

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS DE
FATIGA BAJO FLEXIÓN ROTATIVA DE PROBETAS EN VOLADIZO
SEGUN NORMATIVA ASTM E-606

ANGELA PATRICIA ESCAMILLA MORALES
DIANA YOLIMA MOJICA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2010

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS DE
FATIGA BAJO FLEXIÓN ROTATIVA DE PROBETAS EN VOLADIZO
SEGÚN NORMATIVA ASTM E-606

ANGELA PATRICIA ESCAMILLA MORALES
DIANA YOLIMA MOJICA RODRIGUEZ

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director
PEDRO JOSÉ DIAZ GUERRERO
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2010

AGRADECIMIENTOS

Los Autores del proyecto agradecen a:

Al Ingeniero Pedro José Díaz G. Director del proyecto, por la confianza y el apoyo constante.

Al Ingeniero Carlos Borrás Pinilla, por su generosa colaboración.

A Don Gonzalo y Fredy, por las enseñanzas y valiosa colaboración durante la construcción de este proyecto.

A David, Leidy Y., Alexito, y Yolima, por su compañía, apoyo, palabras de aliento, por sentir este proyecto como suyo.

A Edward, Sergio, y Jhony, por su oportuna colaboración.

A Nuestras familias, por la paciencia, y el apoyo económico para la exitosa realización de este proyecto.

A Dios, por ser guía y fortaleza en los momentos difíciles,

A mi padre, Yorguin Escamilla, por su continuo sacrificio para sacarnos adelante,

A mi madre, Blanca Nelly Morales, por su amor incondicional, por su incansable fe, por creer en la superación de sus hijas, por que este triunfo también es suyo!,

A mis hermanas, Martha Lucía y Sandra Liliana, por el apoyo incondicional, por el cariño, por alimentar las ganas de salir adelante,

A Andres Mauricio, por estar ahí en todo momento,

ANGELA PATRICIA ESCAMILLA MORALES

Gracias Dios por ser mi fuerza y mi guía.

Éste triunfo está dedicado a mi mamita, que desde el cielo me acompaña y me ayuda, a mi papá que con su ternura y amor siempre me ha apoyado.

A mis hermanos Oscar, Wilson, Mauricio, Néstor y Adriana que siempre han estado a mi lado y han confiado en mí, muchas gracias por su ayuda incondicional.

A Giovanni Alberto y mi DianaLu, mi mejor proyecto de vida.

DIANA YOLIMA MOJICA RODRÍGUEZ

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1. EL PROYECTO | 19 |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN | 19 |
| 1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO | 20 |
| 1.2.1. Objetivo General | 20 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 20 |
| 2. PRELIMINARES | 21 |
| 2.1. Ensayos a flexión rotativa | 22 |
| 2.1.1. Ensayos prolongados | 23 |
| 2.2. Máquinas para ensayos de fatiga | 23 |
| 2.3. La probeta para ensayos de fatiga | 24 |
| 2.3.1. Probeta Moore, Kommers y Lessels | 25 |
| 2.4. Conclusiones | 26 |
| 3. DISEÑO DEL BANCO | 28 |
| 3.1. Generalidades | 28 |
| 3.1.1. Determinación de las condiciones de operación | 29 |
| 3.1.2. Determinación de la carga máxima a aplicar | 29 |
| 3.1.3. Esfuerzos en el empotramiento | 30 |
| 3.1.4. Análisis estático | 31 |
| 3.2. Módulo estructural | 32 |
| 3.3. Módulo de potencia | 32 |
| 3.3.1. Selección del motor | 33 |
| 3.3.2. Selección del acople | 33 |
| 3.3.3. Diseño del eje | 34 |
| 3.4. Módulo de carga | 38 |
| 3.4.1. Diseño del tornillo de potencia | 38 |
| 3.4.2. Asiento tornillo | 40 |
| 3.4.3. Selección de la celda de carga | 40 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.4.4. | Dado superior | 41 |
| 3.4.5. | Dado Inferior | 41 |
| 3.4.6. | Barras de sujeción | 42 |
| 3.4.7. | Selección del rodamiento de aplicación de la carga | 43 |
| 3.5. | Módulo de medición y control | 45 |
| 4. | CONSTRUCCIÓN DEL BANCO | 47 |
| 4.1. | Módulo estructural | 47 |
| 4.1.1. | Placa | 47 |
| 4.1.2. | Estructura | 47 |
| 4.1.3. | Ruedas | 47 |
| 4.2. | Módulo de potencia | 47 |
| 4.2.1. | Motor | 47 |
| 4.2.2. | Acople Flexible | 52 |
| 4.2.3. | Chumacera | 52 |
| 4.2.4. | Eje | 54 |
| 4.3. | Módulo de carga | 54 |
| 4.3.1. | Tornillo de Potencia | 54 |
| 4.3.2. | Contratuerca | 55 |
| 4.3.3. | Asiento tornillo | 55 |
| 4.3.4. | Celda de carga | 56 |
| 4.3.5. | Dado superior | 56 |
| 4.3.6. | Dado inferior | 58 |
| 4.3.7. | Volante | 60 |
| 4.3.8. | Rodamiento de aplicación de la carga | 60 |
| 4.3.9. | Camisa probeta | 60 |
| 4.3.10. | Camisa rodamiento | 60 |
| 5. | PRÁCTICA DE LABORATORIO DE FATIGA BAJO FLEXIÓN ROTATIVA DE PROBETAS EN VOLADIZO | 64 |
| 5.1. | Procedimiento | 64 |
| 5.2. | Análisis de los datos obtenidos | 65 |
| 5.3. | Informe de laboratorio | 66 |
| 5.4. | Pruebas realizadas en el banco | 67 |
| 5.4.1. | Acero 1020 | 67 |
| 5.4.2. | Análisis en la región de vida infinita | 70 |
| 5.4.3. | Acero 1045 | 72 |
| 5.4.4. | Análisis para la región de vida infinita | 73 |

