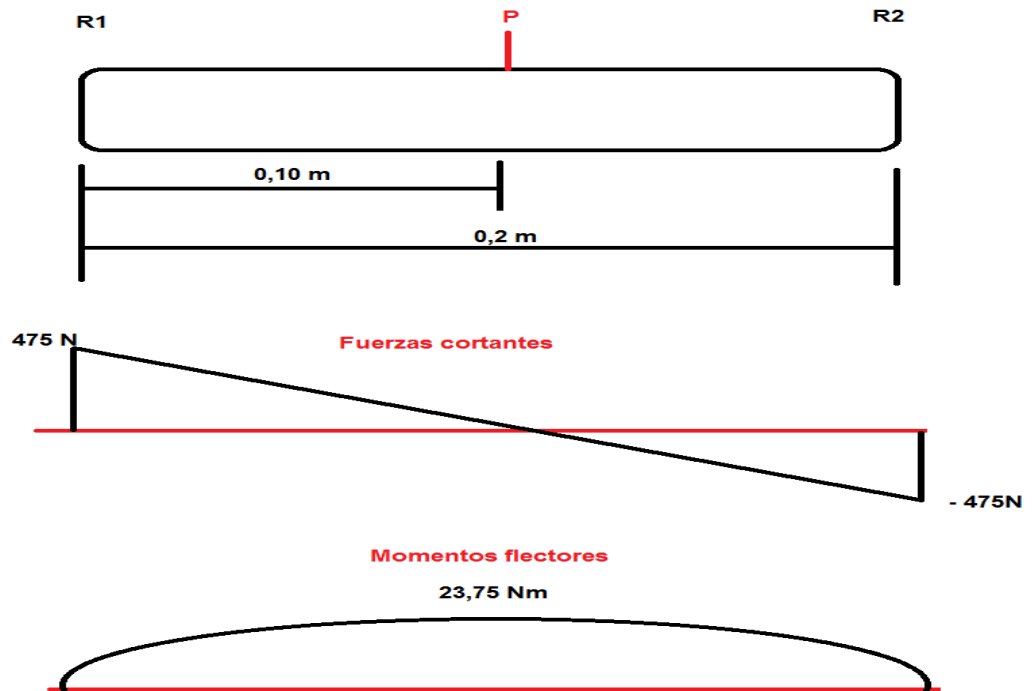
$$R_1 = 950 \text{ N} - R_2$$

$$R_1 = 950 \text{ N} - 475\text{N}$$

$$R_1 = 475\text{N}.$$

En la figura 19, se determina con el diagrama de cuerpo libre, las fuerzas cortantes y momentos flexionantes del eje.

Figura 19. Diagrama de cuerpo libre, momentos flectores y fuerzas cortantes



Fuente: Autores.

Características del eje:

Material: Acero AISI 1040 recocido $S_y = 352 \text{ Mpa} = 352 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

Torque: 12,21 Nm

Momento flector máximo: 23,75 Nm.

Eje circular:

$$\text{Momento de inercia } I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\text{Momento polar de inercia } J = \frac{\pi d^4}{32}$$

Factor de seguridad: (F.S.) = 2 para materiales dúctiles.

Se calcula el esfuerzo flector máximo¹⁹

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{(23,75Nm)(d/2)}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{760Nm}{\pi d^3},$$

Luego el esfuerzo flector máximo es $\sigma = \frac{760Nm}{\pi d^3}$

Luego se halla el esfuerzo torsional máximo.

$$\tau = \frac{T \cdot C}{J} = \frac{(12,21Nm)(d/2)}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{95,04 Nm}{\pi d^3},$$

Luego el esfuerzo torsional máximo es $\tau = \frac{195,36 Nm}{\pi d^3}$

Ya que se cuenta con el esfuerzo de flexión y de torsión, se calcula los esfuerzos principales²⁰ sobre el eje.

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\tau^2 + \frac{\sigma^2}{4}} = \frac{\frac{760Nm}{\pi d^3}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{195,36 Nm}{\pi d^3}\right)^2 + \frac{\left(\frac{760Nm}{\pi d^3}\right)^2}{4}}$$

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{380Nm}{\pi d^3} \pm \sqrt{\left(\frac{38.165,53 N^2 m^2}{\pi^2 d^9}\right) + \left(\frac{144.400 N^2 m^2}{\pi^2 d^9}\right)}$$

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{380Nm}{\pi d^3} \pm \sqrt{\frac{182.565,53 N^2 m^2}{\pi^2 d^9}} = \frac{380Nm}{\pi d^3} \pm \frac{427,28 Nm}{\pi d^3}$$

¹⁹ Mott, Robert. Resistencia de materiales. Módulo de sección y procedimiento de diseño: Fórmula de flexión. México. 2009. Quinta edición. P 369.

²⁰ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Diseño de ejes: Procedimiento para diseñar ejes. México. 2006. Cuarta edición. P 530-540.

Esfuerzo principal σ_1

$$\sigma_1 = \frac{380Nm}{\pi d^3} + \frac{427,28 Nm}{\pi d^3} = \frac{807,28 Nm}{\pi d^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{807,28 Nm}{\pi d^3}$$

Esfuerzo principal σ_2

$$\sigma_2 = \frac{380Nm}{\pi d^3} - \frac{427,28 Nm}{\pi d^3} = \frac{-47,28 Nm}{\pi d^3}$$

El signo no influye en el esfuerzo, es decir que el esfuerzo es positivo:

$$\sigma_2 = \frac{47,28 Nm}{\pi d^3}$$

Ahora se determina el esfuerzo de Von Mises para calcular esfuerzos biaxiales en el eje.

$$\sigma_V^{21} = [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\sigma_1 * \sigma_2)]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_V = \left[\left(\frac{807,28 Nm}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{47,28 Nm}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{807,28 Nm}{\pi d^3} * \frac{47,28 Nm}{\pi d^3} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_V = \frac{831,93 Nm}{\pi d^3}$$

²¹ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Diseño de ejes: Procedimiento para diseñar ejes. México. 2006. Cuarta edición. P 530-540.

Finalmente la teoría de la energía de distorsión (DET) establece una falla en el eje si se cumple:

$$\sigma_V < \frac{S_y}{F.S.}$$

$$\frac{831,93 \text{ Nm}}{\pi d^3} < \frac{S_y}{F.S.} \text{ Despejamos } d, \text{ luego:}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{(831,93 \text{ Nm})(F.S.)}{\pi S_y}} = \sqrt[3]{\frac{(831,93 \text{ Nm})(2)}{\pi(352 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2)}}$$

$$d \geq 0,01146 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} = 0,4512 \text{ in} \approx \frac{1}{2} \text{ in}$$

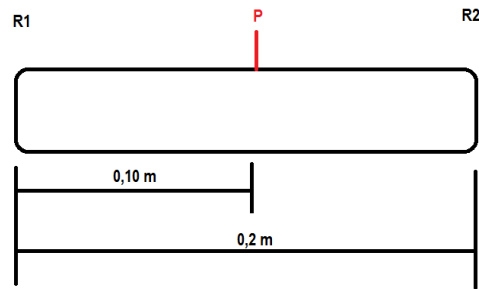
$$d \geq \frac{1}{2} \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo del eje del motor eléctrico a la caja reductora es de $\frac{1}{2} \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$ con acero AISI 1040 recocido y una longitud de 0,2 m.

11.10 Cálculos del eje de la caja reductora al soporte de la probeta.

Para los cálculos del diámetro del eje de la caja reductora al soporte de la probeta, se debe tener en cuenta los datos de entrada. En este caso se va a usar un motor eléctrico con una potencia de 3 hp a una velocidad de salida de 90 rpm. Estableciendo los datos anteriores, se determina el diámetro del eje, en la figura 20, se tiene el diagrama de cuerpo libre

Figura 20. Diagrama fuerzas presentes



Fuente: Autores.

Donde:

R₁: Resistencia caja reductora.

R₂: Resistencia soporte probeta

P: Fuerza del eje.

Ahora se halla el par de torsión producido por el motor eléctrico

$$\frac{90 \text{ rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = \frac{9,42 \text{ rad}}{\text{s}}$$

Finalmente se convierte los hp a watts.

$$P = 3 \text{ hp} * \frac{745,7 \text{ Nm/s}}{1 \text{ hp}} = 2.237,1 \text{ Nm/s}$$

Ya se puede calcular el par de torsión producido por la caja reductora.

$P = T \cdot n$ despejamos T, luego:

$$T = \frac{P}{n} = \frac{2.237,1 \text{ Nm/s}}{\frac{9,42 \text{ rad}}{s}} = 237,48 \text{ Nm.}$$

Ya que se tiene el par de torsión producido sobre el eje, se determina la fuerza producida sobre el eje, teniendo en cuenta, la distancia de aplicación de la fuerza es equivalente al radio del eje del motor ($d = r$), cuyo diámetro es de 1 in, su radio es $\frac{1}{2}$ in.

$$r = \frac{1}{2} \text{ in} * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} * \left(\frac{1 \text{ m}}{1.000 \text{ mm}} \right) = 0,013 \text{ m.}$$

Ahora se determina la fuerza resultante con la fórmula de torque

T: $F \cdot d$ Despejando F.

$$F = \frac{T}{r} = \frac{237,48 \text{ Nm}}{0,013 \text{ m}} = 18.267,69 \text{ N} \approx 18.300 \text{ N.}$$

Ya teniendo en cuenta el valor de la fuerza producida en el eje, se calculan las resistencias R_1 y R_2 con el fin de determinar las fuerzas cortantes y momentos flectores del eje, para hallar el diámetro recomendado del eje.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 - 18.300 \text{ N} + R_2 = 0$$

$$R_1 = 18.300 \text{ N} - R_2 \quad (1)$$

Ahora se halla los momentos flectores sobre el eje

$$\sum M_0 = 0$$

$$18.300 \text{ N} (0,1\text{m}) - R_2 (0,2\text{m}) = 0; \text{ despejamos } R_2.$$

$$R_2 = \frac{1.830 \text{ Nm}}{0,2 \text{ m}} = 9.150 \text{ N}$$

$$R_2 = 9.150 \text{ N}$$

Ahora se reemplaza en el paso (1)

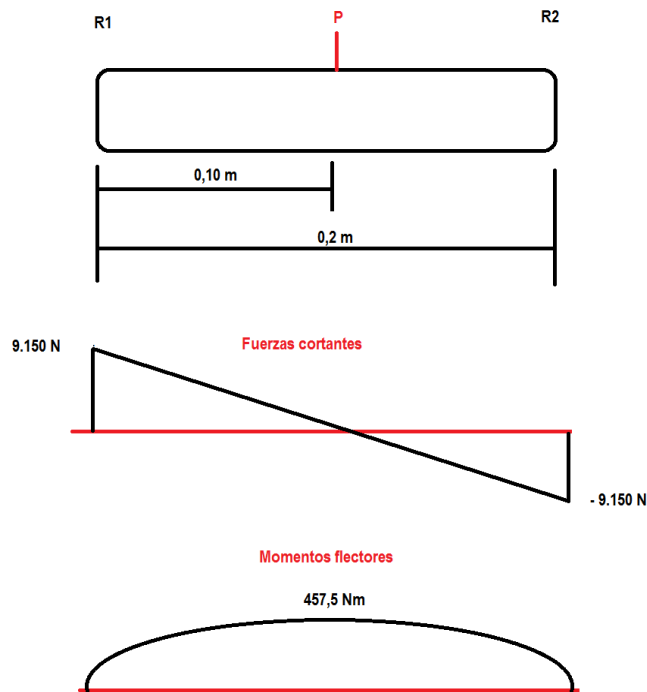
$$R_1 = 18.300 \text{ N} - R_2$$

$$R_1 = 18.300 \text{ N} - 9.150 \text{ N}$$

$$R_1 = 9.150 \text{ N}.$$

En la figura 21, se determina con el diagrama de cuerpo libre, las fuerzas cortantes y momentos flexionantes del eje.

Figura 21. Resultados fuerzas cortantes



Fuente: Autores.

Características del eje:

Material: Acero AISI 1040 recocido $S_y = 352 \text{ Mpa} = 352 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

Torque: 237,48 Nm

Momento flector máximo: 457,5 Nm.

Eje circular:

$$\text{Momento de inercia } I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\text{Momento polar de inercia } J = \frac{\pi d^4}{32}$$

Factor de seguridad: (F.S.) = 2 para materiales dúctiles.

Se calcula el esfuerzo flector máximo²²

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{(457,5 \text{ Nm})(d/2)}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{14.640 \text{ Nm}}{\pi d^3},$$

Luego el esfuerzo flector máximo es $\sigma = \frac{14.640 \text{ Nm}}{\pi d^3}$

Luego se halla el esfuerzo torsional máximo.

$$\tau = \frac{T \cdot C}{J} = \frac{(237,48 \text{ Nm})(d/2)}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{3.799,68 \text{ Nm}}{\pi d^3},$$

Luego el esfuerzo torsional máximo es $\tau = \frac{3.799,68 \text{ Nm}}{\pi d^3}$

Ya que se cuenta con el esfuerzo de flexión y de torsión, se calcula los esfuerzos principales²³ sobre el eje.

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\tau^2 + \frac{\sigma^2}{4}} = \frac{\frac{14.640 \text{ Nm}}{\pi d^3}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{3.799,68 \text{ Nm}}{\pi d^3}\right)^2 + \frac{\left(\frac{14.640 \text{ Nm}}{\pi d^3}\right)^2}{4}}$$

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{7.320 \text{ Nm}}{\pi d^3} \pm \sqrt{\left(\frac{14.437.568,1 \text{ N}^2 \text{ m}^2}{\pi^2 d^9}\right) + \left(\frac{53.582.400 \text{ N}^2 \text{ m}^2}{\pi^2 d^9}\right)}$$

²² Mott, Robert. Resistencia de materiales. Módulo de sección y procedimiento de diseño: Fórmula de flexión. México. 2009. Quinta edición. P 369.

²³ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Diseño de ejes: Procedimiento para diseñar ejes. México. 2006. Cuarta edición. P 530-540.

$$\sigma_1 \cdot \sigma_2 = \frac{7.320 \text{ Nm}}{\pi d^3} \pm \sqrt{\frac{68.019.968,1 \text{ N}^2\text{m}^2}{\pi^2 d^9}} = \frac{7.320 \text{ Nm}}{\pi d^3} \pm \frac{8.247,42 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

Esfuerzo principal σ_1

$$\sigma_1 = \frac{7.320 \text{ Nm}}{\pi d^3} + \frac{8.247,42 \text{ Nm}}{\pi d^3} = \frac{15.567,42 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{15.567,42 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

Esfuerzo principal σ_2

$$\sigma_2 = \frac{7.320 \text{ Nm}}{\pi d^3} - \frac{8.247,42 \text{ Nm}}{\pi d^3} = \frac{-927,42 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

El signo no influye en el esfuerzo, es decir que el esfuerzo es positivo:

$$\sigma_2 = \frac{927,42 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

Ahora se determina el esfuerzo de Von Mises para calcular esfuerzos biaxiales en el eje.

$$\sigma_V^{24} = [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\sigma_1 * \sigma_2)]^{\frac{1}{2}}$$

²⁴ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Diseño de ejes: Procedimiento para diseñar ejes. México. 2006. Cuarta edición. P 530-540.

$$\sigma_V = \left[\left(\frac{15.567,42 \text{ Nm}}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{927,42 \text{ Nm}}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{15.567,42 \text{ Nm}}{\pi d^3} * \frac{927,42 \text{ Nm}}{\pi d^3} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_V = \frac{16.051,24 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

Finalmente la teoría de la energía de distorsión (DET) establece una falla en el eje si se cumple:

$$\sigma_V < \frac{S_y}{F.S.}$$

$$\frac{16.051,24 \text{ Nm}}{\pi d^3} < \frac{S_y}{F.S.} \text{ Despejamos d, luego:}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{(16.051,24 \text{ Nm})(F.S.)}{\pi S_y}} = \sqrt[3]{\frac{(16.051,24 \text{ Nm})(2)}{\pi(352 * 10^6 \text{ N/m}^2)}}$$

$$d \geq 0,03073 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} = 1,21 \text{ in} \approx 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$d \geq 1 \frac{1}{4} \text{ in} = 31,75 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo del eje de la caja reductora al soporte de la probeta es de $1 \frac{1}{4} \text{ in} = 31,75 \text{ mm}$ con acero AISI 1040 recocido y una longitud de 0,2 m.

11.11 Cálculo de cuñas del eje motor eléctrico a la caja reductora.

El diámetro del eje es de $1/2 \text{ in}$, los tamaños recomendados para cuñas entre $(7/16 \text{ in} - 9/16 \text{ in})$ es una cuña cuadrada de $1/8 \text{ in}$ con un ancho de $1/8 \text{ in}$. Ver apéndice 5.

Se halla la longitud mínima recomendada de la cuña²⁵

$$T = 12,21 \text{ Nm}$$

N: Factor de diseño = 3

$$D = 0,5 \text{ in} = 12,7 \text{ mm} = 0,0127 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{8} \text{ in} = 3,17 \text{ mm} = 0,0032 \text{ m}$$

S_y : Acero 1020 laminado en caliente $(207 \text{ MPa} = 207 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})$. (Apéndice 1)

$$L = \frac{4TN}{DWS_y} = \frac{4(12,21 \text{ Nm}) * 3}{(0,0127 \text{ m})(0,0032 \text{ m})(207 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})} = 0,01742 \text{ m} = 17,42 \text{ mm} (0,69 \text{ in})$$

Resumen de la cuña seleccionada:

Material: Acero AISI 1020 laminado en caliente

Ancho: $\frac{1}{8}$ in (3,17 mm)

Altura: $\frac{1}{8}$ in (3,17 mm)

Longitud: 0,69 in (17,42 mm).

²⁵ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Cuñas, acoplamientos y sellos: Longitud necesaria para la cuña. México. 2006. Cuarta edición. P 500.

11.12 Cálculo de cuñas del eje caja reductora al soporte de la probeta.

El diámetro del eje es de $1\frac{1}{4}$ in, los tamaños recomendados para cuñas entre ($\frac{7}{8}$ in – $1\frac{1}{4}$ in) es una cuña cuadrada de $\frac{1}{4}$ in con un ancho de $\frac{1}{4}$ in. Ver apéndice 5.

Se halla la longitud mínima recomendada de la cuña²⁶

$$T = 237,48 \text{ Nm}$$

$$N: \text{Factor de diseño} = 3$$

$$D = 1,25 \text{ in} = 31,75 \text{ mm} = 0,032 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{4} \text{ in} = 6,35 \text{ mm} = 0,0063 \text{ m}$$

$$S_y: \text{Acero 1020 laminado en caliente} \left(207 \text{ MPa} = 207 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right). \text{ (Apéndice 1)}$$

$$L = \frac{4TN}{DWS_y} = \frac{4(237,48 \text{ Nm}) * 3}{(0,032 \text{ m})(0,0063 \text{ m}) \left(207 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} = 0,06829 \text{ m} = 68,29 \text{ mm} (2,69 \text{ in})$$

Resumen de la cuña seleccionada:

Material: Acero AISI 1020 laminado en caliente

Ancho: $\frac{1}{4}$ in (6,35 mm)

Altura: $\frac{1}{4}$ in (6,35 mm)

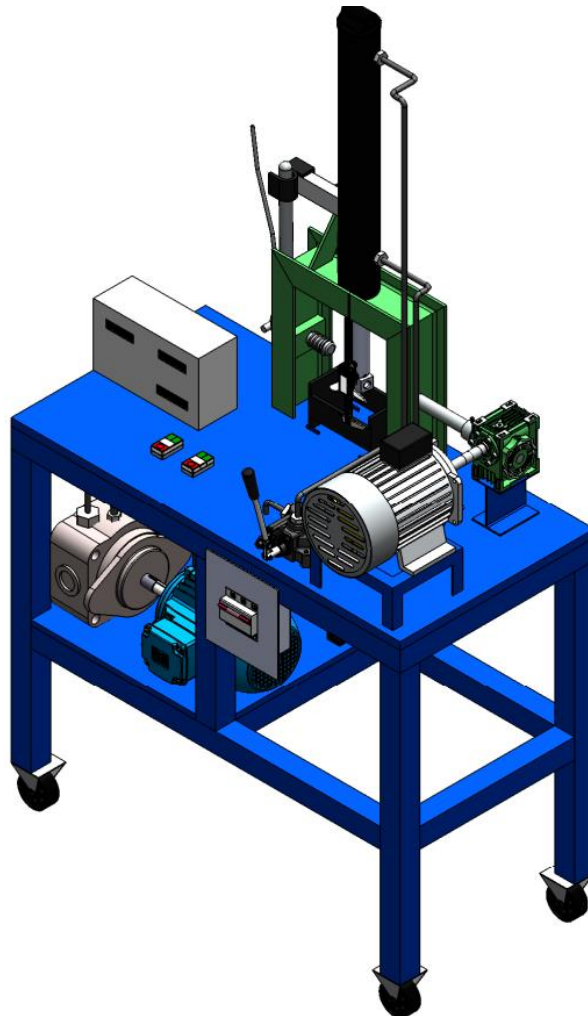
Longitud: 2,69 in (68,29 mm).

²⁶ Mott, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Cuñas, acoplamientos y sellos: Longitud necesaria para la cuña. México. 2006. Cuarta edición. P 500.

12. DISEÑO DEL BANCO DIDÁCTICO.

La etapa del diseño para el proyecto, se realiza mediante el programa de diseño mecánico solidworks. Donde se realizó el ensamble de todos los componentes mecánicos, hidráulicos para establecer el prototipo del banco didáctico.

Figura 22. Diseño del banco didáctico



Fuente: Autores

13. CONSTRUCCIÓN.

Culminada la etapa de diseño, se realiza la construcción de todos los componentes de la máquina, se debe tener en cuenta el cronograma de actividades y se anexan los aspectos principales de esta fase.

Se realiza la construcción de la estructura principal y la instalación del actuador hidráulico. Ver figura 23.

Figura 23. Instalación del actuador hidráulico.



Fuente: Autores.

Se alinea el sistema hidráulico con los soportes del motor eléctrico y la bomba hidráulica de deflexión de ejes.

Figura 24. Motor eléctrico suministrado para el banco.



Fuente: Autores.

Luego, se acoplan los soportes a la estructura del actuador hidráulico, ver figura 25 y 26.

Figura 25. Soportes de la probeta torsión.



Fuente: Autores.

Figura 26. Acoplamiento soporte probeta torsión.



Fuente: Autores.

Finalmente se realiza la instalación y medición de todos los componentes del banco didáctico para ser pintado. Figuras 27 y 28

Figura 27. Ensamblaje componentes del banco didáctico.



Fuente: Autores.

Figura 28. Pintura del banco didáctico



Fuente: Autores

Finalmente se realiza la instalación de todos los componentes y la pintura final para culminar la etapa de construcción. Ver figura 29 y 30.

Figura 29. Instalación final de componentes del banco didáctico.



Fuente: Autores.

Figura 30. Banco didáctico final proyecto.



Fuente: Autores.

14. PUESTA EN MARCHA.

Etapa de puesta en marcha comienza con la culminación del proyecto de grado, en esta fase, se desarrollan pruebas de funcionamiento y ajustes para garantizar la durabilidad del equipo, se deben verificar fugas hidráulicas y juegos existentes en componentes móviles que disminuyen la vida útil del equipo.

Se verifican conexiones eléctricas y el giro del motor para generar la presión hidráulica para deflectar vigas, también se revisan el estado de las probetas de laboratorio.

Figura 31. Puesta en marcha del banco didáctico.



Fuente: Autores.

15 RECURSOS FISICOS

Para realizar el proyecto del banco didáctico, se realizaron las etapas en el laboratorio de mecánica industrial y en mecánica automotriz, también se llevara a cabo la construcción en un taller metal mecánico, ya que ellos cuentan con los equipos requeridos para la fabricación, construcción y puesta en marcha del equipo

15.1 RECURSOS HUMANOS.

El recurso humano, es de gran importancia en el desarrollo del proyecto de grado, ya que se cuenta con personal idóneo y certificado para las etapas de la metodología desarrollada.

- Ingenieros especialistas y magísteres Universidad Antonio Nariño.
- Estudiantes de ingeniería mecánica.
- Técnico de metalmecánica y mecánicos.
- Soldadores certificados.
- Técnicos electrónicos actualizados.
- Asesor de proyecto de grado.