| | |
|---|-----------|
| 5.4.5. Acero 4140 | 75 |
| 5.4.6. Análisis en la región de vida infinita | 76 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 78 |
| 6.1. Conclusiones | 78 |
| 6.2. Recomendaciones | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| A. ANEXO | 81 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 2.1. Progresión de la fractura | 22 |
| 2.2. Diagrama de wholer | 23 |
| 2.3. Representación máquina de flexión rotativa en voladizo | 25 |
| 2.4. Probeta Moore, Kommers y Lessels | 26 |
| 3.1. Probeta | 29 |
| 3.2. Valores alternantes, medios y rangos para esfuerzos cíclicos repetidos . . | 30 |
| 3.3. Análisis estático | 31 |
| 3.4. Módulo estructural | 32 |
| 3.5. Módulo de potencia | 33 |
| 3.6. Esquema eje | 34 |
| 3.7. Análisis estático del eje | 35 |
| 3.8. Módulo de carga | 38 |
| 3.9. Asiento tornillo | 40 |
| 3.10. Dado superior | 41 |
| 3.11. Dado inferior | 42 |
| 3.12. Barra de sujeción | 43 |
| 3.13. Camisa probeta | 44 |
| 3.14. Camisa rodamiento | 45 |
| 3.15. Caja de control | 46 |
| 4.1. Placa base | 48 |
| 4.2. Estructura real | 48 |
| 4.3. Rueda nylon | 49 |
| 4.4. Rueda soldada | 49 |
| 4.5. Motor Siemens | 50 |
| 4.6. Caja de bornes | 51 |
| 4.7. Esquema de conexión | 51 |
| 4.8. Acople flexible | 52 |
| 4.9. Chumacera UC 208 | 53 |
| 4.10. Placa base chumacera | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.11. Eje torneado | 54 |
| 4.12. Tornillo de potencia torneado | 55 |
| 4.13. Contratuerca | 55 |
| 4.14. Asiento tornillo de potencia | 56 |
| 4.15. Celda de carga | 57 |
| 4.16. Indicador de peso | 57 |
| 4.17. Dado superior mecanizado | 58 |
| 4.18. Placa dado inferior | 59 |
| 4.19. Volante | 60 |
| 4.20. Rodamiento de aplicación de la carga | 61 |
| 4.21. Camisa probeta | 61 |
| 4.22. Camisa rodamiento | 62 |
| 4.23. Camisa y rodamiento | 63 |
| 5.1. Estimación de la curva S-N | 65 |
| 5.2. Curva S-N para el acero 1020 | 71 |
| 5.3. Curva S-N para acero 1045 | 74 |
| 5.4. Curva S-N para el acero 4140 | 77 |
| A.1. Probeta Moore-Kommers-Lessels | 85 |
| A.2. Curva esfuerzo-Vida (S-N) | 86 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| 3.1. Determinación del factor de seguridad | 36 |
| 3.2. Valores para los factores de concentración de esfuerzos | 36 |
| 3.3. Valores para la determinación del diámetro del eje | 37 |
| 3.4. Resultado del proceso iterativo | 39 |
| 3.5. Comportamiento del tornillo | 39 |
| 3.6. Resultados análisis por columna | 43 |