16. PRESUPUESTO.

#	DESCRIPCION	C	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	Manómetro de glicerina de 2-1/2" de 3000 psi	1	23.750	23.750
2	Sistema hidráulico	1	1.000.000	1.000.000
3	Lamina de 1/4" x 1m x 1m	1	130.000	130.000
4	Perfil de "T" (i) de 1/4" x 3" x 1m	1	43.000	43.000
5	Angulo de 1/4" x 2" x 6m	4	58.500	234.000
6	Platina de 5/8" x 4" x 1m	1	85.700	85.700
7	Motor eléctrico de 3 HP a 1750 rpm	2	450.000	900.000
8	Caja reductora 50:1 de 35 rpm	1	550.000	550.000
9	Alquiler de taller y asesoría de construcción	1	1.500.000	1.500.000
10	rodachines para 100 kg	4	12.500	50.000
11	Terminal de cobre de 3/16"	6	100	600
12	Conector curvo para coraza de 1/2"	1	3.550	3.550
13	Interruptor de start-stop de 30ª	2	9.000	18.000
14	Regleta de 20ª	1	2.500	2.500
15	Cable encauchetado de 3x10	6	5.100	30.600
16	Cinta aislante negra	1	1.400	1.400
17	Clavija trifásica de 3x50	1	8.850	8.850
18	Caja 3 circuitos	1	13.300	13.300
19	Taco enchufable 3x30	1	59.000	59.000
20	Cable duplex de 2x16	4	800	3.200
21	Clavija 15ª	1	1.500	1.500
22	Pie de rey	1	60.000	60.000
23	Masilla gris 1/8 Kg	1	6.000	6.000
24	Thiner – gal	2	15.000	30.000
25	Base gris - gal ½	1	18.000	18.000
26	Laca negra 1/4 gal	1	12.000	12.000
27	Laca verde 1/16 gal	1	5.000	5.000
28	laca azul 1 gal	1	45.000	45.000
29	Lijas	6	1.000	6.000
30	Barniz 1/4 gal	1	15.000	15.000
31	Sistema de medición de fuerza	1	150.000	150.000

32	Diseño computarizado del proyecto	1	800.000	800.000
33	Asesoría ingenieril y de matemáticas	1	800.000	800.000
34	Aceite 10 w 3/4 de gal	1	42.500	42.500
35	Mano de obra en días laborados	18	88.900	1.600.200
36	Papelería	1	300.000	300.000
37	Implementos de sistema hidráulico	1	150.000	150.000
38	Gastos varios	1	850.000	850.000
39	Manómetro de glicerina de 2-1/2" de 2000 psi	1	23.750	23.750
Total gastos			\$ 9.572.400	

El total de la inversión del banco didáctico es de \$ 9.572.400

17. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

Actividades (Semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.FASE DE DISEÑO																
Búsqueda de información primaria, secundaria, complementaria y anexos.																
Selección de información primaria, secundaria y complementos																
Elaboración del diseño preliminar del banco didáctico.																
Comprobación del diseño mediante modelos matemáticos, resistencia y selección de materiales																
Elaboración del documento anteproyecto de grado																
Comprobación del prototipo propuesto con un programa de diseño																
Presentación del anteproyecto de grado al comité de trabajos de grado CTG.																
Corrección de anteproyecto																
Aprobación de anteproyecto e inicio del proyecto de grado.																
2.FASE DE CONSTRUCCIÓN																
Inicio del libro final																
cálculos																
Comprobación de los materiales seleccionados																
Cotización de materiales																
Compra y transporte de los materiales																
Elaboración del documento final																
pruebas de funcionamiento																

18. RESULTADOS.

La implementación del proyecto de grado servirá de gran ayuda para los alumnos de la facultad de ingeniería mecánica de la UAN, ya que podrán profundizar los conocimientos teóricos de las clases e interactuar los fenómenos ocasionados por la torsión de ejes y deflexión de vigas, así como hallar los elementos de máquinas y selección de materiales.

Finalmente con la implementación de esta categoría de proyectos, lo alumnos enriquecerán los conocimientos teóricos de la ingeniería y podrán concluir sobre las ventajas y desventajas de la utilización de equipos, herramientas y máquinas en el sector industrial.

Se halla la torsión de cinco diferentes probetas de materiales metálicos y establecer la carga máxima de los ejes circulares de Acero (AISI 1020, AISI 1040 e inoxidable S30400) cobre (C14500) y aluminio (2014-O).

Se determina la presión máxima para la flexión de cinco diferentes probetas de materiales metálicos y establecer la carga máxima de vigas rectangulares de Acero (AISI 1020, AISI 1040 e inoxidable S30400) cobre (C14500) y aluminio (2014-O).

19. CONCLUSIONES.

- ✓ Se determinó el diseño, construcción y funcionamiento de un Banco Didáctico de torsión de ejes circulares y deflexión de vigas rectangulares hasta 1/2 in, para ser implementado en los laboratorios del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño de Neiva
- ✓ Se diseñó estructura que aloje los elementos necesarios para el banco didáctico basado en previos cálculos matemáticos.
- ✓ Se implementó la etapa de construcción del banco didáctico previamente diseñado en software cumpliendo con los requerimientos necesarios para pruebas a realizar.
- ✓ Se probó el funcionamiento del banco didáctico de torsión de ejes y deflexión de vigas usando probetas calibradas
- ✓ Se elaboró el manual de pruebas de experimentos y guías de laboratorio para torsión y flexión máximas de ejes y vigas que se pueden implementar al banco didáctico en la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño.
- ✓ Se diseñó el manual de operación y mantenimiento requerido para el banco didáctico de torsión de ejes circulares y deflexión de vigas rectangulares para la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva.

20. BIBLIOGRAFÍA.

Budynas, Richard & Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Aceros aleados. Mexico. S.f. Octava edición. P 48

INCONTEC. Trabajos escritos: Presentación y referencias bibliográficas. Bogotá. Incontec. 2012. 50p. ISBN 9789589383810

MOLINA, Eyson A. (2.007). Diseño e implementación de un banco didáctico para alineación de elementos rotativos. Programa de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Autonomía de Occidente

Mott, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México: Pearson Prentice Hall. 2006. 944 p. ISBN 9702608120.

Mott, Robert L. Resistencia de Materiales. 5 ed. México: Pearson Prentice Hall, 2009. 792 p. ISBN: 9786074420470.

Paredes. J y Ordoñez. J. banco didáctico de transmisión mecánica de potencia con sus respectivas cadenas cinemáticas. Facultad de ingeniería Mecánica. Universidad Antonio Nariño. Neiva – Huila. 2014.

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Vigas. (Citado 15 Marzo 2015). Disponible en internet: http://www.academia.edu/6795910/TIPO_DE_VIGAS

Universidad Tecnológica de Pereira. Diferencia entre metales y plásticos. (Recuperado el 14 Julio 2015). Disponible en internet: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

21. WEBGRAFÍA.

ÁREA TECNOLÓGICA. Definición de mecanismos y tipos. (Citado 16 Julio de 2014). <http://www.areatecnologia.com/MECANISMOS%20Y%20TIPOS.htm>

Curso cnice. Leva (Citado el 25 de Septiembre 2014).
http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_leva.htm#descripcion

Dikoin. Estudios de pórticos. Disponible en internet:
<<http://dikoin.com/wp-content/uploads/2014/10/ST-01.2-ESTUDIO-DE-PORTICOS.pdf>>

Gunt Hamburg. Equipos para la educación en ingeniería: Deformación de vigas ejes recto. Disponible en internet:
<[http://www.gunt.de/static/s3630_3.php?p1=&p2=&pN=;";>](http://www.gunt.de/static/s3630_3.php?p1=&p2=&pN=;)

23. ANEXOS.

NOTA: El apéndice 1 al apéndice 5 se tomó del libro (diseño de elementos de máquinas de Mott quinta edición).

Apéndice 1. Propiedades aceros al carbono

Designación del material (Número AISI)	Condición	S_{44} Resistencia a la tensión		S_y Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Laminado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Estirado en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Laminado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Estirado en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Laminado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Estirado en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Laminado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Estirado en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

Apéndice 2. Propiedades cobre.

Material y condición	Resistencia máxima, s_u		Resistencia a la cadencia, s_y		Porcentaje de alargamiento	Densidad		Módulo de elasticidad, E	
	ksi	MPa	ksi	MPa		lb/m ³	kg/m ³	lb/in. ²	GPa
<i>Aceros inoxidables</i>									
AISI 301 recocido	110	758	40	276	60	0.290	8030	28×10^6	193
AISI 301 duro	185	1280	140	965	8	0.290	8030	28×10^6	193
AISI 430 recocido	75	517	40	276	30	0.280	7750	29×10^6	200
AISI 430 duro	90	621	80	552	15	0.280	7750	29×10^6	200
AISI 501 recocido	70	483	30	207	28	0.280	7750	29×10^6	200
AISI 501OQT 1000	175	1210	135	931	15	0.280	7750	29×10^6	200
17-4PH H900	210	1450	185	1280	14	0.281	7780	28.5×10^6	197
PH 13-8 Mo H1000	215	1480	205	1410	13	0.279	7720	29.4×10^6	203
<i>Cobre y sus aleaciones</i>									
Cobre C14500	blando	32	221	10	69	0.323	8940	17×10^6	117
	duro	48	331	44	303				
Cobre al berilio C17200	blando	72	496	20	138	0.298	8250	19×10^6	131
	duro	195	1344	145	1000				
Latón C36000	blando	44	305	18	124	0.308	8530	16×10^6	110
	duro	70	480	35	240				
Bronce C54400	duro	68	469	57	393	0.318	8800	17×10^6	117
<i>Magnesio-fundido</i>									
ASTM AZ 63A-T6		40	276	19	131	0.066	1830	6.5×10^6	45
Zinc—fundido ZA 12		58	400	47	324	0.218	6030	12×10^6	83

Apéndice 3. Propiedades aluminio.

Aleación y tratamiento	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Resistencia al corte		Resistencia a la fatiga	
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)
1060-O	10	69	4	28	43	7	48	3	21
1060-H14	14	97	11	76	12	9	62	5	34
1060-H18	19	131	18	124	6	11	121	6	41
1350-O	12	83	4	28	28	8	55		
1350-H14	16	110	14	97		10	69		
1350-H19	27	186	24	165		15	103	7	48
2014-O	27	186	14	97	18	18	124	13	90
2014-T4	62	427	42	290	20	38	262	20	138
2014-T6	70	483	60	414	13	42	290	18	124
2024-O	27	186	11	76	22	18	124	13	90
2024-T4	68	469	47	324	19	41	283	20	138
2024-T361	72	496	57	393	12	42	290	18	124
2219-O	25	172	11	76	18				
2219-T62	60	414	42	290	10			15	103
2219-T87	69	476	57	393	10			15	103
3003-O	16	110	6	41	40	11	121	7	48
3003-H14	22	152	21	145	16	14	97	9	62
3003-H18	29	200	27	186	10	16	110	10	69
5052-O	28	193	13	90	30	18	124	16	110
5052-H34	38	262	31	214	14	21	145	18	124
5052-H38	42	290	37	255	8	24	165	20	138
6061-O	18	124	8	55	30	12	83	9	62
6061-T4	35	241	21	145	25	24	165	14	97
6061-T6	45	310	40	276	17	30	207	14	97
6063-O	13	90	7	48		10	69	8	55
6063-T4	25	172	13	90	22				
6063-T6	35	241	31	214	12	22	152	10	69
7001-O	37	255	22	152	14				
7001-T6	98	676	91	627	9			22	152
7075-O	33	228	15	103	16	22	152		
7075-T6	83	572	73	503	11	48	331	23	159

Nota: Propiedades comunes:

Densidad: 0.095 a 0.102 lb/pulg³ (2635 a 2829 kg/m³)

Módulo de elasticidad: 10 a 10.6 × 10⁶ psi (69 a 73 GPa)

Resistencia a la fatiga a 5 × 10⁸ ciclos

Apéndice 4. Propiedades aceros inoxidable.

Designación del material		Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en pulgadas)
Número AISI	UNS		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
Aceros austeníticos							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Duro total	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Duro total	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
Aceros ferríticos							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
Aceros martensíticos							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
Aceros endurecidos por precipitación							
17-4PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380	175	1210	10
		TH 1050	175	1210	155	1070	12

Apéndice 5. Tamaño de cuñas.

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 ¹ / ₄	1/4	1/4	3/16
1 ¹ / ₄	1 ³ / ₈	5/16	5/16	1/4
1 ³ / ₈	1 ¹ / ₂	3/8	3/8	1/4
1 ³ / ₄	2 ¹ / ₄	1/2	1/2	3/8
2 ¹ / ₄	2 ³ / ₄	5/8	5/8	7/16
2 ³ / ₄	3 ¹ / ₄	3/4	3/4	1/2
3 ¹ / ₄	3 ³ / ₄	7/8	7/8	5/8
3 ³ / ₄	4 ¹ / ₂	1	1	3/4
4 ¹ / ₂	5 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₄	7/8
5 ¹ / ₂	6 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	1
6 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂	1 ³ / ₄	1 ³ / ₄	1 ¹ / ₂
7 ¹ / ₂	9	2	2	1 ¹ / ₂
9	11	2 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂	1 ³ / ₄
11	13	3	3	2
13	15	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂
15	18	4		3
18	22	5		3 ¹ / ₂
22	26	6		4
26	30	7		5

Anexo 1. Manual de operación requerido

Para la correcta operación y manipulación del banco didáctico, es necesario que lea cuidadosamente las instrucciones otorgadas para evitar daños prematuros al equipo u ocasionar daños personales.