RESUMEN

TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS DE FATIGA BAJO FLEXIÓN ROTATIVA DE PROBETAS EN VOLADIZO SEGÚN NORMATIVA ASTM E-606¹

AUTORES

Angela Patricia Escamilla Morales

Diana Yolima Mojica Rodriguez²

PALABRAS CLAVE

Banco de pruebas, Fatiga, Norma ASTM

DESCRIPCIÓN

El objetivo de este proyecto, es dotar la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, de un banco para pruebas de fatiga de probetas en voladizo que permita dar apoyo a los estudiantes y docentes del área de diseño de máquinas, de tal manera que se pueda comprender de una manera más fácil y profunda el fenómeno de fatiga bajo determinadas condiciones de carga.

Con el banco de pruebas y siguiendo los lineamientos de la norma ASTM E-606 se podrá determinar la falla en aceros de bajo carbono tales como 1020, 1045 y 4140, al ser sometidos a flexión rotativa. El banco presenta un diseño modular distribuido de la siguiente manera: módulo estructural encargado de brindar soporte a todo el sistema, de potencia que entrega torque al eje por medio de un acople flexible, de carga que aplica la fuerza necesaria a la probeta mediante un tornillo de potencia, finalmente un módulo de medición y control que utiliza como elementos sensores celda de carga y contador de ciclos. Este diseño es de fácil montaje y mantenimiento.

El banco se diseñó y construyó utilizando como soporte de diseño paquetes CAD y CAE, así como la integración de los conocimientos de distintas áreas de la ingeniería, como el diseño de máquinas, resistencia de materiales y procesos de manufactura.

¹Trabajo de grado

²Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing Pedro José Díaz Guerrero

SUMMARY

TITLE

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BANK FOR FATIGUE TESTING UNDER ROTARY BENDING TEST PIECES IN CANTILEVER ACCORDING TO ASTM STANDARD E-606³

AUTHOR

Angela Patricia Escamilla Morales

Diana Yolima Mojica Rodriguez⁴

KEYWORD

Bank of test, Fatigue, Norm ASTM

DESCRIPTION

The prime goal of this project is to provide the Mechanical engineering school of the Universidad Industrial de Santander a workbench for fatigue testing of cantilever test tubes, that allows to give support to the students and teachers in the area of design of machines so that they can understand more easily and deeply the phenomenon of fatigue under certain loading conditions.

With the bench for fatigue testing and following the guidelines of the norm ASTM E-606 can be determined the failure in low carbon steels such as 1020, 1045 and 4140 when subjected to rotating bending. This bench presents a modular design distributed as follows: structural module: is the responsible for providing support to the whole system; power module: delivers torque to the shaft through a flexible coupling; load module: applies the necessary force to the specimen through the power screw; measurement and control module: uses a load cell and a cycle counter as sensor elements. This design is easy to assembly and maintenance.

The bank was designed and built using as support of design packages CAD and CAE and the integration of knowledge from different areas of engineering as the design of machines, strength of materials and manufacturing processes.

³Trabajo de grado

⁴Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing Pedro José Díaz Guerrero

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño mecánico, es la fatiga de los materiales, ya que este fenómeno es el responsable de muchas fallas en partes de máquinas. A diferencia de las fallas estáticas, que son fácilmente predecibles, las fallas por fatiga son inesperadas, es por esto que merecen mayor atención por parte de los ingenieros y diseñadores, pues los daños que sufren las máquinas debido a estas suelen ser más catastróficos.

Es por esto que en la siguiente publicación la información está organizada de la siguiente manera:

En el primer capítulo de este libro se presenta la justificación y los objetivos planteados para la realización del proyecto.

En el segundo capítulo se presenta el diseño detallado para el banco para pruebas de fatiga, teniendo en cuenta una distribución modular. Es de esta manera que se detallan las funciones de cada uno de ellos.

Una vez realizado el diseño, en el tercer capítulo se procede a desarrollar el proceso de construcción y montaje del banco, el cual fue realizado en su totalidad en el taller de la escuela

En el cuarto capítulo se realiza la descripción de la prueba, el funcionamiento del banco y el análisis de los datos obtenidos, de acuerdo a la norma ASTM E606, E739.

En el quinto capítulo se describe el funcionamiento del banco y se presenta el análisis de los datos obtenidos de acuerdo a las pruebas realizadas, según los lineamientos planteados por la norma ASTM.

Finalmente en el capítulo sexto se dejan estipuladas las conclusiones y recomendaciones de lo que ha sido el desarrollo de este trabajo de grado.

1. EL PROYECTO

1.1. JUSTIFICACIÓN

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de atender las necesidades de aprendizaje de los estudiantes, y de promover la investigación en diferentes campos de la ingeniería se hace necesaria la construcción de un equipo que permita determinar la falla en aceros de bajo carbono tales como 1020, 1045, 4140 sometidos a flexión rotativa.

La construcción del banco de ensayos además de servir como una herramienta de apoyo para los docentes del área de diseño de máquinas de la escuela de ingeniería mecánica, se convierte en un complemento para el aprendizaje que le permite al estudiante comprender de una manera más fácil y profunda el fenómeno de fatiga bajo determinadas condiciones de carga.

Con la adquisición de este banco de pruebas, los estudiantes del área de diseño de máquinas se verán beneficiados ya que tendrán la oportunidad de trabajar en grupos reducidos.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.2.1. Objetivo General

Continuar con la misión de la Universidad Industrial de Santander de promover y estimular el avance del conocimiento en los diferentes campos de acción de la ingeniería, contribuyendo con el área de diseño de máquinas, mediante el diseño, construcción y montaje de un banco para realizar pruebas de fatiga.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño, construcción, montaje y puesta a punto de un banco para realizar ensayos de fatiga, bajo flexión rotativa, de probetas en voladizo según Normativa ASTM E606.
- Realizar manual de funcionamiento, guías de mantenimiento y práctica de laboratorio a desarrollar en el banco por un grupo de estudiantes del área de diseño de máquinas, indicando objetivos, alcance y desarrollo de la prueba.

2. PRELIMINARES

El mecanismo de fatiga es uno de los más complejos fenómenos en el estudio de falla en piezas sometidas a la acción de cargas dinámicas. Este fenómeno que puede aparecer súbitamente y sin previo aviso, está asociado principalmente a la presencia de patrones de carga dinámicos de tipo cíclico.

En general existen tres etapas de falla por fatiga, la iniciación de la grieta, la propagación de la grieta y la fractura súbita causada por el crecimiento inestable de la grieta. El origen de la falla por fatiga en una pieza se puede presentar en una entalla, un ángulo vivo o cualquier fisura del eje de mecanizado. Esta fisura se extiende progresivamente hasta el instante en que no existe suficiente material sino en la zona transversal para soportar el esfuerzo aplicado; entonces se produce la rotura instantánea de la pieza por deformación plástica o por fragilidad de acuerdo con las propiedades del material.

Las roturas por fatiga que se presentan en las piezas se pueden clasificar según la naturaleza de las cargas que soportan en:

- Roturas por cargas axiales
- Roturas por flexiones planas
- Roturas por flexión rotativa
- Roturas por torsión
- Roturas por torsiones y tracciones alternadas combinadas

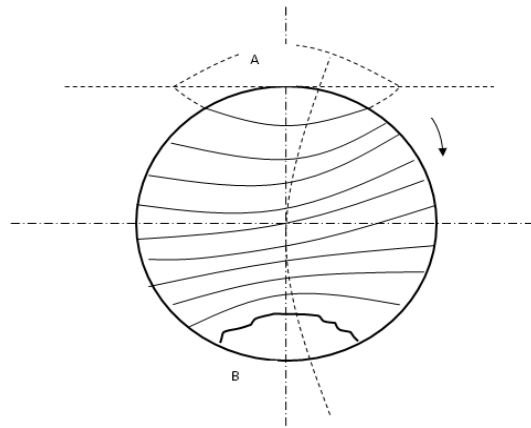
Este trabajo de grado se centra en flexión rotativa por lo tanto solo se tendrán en cuenta roturas de ese tipo.

En flexión rotativa, la rotura de fatiga se produce en forma de arco de círculo alrededor de un punto de la superficie exterior, no solo por que el máximo esfuerzo se encuentra allí, sino debido a que los cristales en todos los lados de la superficie, al no estar reforzados con otros cristales en todos los lados, están más expuestos a ser los primeros sometidos a deslizamientos o cortadura.

La fisura progresa en forma de arcos elípticos que tiene como punto de partida una pequeña elipse, cuyo centro es el origen de la fractura. El eje mayor de estas elipses se

inclina progresivamente a medida que aumenta el arco de tal manera que se obtiene el aspecto de la figura 2.1.