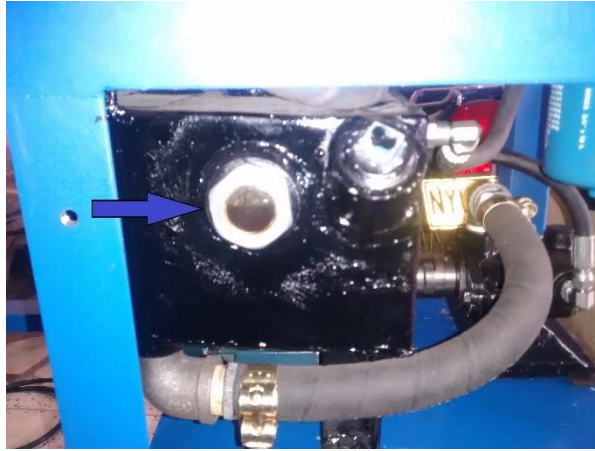
PREPARACION GENERAL DEL EQUIPO.

- Portar los elementos de protección personal (E.P.P) que constan de: Gafas, botas, overol, casco de seguridad o según se aplique a la clase.
- Accionar el freno de los rodachines.



- Asegúrese de que no hayan elementos que obstruyen los elementos móviles del equipo.

- Verificar el nivel de aceite el cual debe estar en la parte media del visor de nivel.



- Conectar las fuentes de poder a la respectiva toma de corriente. En el primer caso **(1)** 110v y en el segundo **(2)** se requiere toma de corriente trifásica.



- Subir el taco del tablero de control eléctrico.



- Activar la protección térmica ubicada al lado izquierdo del tablero de control eléctrico presionando el botón verde.



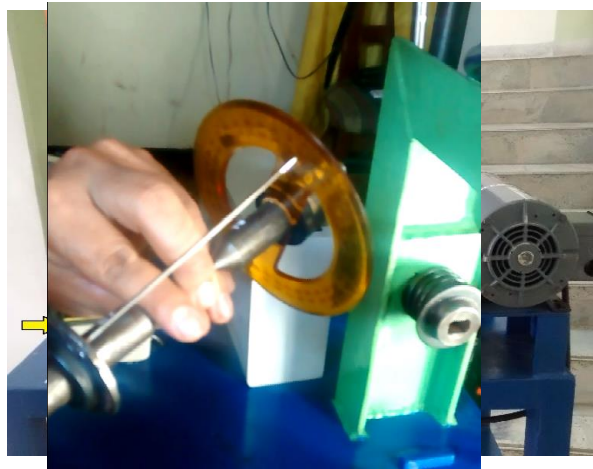
- Revisar que el sentido de giro de los motores sea el correcto, para esto hacemos una serie de pulsaciones en el interruptor que controla el motor de torsión. Si el sentido de giro no es el correcto procedemos a invertir dos cables en la clavija de alimentación trifásica del equipo, con esto lograremos cambiar el sentido de giro del motor.



- Presionar el interruptor que controla el motor de la bomba hidráulica y proceda a bajar y subir el embolo accionando la palanca dispuesta en el mando hidráulico, seguidamente revise si hay fugas en el sistema.

PREPARACION PARA ENSAYO DE TORSIÓN

- Tomar la probeta y acoplarle los aditamentos dispuestos para la medición del ángulo de torsión asegurándose que quede enfrentado el cero del transportador con la punta del indicador.



- Dar pulsos en el interruptor del motor de torsión hasta que planas de la guía queden paralelas a la superficie de la mesa.



- Insertar primero la probeta en la guía del lado derecho del equipo y luego ejerza presión sobre la palanca la cual le da espacio para insertar el otro extremo y así quede asegurada la probeta.



- Encender el dispositivo que muestra la fuerza ejercida por el sistema asegurándose que quede en cero, de no ser así apagarlo y encenderlo nuevamente.

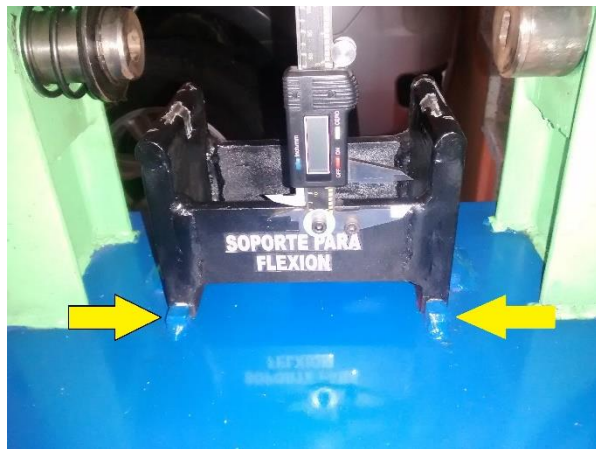


- Iniciar la prueba dando pulsos en el interruptor del motor de torsión recolectando los datos que nos arroja entre pulsos.



PREPARACION PARA ENSAYO DE FLEXION

- Tomar el soporte para flexión y encajarlo en las guías teniendo cuidado con el pie de rey y que quede bien encajado.



- Pinar la palanca que nos permite insertar la probeta de torsión para que nos dé el espacio requerido para realizar la prueba de flexión.



- Poner sobre los apoyos del soporte para flexión la probeta procurando que queden equidistantes los extremos de la probeta a los puntos de apoyo.



- Encender el motor que activa la bomba hidráulica.



- Accionar la palanca del mando hidráulico lentamente hacia atrás para que el embolo baje y posicionarlo en la parte superior de la probeta, tener cuidado de apenas tocar la probeta parar.



- Ajustar el pie de rey de tal forma que el brazo quede tocando la pestaña que sobresale del embolo.



- Prender el pie de rey, ponerlo en cero y escoger el sistema de unidades que vamos a utilizar.



- Empezar la prueba accionando hacia atrás la palanca del mando hidráulico de tal forma que el embolo baje muy lentamente e ir tomando los datos que arroje la prueba.



AL TERMINAR LOS ENSAYOS.

- Realice las pruebas de laboratorios según lo indique el docente y tener cuidado de accidentes por riesgo alto por partes móviles del equipo o aplastamiento de un miembro ocasionado por el actuador hidráulico,
- Finalizado la operación del banco didáctico, apagar el equipo colocando el taco en posición off en el tablero de control eléctrico.
- Organice el área de trabajo o laboratorio para que el inicio del equipo sea eficiente.
- Revisar que no existan fugas y retirar todo material de la prueba para mantener el equipo en excelentes condiciones de operación y mantenimiento.

Anexo 2. Manual de mantenimiento requerido.

El mantenimiento preventivo del banco didáctico es verificar los puntos clave para su revisión e inspección antes de operar el equipo, en eso se encuentra una limpieza de polvos, humedad, obstrucciones que perjudiquen el funcionamiento del banco didáctico para realizar pruebas de torsión en ejes y deflexión de vigas, se debe realizar una inspección a los elementos para verificar fugas, colisiones, vibraciones o ruidos extraños que pueda producir una parada prematura.

INSPECCIÓN: a diario se debe detectar posibles desgastes y fatiga de los materiales, piezas averiadas, desalineación del equipo y falta de lubricación de la bomba, esta actividad se debe realizar con el banco didáctico parada y en movimiento. Cada vez que se ponga a puesta en marcha el banco didáctico, verificar estado de cuñas, ajuste del motor eléctrico, verificar estado de la probeta y puntos de resistencia y fuerzas aplicadas.

AJUSTE: Semanalmente, se debe verificar y realizar un re ajuste a los componentes móviles del banco, apriete de tornillos, se deben verificar holguras entre ejes, cuñas y rodamientos ya que estos pueden verse afectado por la vibración del equipo y se debe prevenir cambiarlo antes de cumplir su vida útil de operación, cada ajuste del equipo se anexará en el documento final y en el mantenimiento requerido del banco didáctico.

LIMPIEZA: Se debe realizar cada vez que se vaya a usar el banco didáctico, una limpieza de los componentes eléctricos, electrónicos y de control, después de realizar la operación del equipo, dejar el equipo en excelentes condiciones de aseo y organización en el laboratorio.

LUBRICACIÓN: Es uno de los puntos más importantes para el mantenimiento requerido del banco didáctico ya que la fricción existente entre los componentes móviles y estáticos del equipo, reduce la vida útil y aumenta la fatiga de los

materiales, cada 400 horas se deben lubricar los rodamientos mediante graseras manuales portátiles, se debe verificar el estado del nivel del aceite hidráulico y comprobar el estado de las cuñas, la lubricación se debe realizar manualmente y cada mes realizar el mantenimiento para garantizar la durabilidad del banco didáctico y comprobar el nivel de aceite hidráulico para prevenir baja presión y ocasionar sobrecalentamiento y recalentamiento de la bomba hidráulica.

Anexo 3. Guías didácticas de laboratorio.

GUÍAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO Y PROPUESTAS EN LAS CLASES.

1. Guía de laboratorio para realizar pruebas de torsión de ejes.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE TORSIÓN DE EJES.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de torsión de ejes circulares de bronce
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando eje es ejercido a torsión, el material tiende a doblarse por la fricción y movimiento de las partículas del acero que tiende a acomodarse cuando se produce el torque, también se comprueba la potencia, torque, esfuerzos principales de deflexión y torsional para comprobar el tipo de material y la sección transversal.

Procedimiento:

Para realizar la siguiente actividad, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos para realizar adecuadamente la operación de torsión de ejes de BRONCE con diámetro de 3/8 in.

Se instala el banco didáctico en el área de trabajo correspondiente, se ubican los conectores eléctricos para la operación del equipo (ver manual de operación del equipo).

1. Se acopla la probeta en el medidor de ángulo para verificar la torsión producida por rotación de una caja reductora con una velocidad de 35 rpm.



2. Luego se activa el seguro de bloqueo para la instalación de la probeta en la máquina de torsión.



3. Luego de activar el seguro, se instala la probeta de torsión y se verifica que el medidor de ángulo este en 0°
4. Ahora que está instalada la probeta, se verifica que el medidor de fuerza esta en 0 y se activa el sistema eléctrico mediante los contactores de encendido de la máquina.



- Se enciende el motor eléctrico para activar el movimiento de la caja reductora y producir la torsión máxima y esfuerzo para producir la resistencia última o ruptura del material.

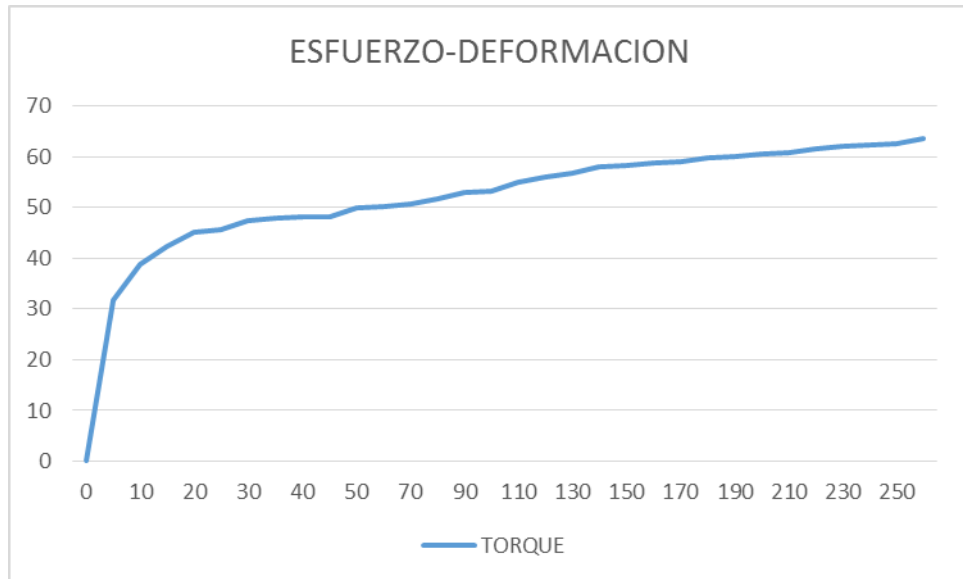


- Finalmente se realiza la ruptura del material y se toma los datos del experimento producido de torsión por el BRONCE.

RESULTADOS.

Los resultados obtenidos acerca de esta práctica de laboratorio se presentan a continuación.

BRONCE					
FUERZA	TORQUE	ANGULO	FUERZA	TORQUE	ANGULO
0	0	0	18,7	55,0341	110
10,8	31,7844	5	19	55,917	120
13,2	38,8476	10	19,3	56,7999	130
14,4	42,3792	15	19,7	57,9771	140
15,3	45,0279	20	19,8	58,2714	150
15,5	45,6165	25	20	58,86	160
16,1	47,3823	30	20,1	59,1543	170
16,3	47,9709	35	20,3	59,7429	180
16,4	48,2652	40	20,4	60,0372	190
16,4	48,2652	45	20,6	60,6258	200
17	50,031	50	20,7	60,9201	210
17,1	50,3253	60	20,9	61,5087	220
17,2	50,6196	70	21,1	62,0973	230
17,6	51,7968	80	21,2	62,3916	240
18	52,974	90	21,3	62,6859	250
18,1	53,2683	100	21,6	63,5688	260



Material	BRONCE
Diámetro probeta – longitud zona a estudiar	9,525 mm – 60mm
Velocidad de giro torsión	35 rpm
Potencia motor eléctrico	3 hp
Fuerza máxima	211,9 N
Torque máximo	63,57 Nm
Angulo máximo de torsión	260°

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J}$$

Donde:

T : Par torsión

c : Radio de la sección transversal

J : Momento polar de inercia de la sección transversal.

$$\tau_{max} = \frac{63,57Nm * \left(\frac{9,525 * 10^{-3}m}{2}\right)}{\frac{\pi(9,525 * 10^{-3}m)^4}{32}} = \frac{0,3027Nm^2}{8,0809 * 10^{-10}m^4} = 374,59MPa$$

CONCLUSIONES.