Figura 2.1.: Progresión de la fractura



Fuente: *Fatiga de los metales/R CAZAUD*

2.1. Ensayos a flexión rotativa

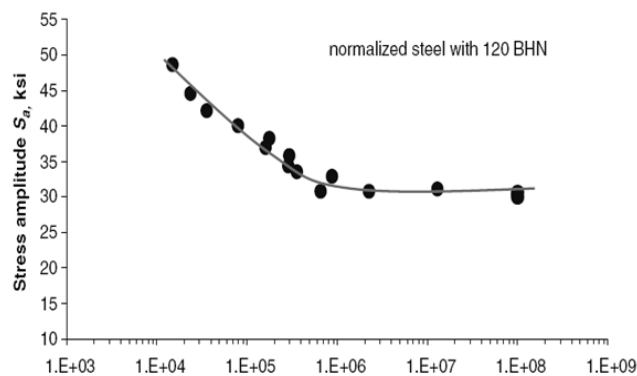
Los ensayos de fatiga están influenciados por gran cantidad de variables como son el tamaño del espécimen, forma, acabado superficial, método de fabricación y muchos otros. Estas variables son en cambio prácticamente despreciables cuando se trata de ensayos estáticos con materiales dúctiles.

Las primeras investigaciones realizadas con cargas dinámicas sirvieron para determinar hasta qué punto se podían aplicar con seguridad esfuerzos repetidos a un material dado. Los resultados obtenidos produjeron confusión ya que estos no se hacían con un patrón definido, sin embargo hoy en día se conocen 3 modelos de falla por fatiga; Esfuerzo vida, deformación vida y mecánica de las fracturas inelásticas.

2.1.1. Ensayos prolongados

Permiten la determinación directa del límite de resistencia a la fatiga de un material a partir de los resultados de los ensayos realizados con una serie de probetas. La relación entre la magnitud del esfuerzo máximo en la probeta (S) y el número de ciclos de vida (N) se representa gráficamente en los diagramas llamados "Diagramas de wholer". En el eje de las abscisas de este diagrama se pueden colocar N , $1/N$, o $\text{Log } N$, ya que puede ser descompuesto en dos tramos casi rectos (Figura 2.2) cuya intersección corresponde al límite de resistencia a la fatiga.

Figura 2.2.: Diagrama de wholer



Fuente: Fatigue testing and analysis, Theory and practice

2.2. Máquinas para ensayos de fatiga

En cuanto a la clasificación de las máquinas, esta se puede hacer partiendo de la naturaleza de los esfuerzos que actúan sobre la probeta, sea cualquiera el modo de sollicitación en función del tiempo.

De esta forma se tienen cuatro categorías principales de máquinas de ensayos:

- Máquinas de esfuerzos axiales (tracción y compresión).

- Máquinas de flexión, plana o rotativa.
- Máquinas de torsión.
- Máquinas de esfuerzos combinados; p ej. flexión y torsión.

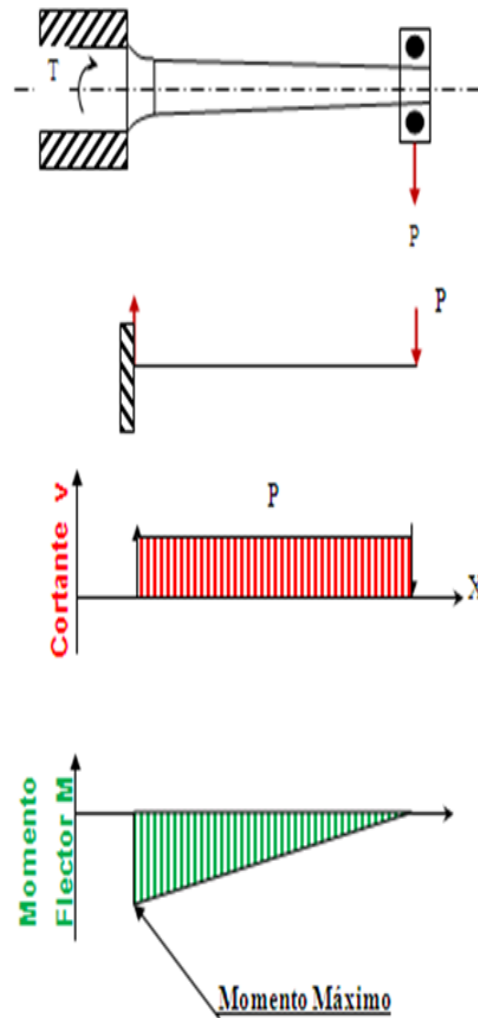
Como este proyecto se refiere a la máquina de flexión rotativa, específicamente para probetas en voladizo, se centrará la atención en este tipo de máquina.

En las máquinas de flexión rotativa de probetas en voladizo (figura 2.3) el momento flector es variable a lo largo de la probeta, haciendo que la localización axial de la sección crítica sea importante al aplicar el nivel de esfuerzo deseado.

2.3. La probeta para ensayos de fatiga

Las probetas de ensayo utilizadas por los diferentes investigadores para la flexión rotativa son muy diversas, tanto en su forma como en sus dimensiones. Mientras unos han empleado probetas cilíndricas o cónicas, otros han utilizado probetas tóricas y algunos han adoptado radios pequeños en las uniones de las partes flexadas y empotradas.

Figura 2.3.: Representación máquina de flexión rotativa en voladizo



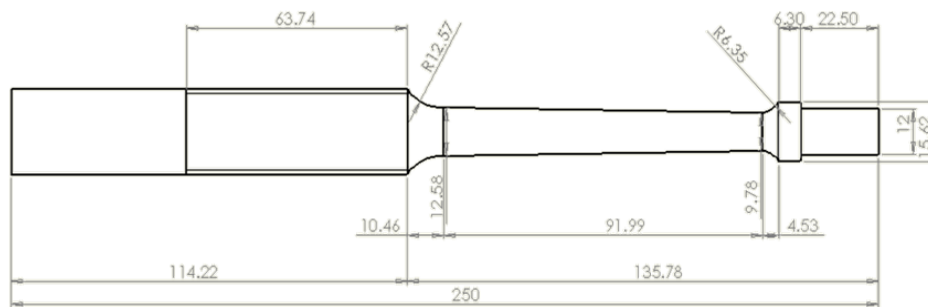
Fuente: Angela P. Escamilla M. / Diana Y. Mojica R.

2.3.1. Probeta Moore, Kommers y Lessels

Esta probeta como su nombre lo indica fue adoptada por Moore, Kommers y Lessels para realizar los primeros ensayos de flexión rotativa en voladizo durante la primera mitad del siglo XX. Fue planteada en forma cónica para conseguir un valor de esfuerzo sensiblemente constante sobre una gran parte de la longitud de la probeta (figura 2.4). Es utilizada actualmente ya que cumple con los requisitos de diámetro mínimo y en sus

extremos presenta conexiones aceptadas por el estándar ASTM E-606 en su numeral 7.1 “Specimen Design”.

Figura 2.4.: Probeta Moore, Kommers y Lessels



Fuente: *Fatiga de los metales* /R CAZAUD

2.4. Conclusiones

- Aún cuando la descripción general del mecanismo de falla por fatiga ofrece una hipótesis conveniente para explicar y relacionar hechos observados, todavía no permite al ingeniero predecir las características de fatiga de un material sin tener que recurrir a ensayos reales.
- Los modelos de falla por fatiga están asociados al tipo de máquina que se esté diseñando por tal motivo resulta una buena combinación plantear el modelo esfuerzo vida (S-N) para la máquina de flexión rotativa en voladizo ya que los datos obtenidos pueden ser representados e interpretados fácilmente.
- Siguiendo los lineamientos de la norma ASTM E606, de acuerdo al tipo y condición de aplicación de la carga en el banco de pruebas de fatiga, se planteó el uso de la probeta Moore, Kommers y Lessels como probeta de ensayo y a partir de esta,

se procede a realizar el diseño del banco, tal como se describirá en el siguiente capítulo.

3. DISEÑO DEL BANCO

El desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo con base en la normativa ASTM, que se describe a continuación:

- E 6 (Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing)
- E 606 (Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing), aún cuando este estándar precisa la prueba de tensión controlada, algunas secciones proporcionan parámetros importantes a tener en cuenta en la construcción del banco, así como información útil para la realización de la prueba de fuerza controlada como es nuestro caso.
- E 739 ("Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (ϵ -N) Fatigue Data) guía práctica para el análisis de los datos obtenidos.

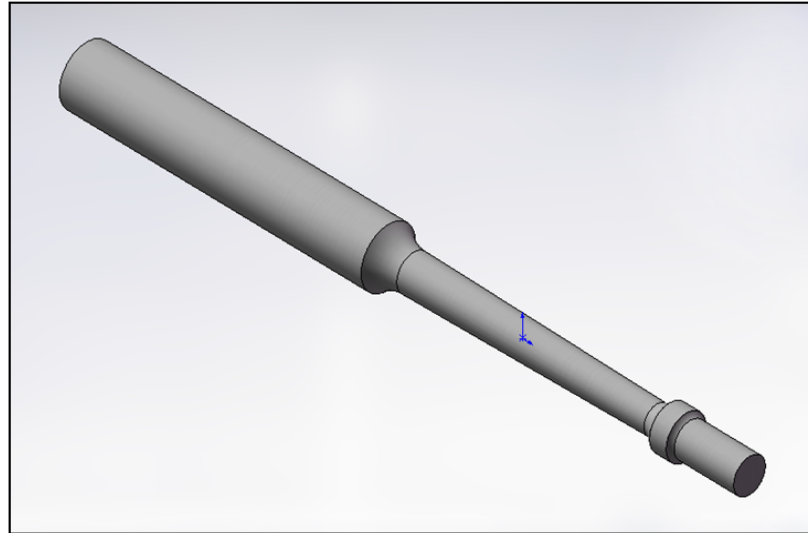
De manera particular estas normas han sido aplicadas para el diseño del banco, así como para el análisis de resultados.