Con la ejecución de la práctica de laboratorio se pudo evidenciar las condiciones recomendadas para la torsión máxima de ruptura de una probeta de bronce con diámetro mínimo de 3/8 in.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección adjunta fotos posteriores a la torsión del eje de BRONCE con diámetro de 3/8 in.



2. Guía de laboratorio para realizar pruebas de torsión de ejes.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE TORSIÓN DE EJES.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de torsión de ejes circulares de ALUMINIO
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando eje es ejercido a torsión, el material tiende a doblarse por la fricción y movimiento de las partículas del acero que tiende a acomodarse cuando se produce el torque, también se comprueba la potencia, torque, esfuerzos principales de deflexión y torsional para comprobar el tipo de material y la sección transversal.

Procedimiento:

Para realizar la siguiente actividad, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos para realizar adecuadamente la operación de torsión de ejes de ALUMINIO con diámetro de 3/8 in.

Se instala el banco didáctico en el área de trabajo correspondiente, se ubican los conectores eléctricos para la operación del equipo (ver manual de operación del equipo).

1. Se acopla la probeta en el medidor de ángulo para verificar la torsión producida por rotación de una caja reductora con una velocidad de 35 rpm.



2. Luego se activa el seguro de bloqueo para la instalación de la probeta en la máquina de torsión.



3. Luego de activar el seguro, se instala la probeta de torsión y se verifica que el medidor de ángulo este en 0°



- Ahora que está instalada la probeta, se verifica que el medidor de fuerza está en 0 y se activa el sistema eléctrico mediante los contactores de encendido de la máquina.



- Se enciende el motor eléctrico para activar el movimiento de la caja reductora y producir la torsión máxima y esfuerzo para producir la resistencia última o ruptura del material.

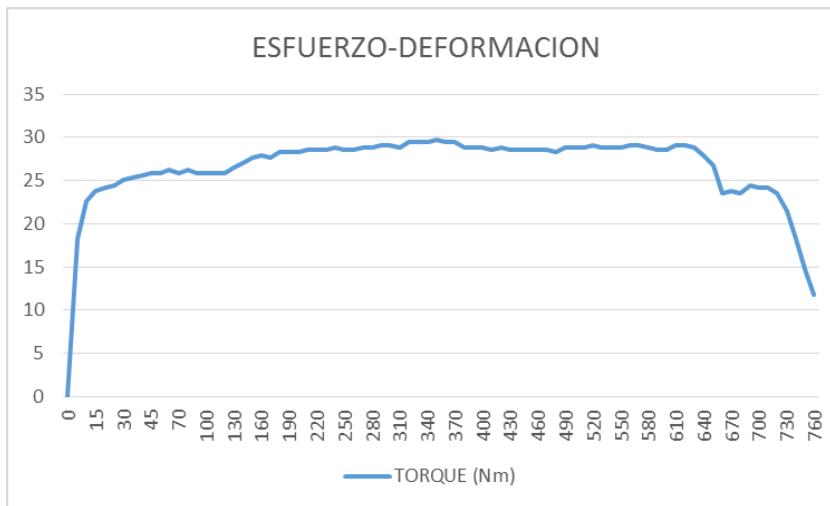


- Finalmente se realiza la ruptura del material y se toma los datos del experimento producido de torsión por el aluminio.

RESULTADOS.

Los resultados obtenidos acerca de esta práctica de laboratorio se presentan a continuación.

ALUMINIO			ALUMINIO			ALUMINIO		
FUERZA (KG)	TORQUE (Nm)	ANGULO (°)	FUERZA (KG)	TORQUE (Nm)	ANGULO (°)	FUERZA (KG)	TORQUE (Nm)	ANGULO (°)
0	0	0	9,7	28,5471	250	9,8	28,8414	550
6,2	18,2466	5	9,7	28,5471	260	9,9	29,1357	560
7,7	22,6611	10	9,8	28,8414	270	9,9	29,1357	570
8,1	23,8383	15	9,8	28,8414	280	9,8	28,8414	580
8,2	24,1326	20	9,9	29,1357	290	9,7	28,5471	590
8,3	24,4269	25	9,9	29,1357	300	9,7	28,5471	600
8,5	25,0155	30	9,8	28,8414	310	9,9	29,1357	610
8,6	25,3098	35	10	29,43	320	9,9	29,1357	620
8,7	25,6041	40	10	29,43	330	9,8	28,8414	630
8,8	25,8984	45	10	29,43	340	9,5	27,9585	640
8,8	25,8984	50	10,1	29,7243	350	9,1	26,7813	650
8,9	26,1927	60	10	29,43	360	8	23,544	660
8,8	25,8984	70	10	29,43	370	8,1	23,8383	670
8,9	26,1927	80	9,8	28,8414	380	8	23,544	680
8,8	25,8984	90	9,8	28,8414	390	8,3	24,4269	690
8,8	25,8984	100	9,8	28,8414	400	8,2	24,1326	700
8,8	25,8984	110	9,7	28,5471	410	8,2	24,1326	710
8,8	25,8984	120	9,8	28,8414	420	8	23,544	720
9	26,487	130	9,7	28,5471	430	7,3	21,4839	730
9,2	27,0756	140	9,7	28,5471	440	6,2	18,2466	740
9,4	27,6642	150	9,7	28,5471	450	5	14,715	750
9,5	27,9585	160	9,7	28,5471	460	4	11,772	760
9,4	27,6642	170	9,7	28,5471	470			
9,6	28,2528	180	9,6	28,2528	480			
9,6	28,2528	190	9,8	28,8414	490			
9,6	28,2528	200	9,8	28,8414	500			
9,7	28,5471	210	9,8	28,8414	510			
9,7	28,5471	220	9,9	29,1357	520			
9,7	28,5471	230	9,8	28,8414	530			
9,8	28,8414	240	9,8	28,8414	540			



Material	ALUMINIO
Diámetro probeta – longitud zona a estudiar	9,525 mm – 60mm
Velocidad de giro torsión	35 rpm
Potencia motor eléctrico	3 hp
Fuerza máxima	99,1 N
Torque máximo	29,72 Nm
Angulo máximo de torsión	760°

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J}$$

Donde:

T : Par torsión

c : Radio de la sección transversal

J : Momento polar de inercia de la sección transversal.

$$\tau_{max} = \frac{29,7243Nm * \left(\frac{9,525 * 10^{-3}m}{2}\right)}{\frac{\pi(9,525 * 10^{-3}m)^4}{32}} = \frac{0,1416Nm^2}{8,0809 * 10^{-10}m^4} = 175,23MPa$$

CONCLUSIONES.

Con la ejecución de la práctica de laboratorio se pudo evidenciar las condiciones recomendadas para la torsión máxima de ruptura de una probeta de aluminio con diámetro mínimo de 3/8 in.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección adjunta fotos posteriores a la torsión del eje de aluminio con diámetro de 3/8 in.



3. Guía de laboratorio para realizar pruebas de torsión de ejes.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE TORSIÓN DE EJES.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de torsión de ejes circulares de acero inoxidable
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando eje es ejercido a torsión, el material tiende a doblarse por la fricción y movimiento de las partículas del acero que tiende a acomodarse cuando se produce el torque, también se comprueba la potencia, torque, esfuerzos principales de deflexión y torsional para comprobar el tipo de material y la sección transversal.

Procedimiento:

Para realizar la siguiente actividad, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos para realizar adecuadamente la operación de torsión de ejes de acero inoxidable con diámetro de 3/8 in.

Se instala el banco didáctico en el área de trabajo correspondiente, se ubican los conectores eléctricos para la operación del equipo (ver manual de operación del equipo).

1. Se acopla la probeta en el medidor de ángulo para verificar la torsión producida por rotación de una caja reductora con una velocidad de 35 rpm.



2. Luego se activa el seguro de bloqueo para la instalación de la probeta en la máquina de torsión.



3. Luego de activar el seguro, se instala la probeta de torsión y se verifica que el medidor de ángulo este en 0°



4. Ahora que está instalada la probeta, se verifica que el medidor de fuerza esta en 0 y se activa el sistema eléctrico mediante los contactores de encendido de la máquina.



5. Se enciende el motor eléctrico para activar el movimiento de la caja reductora y producir la torsión máxima y esfuerzo para producir la resistencia última o ruptura del material.

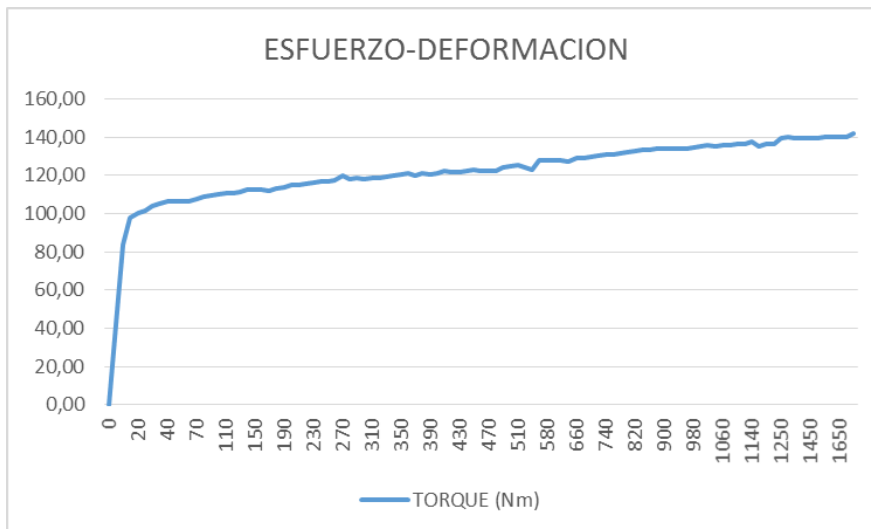


6. Finalmente se realiza la ruptura del material y se toma los datos del experimento producido de torsión por el acero inoxidable.

RESULTADOS.

Los resultados obtenidos acerca de esta práctica de laboratorio se presentan a continuación.

ACERO INOXIDABLE			ACERO INOXIDABLE			ACERO INOXIDABLE		
FUERZA (KG)	TORQUE (Nm)	ANGULO (°)	FUERZA (KG)	TORQUE (Nm)	ANGULO (°)	FUERZA (KG)	TORQUE (Nm)	ANGULO (°)
0	0,00	0	40,1	118,01	300	44,6	131,26	780
14,3	42,08	5	40,2	118,31	310	44,8	131,85	800
28,4	83,58	10	40,4	118,90	320	45	132,44	820
33,2	97,71	15	40,5	119,19	330	45,2	133,02	840
34	100,06	20	40,8	120,07	340	45,3	133,32	860
34,5	101,53	25	41	120,66	350	45,5	133,91	880
35,4	104,18	30	41,1	120,96	360	45,5	133,91	900
35,7	105,07	35	40,7	119,78	370	45,5	133,91	920
36,2	106,54	40	41,1	120,96	380	45,5	133,91	940
36,2	106,54	45	41	120,66	390	45,5	133,91	960
36,2	106,54	50	41,2	121,25	400	45,8	134,79	980
36,2	106,54	60	41,5	122,13	410	46	135,38	1000
36,6	107,71	70	41,3	121,55	420	46,2	135,97	1020
36,9	108,60	80	41,4	121,84	430	46	135,38	1040
37,1	109,19	90	41,5	122,13	440	46,1	135,67	1060
37,4	110,07	100	41,7	122,72	450	46,2	135,97	1080
37,5	110,36	110	41,5	122,13	460	46,3	136,26	1100
37,6	110,66	120	41,5	122,13	470	46,4	136,56	1120
37,8	111,25	130	41,6	122,43	480	46,8	137,73	1140
38,2	112,42	140	42,1	123,90	490	46	135,38	1160
38,3	112,72	150	42,3	124,49	500	46,4	136,56	1180
38,2	112,42	160	42,5	125,08	510	46,4	136,56	1200
38	111,83	170	42,1	123,90	520	47,3	139,20	1250
38,5	113,31	180	41,7	122,72	540	47,5	139,79	1300
38,6	113,60	190	43,4	127,73	560	47,4	139,50	1350
39	114,78	200	43,5	128,02	580	47,3	139,20	1400
39,1	115,07	210	43,4	127,73	600	47,3	139,20	1450
39,2	115,37	220	43,5	128,02	620	47,4	139,50	1500
39,4	115,95	230	43,2	127,14	640	47,5	139,79	1550
39,6	116,54	240	43,8	128,90	660	47,5	139,79	1600
39,6	116,54	250	43,9	129,20	680	47,5	139,79	1650
39,8	117,13	260	44,1	129,79	700	47,5	139,79	1700
40,8	120,07	270	44,3	130,37	720	48,1	141,56	1740
40	117,72	280	44,4	130,67	740			
40,3	118,60	290	44,5	130,96	760			



Material	ACERO INOXIDABLE
Diámetro probeta – longitud zona a estudiar	9,525 mm – 60 mm
Velocidad de giro torsión	35 rpm
Potencia motor eléctrico	3 hp
Fuerza máxima	471,86 N
Torque máximo	141,56 Nm
Angulo máximo de torsión	1.740°

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J}$$

Donde:

T : Par torsión

c : Radio de la sección transversal

J : Momento polar de inercia de la sección transversal.

$$\tau_{max} = \frac{141,56Nm * \left(\frac{9,525 * 10^{-3}m}{2}\right)}{\frac{\pi(9,525 * 10^{-3}m)^4}{32}} = \frac{0,6741Nm^2}{8,0809 * 10^{-10}m^4} = 834,19MPa$$

CONCLUSIONES.

Con la ejecución de la práctica de laboratorio se pudo evidenciar las condiciones recomendadas para la torsión máxima de ruptura de una probeta de acero inoxidable con diámetro mínimo de 3/8 in.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección adjunta fotos posteriores a la torsión del eje de acero inoxidable con diámetro de 3/8 in.



4. Guía de laboratorio para realizar pruebas de flexión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE FLEXIÓN DE VIGAS.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

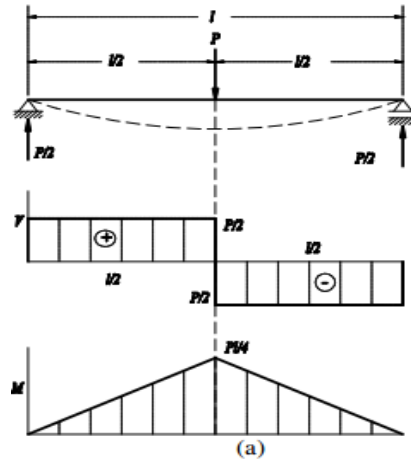
- Someter a pruebas de flexión de vigas de acero AISI 1045
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Determinar las características necesarias para que un diseñador mecánico requiere para seleccionar el tipo de material y aplicaciones en el sector industrial
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando una viga es sometida a flexión, se deben determinar las distancias entre cargas aplicadas, tipos de cargas, el momento de inercia y efectuar los cálculos respectivos para analizar las características y el material de la viga para encontrar el máximo esfuerzo y así conocer las propiedades de la viga.

En el caso en que la carga es una fuerza concentrada como lo trabajaremos en esta guía utilizamos la fórmula:

$$M_{flec} = Pl/4$$



W_x es el módulo de resistencia o momento resistente de la sección

$$W_x = \frac{Ix}{h/2}$$

I_x Es el momento de inercia de la sección con respecto al eje neutro x .

h Es la altura de la sección. Comúnmente se denomina $h/2 = c$, como la distancia desde el eje neutro a la zona más comprimida.

La condición de resistencia se escribe entonces: $\sigma = \frac{M_{flec}}{W_x} \leq [\sigma]$

Donde $[\sigma]$ es el esfuerzo permisible El momento de resistencia para una muestra de sección rectangular es: $W_x = \frac{Ix}{h/2}$

Por consiguiente, la fórmula de trabajo para el cálculo de los esfuerzos elásticos durante la flexión de probetas de secciones rectangulares es igual a:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Para la determinación del módulo de elasticidad se utilizará la fórmula de deflexión de una viga simplemente apoyada:

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI}$$

Procedimiento:

1. Se instala el equipo en el área de trabajo manteniendo el orden y limpieza de la operación del banco didáctico
2. Se acopla los soportes y apoyos de la probeta en la máquina de deflexión de vigas.



3. Para prevenir que se bloquee la viga con las pruebas de torsión se desbloquea el seguro para que la viga quede suspendida sobre los apoyos y no se presenten reacciones prematuras.



4. Se acopla la viga sobre los apoyos y resistencias para que se someta la carga perpendicular del actuador hidráulico, la viga es de acero AISI 1045 con dimensiones de $\frac{1}{2}$ de ancho.



5. Ahora se enciende el sistema hidráulico y mediante la palanca de accionamiento de la válvula desciende el vástago del cilindro hidráulico que genera la presión y flexión sobre la viga.



6. Se verifica el punto cero donde ejercerá la presión del cilindro hidráulico.



7. Finalmente se observa la flexión producida por el actuador hidráulico sobre la viga y la distancia que se defecto la viga sobre el eje horizontal.



RESULTADOS.

Los esfuerzos en la etapa de deformación elástica son calculados por las fórmulas corrientes de Resistencia de Materiales para la determinación de los esfuerzos normales en flexión. Módulo de rotura para una probeta de sección rectangular durante la flexión es igual a:

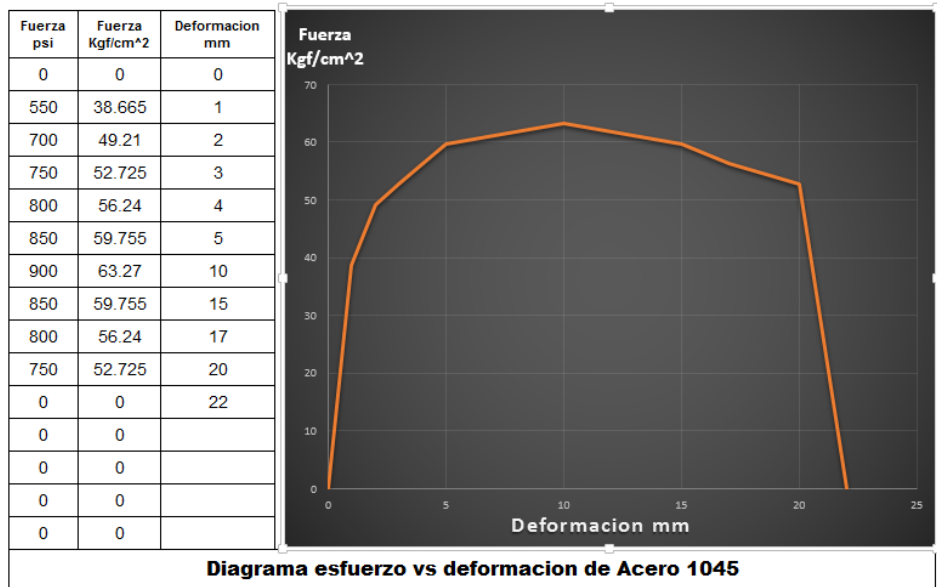
$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Los datos de estos se pueden encontrar en los manuales o pueden ser determinados experimentalmente.

Para nuestro laboratorio (acero 1045), dicho módulo es de

$$52.725 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (750 psi)}. \quad p = \frac{\sigma * 2 * b * h^2}{3 * l} = \frac{52.725 * 2 * 1.27 * 1.27^2}{3 * 1.397} = 51.53 \text{ kgf/cm}^2$$

Cargaremos a la probeta hasta alcanzar su rotura aplicando intervalos de carga de 5° en 5° los primeros 50 y luego de 10° en 10°. Los datos se consignarán en una tabla.



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos acerca de esta práctica de laboratorio se presentan a continuación y los comparamos con los teóricos obtenidos anteriormente

Material	ACERO AISI 1045
ancho probeta	12,7 mm
Presión máximo de flexión de vigas	750 psi = 5,171 Mpa
Potencia sistema hidráulico	3 hp
Fuerza máxima	35,1 N
Longitud de la probeta	0,2 m

CONCLUSIONES.

Con la ejecución de la práctica de laboratorio se pudo evidenciar las condiciones recomendadas para la flexión máxima de cedencia de una probeta de acero AISI 1045 con probetas de $\frac{1}{2}$ in. Hasta obtener ruptura de la probeta.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

Adjuntamos fotografía obtenida después de la prueba donde se evidencia fractura de la probeta



5. Guía de laboratorio para realizar pruebas de flexión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE FLEXIÓN DE VIGAS.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

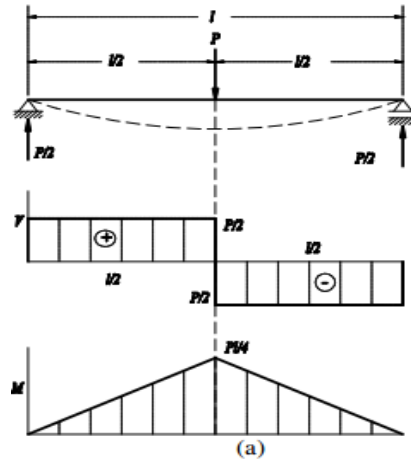
- Someter a pruebas de flexión de vigas de ALUMINIO
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Determinar las características necesarias para que un diseñador mecánico requiere para seleccionar el tipo de material y aplicaciones en el sector industrial
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando una viga es sometida a flexión, se deben determinar las distancias entre cargas aplicadas, tipos de cargas, el momento de inercia y efectuar los cálculos respectivos para analizar las características y el material de la viga para encontrar el máximo esfuerzo y así conocer las propiedades de la viga.

En el caso en que la carga es una fuerza concentrada como lo trabajaremos en esta guía utilizamos la fórmula:

$$M_{flec} = Pl/4$$



W_x es el módulo de resistencia o momento resistente de la sección

$$W_x = \frac{Ix}{h/2}$$

I_x Es el momento de inercia de la sección con respecto al eje neutro x .

h Es la altura de la sección. Comúnmente se denomina $h/2 = c$, como la distancia desde el eje neutro a la zona más comprimida.

La condición de resistencia se escribe entonces: $\sigma = \frac{M_{flec}}{W_x} \leq [\sigma]$

Donde $[\sigma]$ es el esfuerzo permisible El momento de resistencia para una muestra de sección rectangular es: $W_x = \frac{Ix}{h/2}$

Por consiguiente, la fórmula de trabajo para el cálculo de los esfuerzos elásticos durante la flexión de probetas de secciones rectangulares es igual a:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Para la determinación del módulo de elasticidad se utilizará la fórmula de deflexión de una viga simplemente apoyada:

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI}$$

Procedimiento:

1. Se instala el equipo en el área de trabajo manteniendo el orden y limpieza de la operación del banco didáctico
2. Se acopla los soportes y apoyos de la probeta en la máquina de deflexión de vigas.



3. Para prevenir que se bloquee la viga con las pruebas de torsión se desbloquea el seguro para que la viga quede suspendida sobre los apoyos y no se presenten reacciones prematuras.



4. Se acopla la viga sobre los apoyos y resistencias para que se someta la carga perpendicular del actuador hidráulico, la viga es de ALUMINIO con dimensiones de $\frac{1}{2}$ de ancho.



5. Ahora se enciende el sistema hidráulico y mediante la palanca de accionamiento de la válvula desciende el vástago del cilindro hidráulico que genera la presión y flexión sobre la viga.



6. Se verifica el punto cero donde ejercerá la presión del cilindro hidráulico.



7. Finalmente se observa la flexión producida por el actuador hidráulico sobre la viga y la distancia que se defecto la viga sobre el eje horizontal.



RESULTADOS.

Los esfuerzos en la etapa de deformación elástica son calculados por las fórmulas corrientes de Resistencia de Materiales para la determinación de los esfuerzos normales en flexión. Módulo de rotura para una probeta de sección rectangular durante la flexión es igual a:

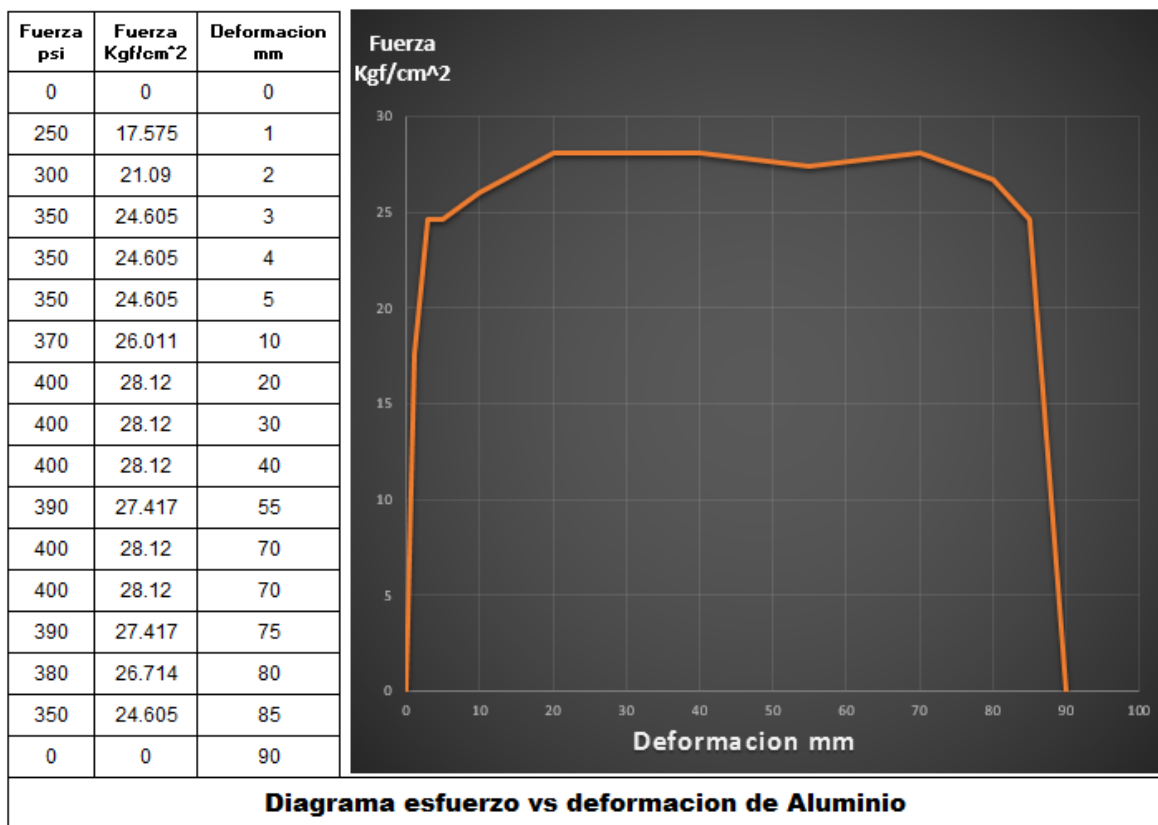
$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Los datos de estos se pueden encontrar en los manuales o pueden ser determinados experimentalmente.

Para nuestro laboratorio (ALUMINIO), dicho módulo es de

$$28.12 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (750 psi)}. \quad p = \frac{\sigma * 2 * b * h^2}{3 * l} = \frac{28.12 * 2 * 1.27 * 1.27^2}{3 * 1.397} = 27.48 \text{ kgf/cm}^2$$

Cargaremos a la probeta hasta alcanzar su rotura aplicando intervalos de carga de 5° en 5° los primeros 50 y luego de 10° en 10°. Los datos se consignarán en una tabla.



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos acerca de esta práctica de laboratorio se presentan a continuación y los comparamos con los teóricos obtenidos anteriormente

Material	ALUMINIO
ancho probeta	12,7
Presión máximo de flexión de vigas	400 psi = 2.758 MPa
Potencia sistema hidráulico	3 hp
Fuerza máxima	35,1 N
Longitud de la probeta	0,2 m

CONCLUSIONES.

Con la ejecución de la práctica de laboratorio se pudo evidenciar las condiciones recomendadas para la flexión máxima de cedencia de una probeta de ALUMINIO con probetas de $\frac{1}{2}$ in. Hasta obtener ruptura de la probeta.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

Adjuntamos fotografía obtenida después de la prueba donde se evidencia fractura de la probeta



6. Guía de laboratorio para realizar pruebas de flexión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE FLEXIÓN DE VIGAS.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

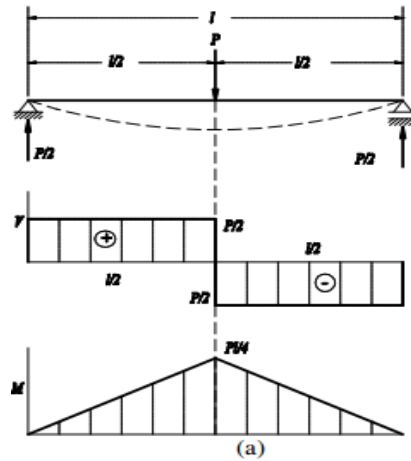
- Someter a pruebas de flexión de vigas de BRONCE
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Determinar las características necesarias para que un diseñador mecánico requiere para seleccionar el tipo de material y aplicaciones en el sector industrial
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando una viga es sometida a flexión, se deben determinar las distancias entre cargas aplicadas, tipos de cargas, el momento de inercia y efectuar los cálculos respectivos para analizar las características y el material de la viga para encontrar el máximo esfuerzo y así conocer las propiedades de la viga.

En el caso en que la carga es una fuerza concentrada como lo trabajaremos en esta guía utilizamos la fórmula:

$$M_{flec} = Pl/4$$



W_x es el módulo de resistencia o momento resistente de la sección

$$W_x = \frac{Ix}{h/2}$$

I_x Es el momento de inercia de la sección con respecto al eje neutro x .

h Es la altura de la sección. Comúnmente se denomina $h/2 = c$, como la distancia desde el eje neutro a la zona más comprimida.

La condición de resistencia se escribe entonces: $\sigma = \frac{M_{flec}}{W_x} \leq [\sigma]$

Donde $[\sigma]$ es el esfuerzo permisible El momento de resistencia para una muestra de sección rectangular es: $W_x = \frac{Ix}{h/2}$

Por consiguiente, la fórmula de trabajo para el cálculo de los esfuerzos elásticos durante la flexión de probetas de secciones rectangulares es igual a:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Para la determinación del módulo de elasticidad se utilizará la fórmula de deflexión de una viga simplemente apoyada:

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI}$$

Procedimiento:

1. Se instala el equipo en el área de trabajo manteniendo el orden y limpieza de la operación del banco didáctico
2. Se acopla los soportes y apoyos de la probeta en la máquina de deflexión de vigas.



3. Para prevenir que se bloquee la viga con las pruebas de torsión se desbloquea el seguro para que la viga quede suspendida sobre los apoyos y no se presenten reacciones prematuras.



4. Se acopla la viga sobre los apoyos y resistencias para que se someta la carga perpendicular del actuador hidráulico, la viga es de BRONCE con dimensiones de $\frac{1}{2}$ de ancho.



5. Ahora se enciende el sistema hidráulico y mediante la palanca de accionamiento de la válvula desciende el vástago del cilindro hidráulico que genera la presión y flexión sobre la viga.



6. Se verifica el punto cero donde ejercerá la presión del cilindro hidráulico.



7. Finalmente se observa la flexión producida por el actuador hidráulico sobre la viga y la distancia que se defecto la viga sobre el eje horizontal.



RESULTADOS.

Los esfuerzos en la etapa de deformación elástica son calculados por las fórmulas corrientes de Resistencia de Materiales para la determinación de los esfuerzos normales en flexión. Módulo de rotura para una probeta de sección rectangular durante la flexión es igual a:

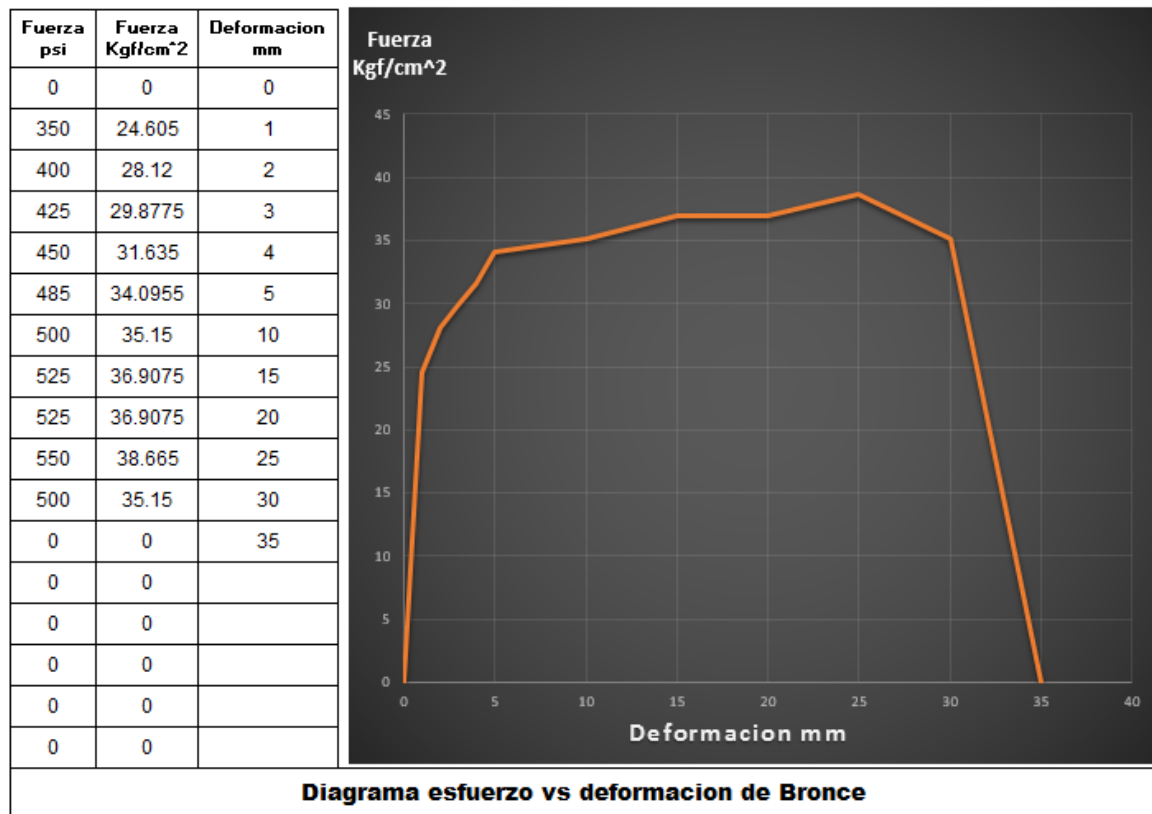
$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Los datos de estos se pueden encontrar en los manuales o pueden ser determinados experimentalmente.

Para nuestro laboratorio (acero 1045), dicho módulo es de

$$38.665 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (550 psi)}. \quad p = \frac{\sigma * 2 * b * h^2}{3 * l} = \frac{38.665 * 2 * 1.27 * 1.27^2}{3 * 1.397} = 37.79 \text{ kgf/cm}^2$$

Cargaremos a la probeta hasta alcanzar su rotura aplicando intervalos de carga de 5° en 5° los primeros 50 y luego de 10° en 10°. Los datos se consignarán en una tabla.



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos acerca de esta práctica de laboratorio se presentan a continuación y los comparamos con los teóricos obtenidos anteriormente

Material	BRONCE
ancho probeta	12,7 mm
Presión máximo de flexión de vigas	550 psi = 3.792 Mpa
Potencia sistema hidráulico	3 hp
Fuerza máxima	35,1 N
Longitud de la probeta	0,2 m

CONCLUSIONES.

Con la ejecución de la práctica de laboratorio se pudo evidenciar las condiciones recomendadas para la flexión máxima de cedencia de una probeta de BRONCE con una dimensión de $\frac{1}{2}$ in. Hasta obtener ruptura de la probeta.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

Adjuntamos fotografía obtenida después de la prueba donde se evidencia fractura de la probeta



GUIAS PROPUESTAS PARA FUTURAS PRUEBAS

1. Guía de laboratorio para realizar pruebas de flexión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE FLEXIÓN EN VIGAS.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de flexión vigas rectangulares de acero AISI-1045, una en estado normal y la otra OQT400 y observar las diferencias de comportamiento.
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando una viga es sometida a flexión, se deben determinar las distancias entre cargas aplicadas, tipos de cargas, el momento de inercia y efectuar los cálculos respectivos para analizar las características y el material de la viga para encontrar el máximo esfuerzo y así conocer las propiedades de la viga.

Procedimiento:

1. Medir la longitud y el diámetro de cada viga o las dimensiones correspondientes.
2. Colocar una de ellas en los apoyos de modo que quede simétrica.
3. Colgar en medio el actuador hidráulico
4. Medir la deflexión de la viga, anotar carga y deflexión para realizar los resultados y conclusiones.
5. Repetir el paso anterior hasta que el cilindro falle.
6. Hacer un diagrama de cuerpo libre de cada una de las vigas.
7. Elaborar el diagrama de cortantes y de momentos flectores para cada viga.
8. Calcular el máximo esfuerzo de flexión aplicado a cada una de las vigas.
9. Al finalizar el laboratorio, deberá entregar una hoja con la fecha, la hora, el tema del laboratorio y las mediciones efectuadas. Se debe anexar los cálculos, ya que es primordial para su calificación.

RESULTADOS.

Debe incluir los datos obtenidos en las pruebas realizadas. Haga las consideraciones necesarias respecto a las similitudes y diferencias en el comportamiento de las vigas. Investigue sobre el comportamiento esperado para cada situación y que características se pueden observar entre los dos materiales.

CONCLUSIONES.

Realice conclusiones sobre la actividad, que ventajas y desventajas sirve implementar el acero 1045 para deflectar vigas, cuales son los métodos para seleccionar las dimensiones y material correspondiente

.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección adjunte fotos, diagramas o tablas necesarias sobre la actividad realizada.

2. Guía de laboratorio para realizar pruebas de torsión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE TORSIÓN DE EJES.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de torsión ejes circulares de acero AISI 104, AISI 1080, y acero estructural A36 para comprobar el máximo punto de esfuerzo a la cedencia y fluencia del material.
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Determinar las características necesarias para que un diseñador mecánico requiere para seleccionar el tipo de material y aplicaciones en el sector industrial
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando eje es ejercido a torsión, el material tiende a doblarse por la fricción y movimiento de las partículas del acero que tiende a acomodarse cuando se produce el torque, también se comprueba la potencia, torque, esfuerzos principales de deflexión y torsional para comprobar el tipo de material y la sección transversal.

Procedimiento:

1. Medir la longitud y el diámetro de cada eje o las dimensiones correspondientes.
2. Colocar una de ellas en los apoyos de modo que quede simétrica.
3. ajuste el contra torque para producir la torsión del eje
4. Medir la torsión del eje, anotar carga, deflexión y esfuerzo torsional del eje para realizar los resultados y conclusiones.
5. Repetir el paso anterior hasta que el eje produzca falla..
6. Hacer un diagrama de cuerpo libre de cada una de los ejes.
7. Elaborar el diagrama de cortantes y de momentos flectores para cada eje.
8. Calcular el máximo esfuerzo de flexión aplicado a cada una de los ejes.
9. Al finalizar el laboratorio, deberá entregar una hoja con la fecha, la hora, el tema del laboratorio y las mediciones efectuadas. Se debe anexar los cálculos, ya que es primordial para su calificación.

RESULTADOS.

Debe incluir los datos obtenidos en las pruebas realizadas. Haga las consideraciones necesarias respecto a las similitudes y diferencias en el comportamiento de las vigas. Investigue sobre el comportamiento esperado para casa situación y que características se pueden observar entre los dos materiales.

CONCLUSIONES.

Realice conclusiones pertinentes sobre la torsión de ejes circulares porque se debe seleccionar ejes con esa configuración y cuáles son los aspectos necesarios para el diseño mecánico de un eje.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección adjunte fotos, diagramas o tablas necesarias sobre la actividad realizada.

3. Guía de laboratorio para realizar pruebas de resistencia y selección de materiales.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE RESISTENCIA Y SELECCIÓN DE MATERIALES.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas ejes y vigas para seleccionar el diámetro o las dimensiones mínimas recomendadas, con la teoría de la energía de distorsión y el esfuerzo máximo
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Para calcular el tipo de material y el diámetro mínimo recomendado para ejes y vigas, se debe tener en cuenta el tipo de carga que está sometido el material y el área que soporta el material, de ahí se comprueba las fuerzas cortantes máximas, momentos flexionantes, para calcular los esfuerzos principales y mediante la teoría de la energía de distorsión o el esfuerzo máximo flexionantes, se puede hallar el diámetro o dimensiones mínimas recomendada del material.

Procedimiento:

1. Medir la longitud y el diámetro de cada eje o las dimensiones correspondientes.
2. Colocar una de ellas en los apoyos de modo que quede simétrica.
3. ajuste el contra torque para producir la torsión del eje
4. Medir la torsión del eje, anotar carga, deflexión y esfuerzo torsional del eje para realizar los resultados y conclusiones.
5. Repetir el paso anterior hasta que el eje produzca falla..
6. Hacer un diagrama de cuerpo libre de cada una de los ejes.
7. Elaborar el diagrama de cortantes y de momentos flectores para cada eje.
8. Calcular el máximo esfuerzo de flexión aplicado a cada una de los ejes.
9. Al finalizar el laboratorio, deberá entregar una hoja con la fecha, la hora, el tema del laboratorio y las mediciones efectuadas. Se debe anexar los cálculos, ya que es primordial para su calificación.

RESULTADOS.

Porque es tan importante la selección del tipo de material y la configuración del elemento, de que depende que un ingeniero mecánico seleccione el correcto material y no se presenten fallas prematuras.

CONCLUSIONES.

Obtenga las conclusiones pertinentes sobre porqué hay similitudes y diferencias en el comportamiento de las vigas. También porque es necesario la implementación de cálculos para comprobar el comportamiento de vigas y ejes en constante torsión y deflexión.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección debe anotar y presentar a su docente por medio magnético las evidencias del informe de laboratorio para tener en cuenta su calificación.

4. Guía de laboratorio para realizar pruebas de flexión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE FLEXIÓN EN VIGAS.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de flexión vigas rectangulares de acero inoxidable AISI 304 en estado normal y cobre C4500 y observar las diferencias de comportamiento.
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando una viga es sometida a flexión, se deben determinar las distancias entre cargas aplicadas, tipos de cargas, el momento de inercia y efectuar los cálculos

respectivos para analizar las características y el material de la viga para encontrar el máximo esfuerzo y así conocer las propiedades de la viga.

Procedimiento:

1. Medir la longitud y el diámetro de cada viga o las dimensiones correspondientes.
2. Colocar una de ellas en los apoyos de modo que quede simétrica.
3. Colgar en medio el actuador hidráulico
4. Medir la deflexión de la viga, anotar carga y deflexión para realizar los resultados y conclusiones.
5. Repetir el paso anterior hasta que el cilindro falle.
6. Hacer un diagrama de cuerpo libre de cada una de las vigas.
7. Elaborar el diagrama de cortantes y de momentos flectores para cada viga.
8. Calcular el máximo esfuerzo de flexión aplicado a cada una de las vigas.
9. Al finalizar el laboratorio, deberá entregar una hoja con la fecha, la hora, el tema del laboratorio y las mediciones efectuadas. Se debe anexar los cálculos, ya que es primordial para su calificación.

RESULTADOS.

Debe incluir los datos obtenidos en las pruebas realizadas. Haga las consideraciones necesarias respecto a las similitudes y diferencias en el comportamiento de las vigas. Investigue sobre el comportamiento esperado para cada situación y que características se pueden observar entre los dos materiales.

CONCLUSIONES.

Realice conclusiones sobre la actividad, que ventajas y desventajas sirve implementar el acero inoxidable AISI 304 y el cobre C4500 para deflectar vigas,

cuales son los métodos para seleccionar las dimensiones y material correspondiente

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

En esta sección adjunte fotos, diagramas o tablas necesarias sobre la actividad realizada.

5. Guía de laboratorio para realizar pruebas de torsión de vigas.



Materia:

Jornada:

Estudiante:

PRUEBA DE TORSIÓN DE EJES.

OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica de laboratorio el alumno será capaz de:

- Someter a pruebas de torsión ejes circulares de acero 1045 y cobre C4500 para comprobar el máximo punto de esfuerzo a la cedencia y fluencia del material.
- Discutir los resultados obtenidos y realizar resultados y conclusiones sobre la experiencia de laboratorio.
- Determinar las características necesarias para que un diseñador mecánico requiere para seleccionar el tipo de material y aplicaciones en el sector industrial
- Experimentar en varias asignaturas las experiencias de laboratorio como lo son dinámica, diseño mecánico 1 y 2, resistencia de materiales; entre otros.

Marco referencial:

Cuando eje es ejercido a torsión, el material tiende a doblarse por la fricción y movimiento de las partículas del acero que tiende a acomodarse cuando se produce el torque, también se comprueba la potencia, torque, esfuerzos principales de deflexión y torsional para comprobar el tipo de material y la sección transversal.

Procedimiento:

1. Medir la longitud y el diámetro de cada eje o las dimensiones correspondientes.
2. Colocar una de ellas en los apoyos de modo que quede simétrica.
3. ajuste el contra torque para producir la torsión del eje
4. Medir la torsión del eje, anotar carga, deflexión y esfuerzo torsional del eje para realizar los resultados y conclusiones.
5. Repetir el paso anterior hasta que el eje produzca falla..
6. Hacer un diagrama de cuerpo libre de cada una de los ejes.
7. Elaborar el diagrama de cortantes y de momentos flectores para cada eje.
8. Calcular el máximo esfuerzo de flexión aplicado a cada una de los ejes.
9. Al finalizar el laboratorio, deberá entregar una hoja con la fecha, la hora, el tema del laboratorio y las mediciones efectuadas. Se debe anexar los cálculos, ya que es primordial para su calificación.

RESULTADOS.

Debe incluir los datos obtenidos en las pruebas realizadas. Haga las consideraciones necesarias respecto a las similitudes y diferencias en el comportamiento de las vigas. Investigue sobre el comportamiento esperado para casa situación y que características se pueden observar entre los dos materiales.

CONCLUSIONES.

Realice conclusiones pertinentes sobre la torsión de ejes circulares porque se debe seleccionar ejes con esa configuración y cuáles son los aspectos necesarios para el diseño mecánico de un eje.

REFERENCIAS Y TOMA DE EVIDENCIAS.

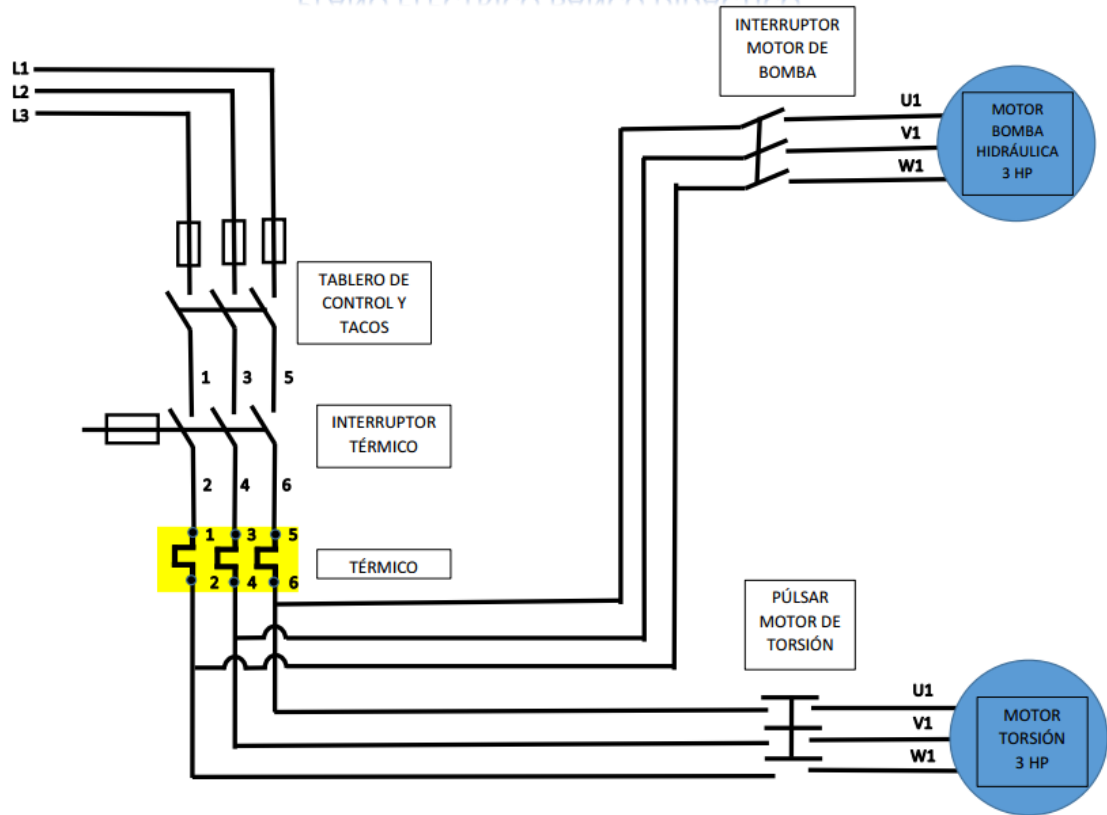
En esta sección adjunte fotos, diagramas o tablas necesarias sobre la actividad realizada.

Anexo 4. NORMAS TÉCNICAS.

- ✓ Ensayo de torsión de alambre (ASTM A938, ISO 7800)
- ✓ NTC: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC3995. Materiales metálicos. Alambres. Ensayo de torsión simple.
- ✓ Ensayo de flexión para la ductilidad de metales (ASTM E290, ISO 7438, JIS Z2248)
- ✓ ASTM A1058-14, Métodos de prueba estándar para la prueba mecánica de productos de acero.
- ✓ Ensayos de Tracción y Flexión para Varillas de Alta Resistencia (Barras Reforzadas)

ANEXO 5. PLANO ELECTRICO DEL BANCO DIDÁCTICO

PLANO ELECTRICO BANCO DIDACTICO



ANEXO 6. PLANOS DEL BANCO DIDÁCTICO