3.1. Generalidades

Las prácticas de laboratorio efectuadas con probetas standard generan resultados trasladables a piezas reales si se utilizan conjuntos adecuados de coeficientes de corrección que permitan valorar la resistencia a la fatiga en función de cambios de temperatura, acabado superficial, entalladuras etc.

Las probetas utilizadas en ensayos de flexión rotativa deben tener un diámetro mínimo de 0.25 in (6.35 mm), construidas por torneado y de superficie altamente pulida, para evitar que el material falle en una zona que no es de interés y el ensayo se considere válido por fatiga.

Figura 3.1.: Probeta



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R.

Ahora bien, el diseño del banco propiamente dicho parte de la selección de la probeta en cuanto a dimensiones y material, luego es preciso determinar la carga máxima a que estará sometida, para esto se deben verificar las propiedades de los materiales a trabajar, aceros 1020, 1045 y 4140.

Comparando las fichas técnicas ofrecidas por la Compañía General de Aceros se determina que el material con mayor resistencia última a la tracción es el acero 4140.

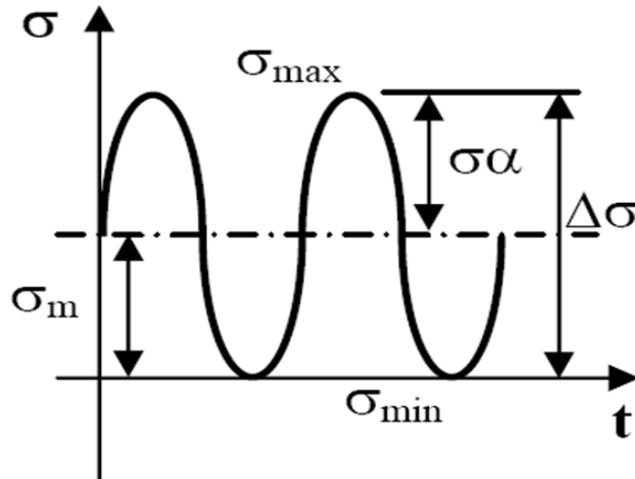
3.1.1. Determinación de las condiciones de operación

En el banco para pruebas de fatiga la probeta está sometida a esfuerzos uniaxiales repetitivos, como se muestra en la figura 3.2.

3.1.2. Determinación de la carga máxima a aplicar

Teniendo en cuenta que las probetas están sometidas a esfuerzos medios diferentes de 0 se utiliza la línea de Goodman modificada ya que es un criterio más conservador, el cual establece que el factor de seguridad está dado por:

Figura 3.2.: Valores alternantes, medios y rangos para esfuerzos cíclicos repetidos



Fuente: Robert L. Norton / Diseño de Máquinas

$$\frac{1}{N_{fs}} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$

Partiendo de esta ecuación, se toma 1 como valor para el factor de seguridad, se tiene en cuenta el material que ofrece mayor resistencia a la tracción, en este caso el acero 4140 y con base en la geometría de la probeta seleccionada, se aplican las relaciones correspondientes que permiten expresar el valor de la carga máxima que soporta el material para alcanzar 10^6 ciclos sin fallar.

$$P_{max_{10^6}} = 58,77 [Kgf]$$

Así mismo, es necesario calcular la carga máxima aplicada a la probeta con el fin de conocer las reacciones en el sistema.:

$$P_{max} = 107 [Kg]$$

3.1.3. Esfuerzos en el empotramiento

El análisis de los esfuerzos en el empotramiento determina que estos no superan la resistencia del material, los resultados obtenidos son los siguientes:

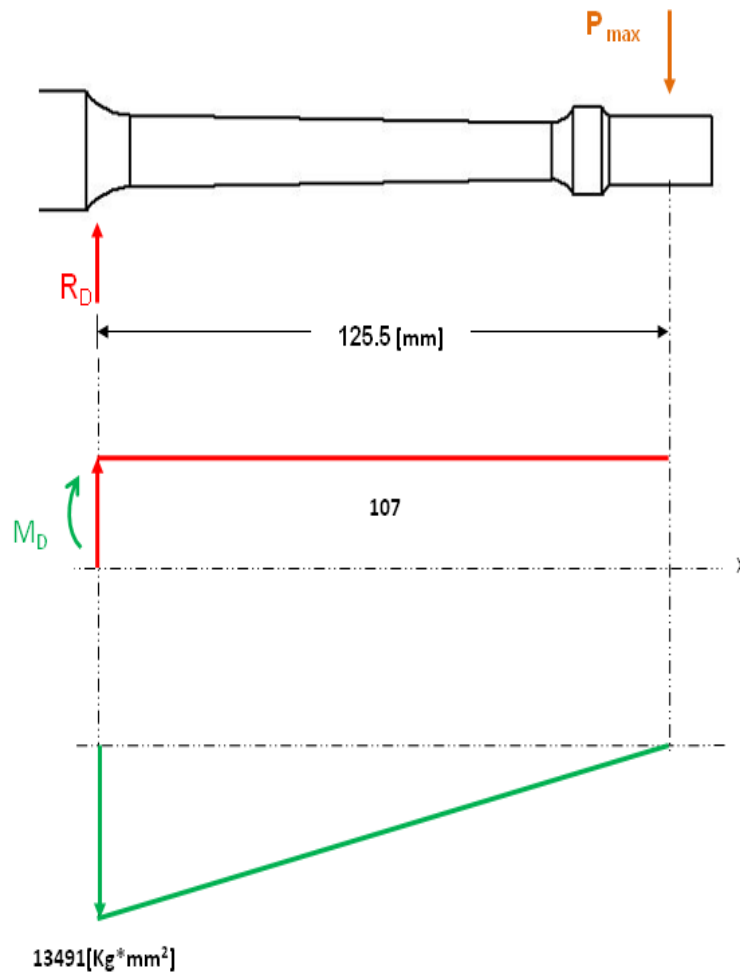
$$\sigma = 70,3 \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

$$\tau = 1,16 \left[\frac{Kg}{mm^2} \right]$$

3.1.4. Análisis estático

Los resultados del análisis estático de la probeta se pueden observar en la figura 3.3

Figura 3.3.: Análisis estático



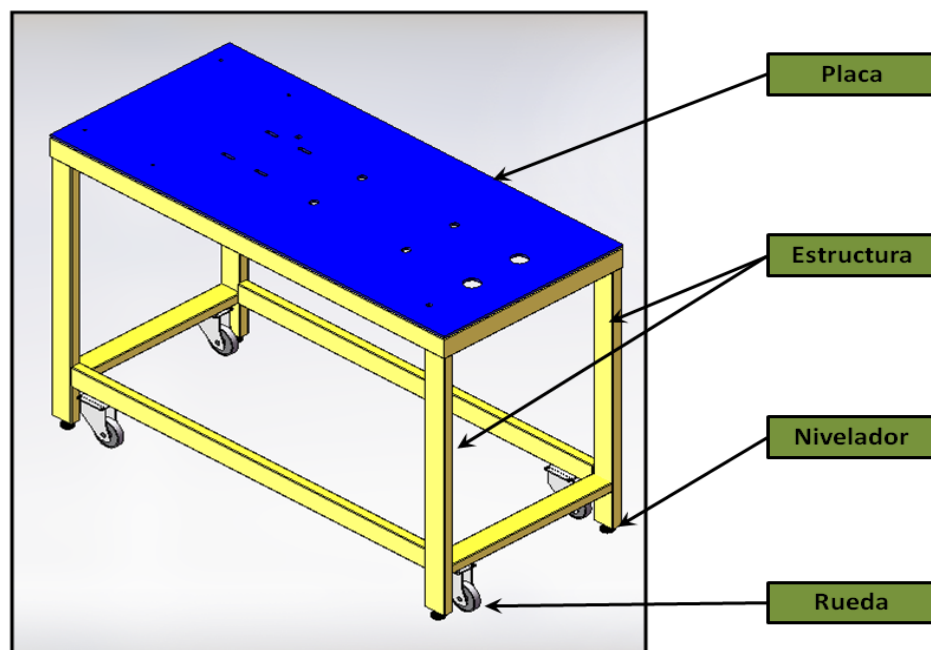
Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Una vez determinadas las condiciones de operación, dentro del diseño se plantea la concepción de cinco módulos cuyas funciones y componentes son descritos a continuación:

3.2. Módulo estructural

Permite dar apoyo a los módulos de potencia, carga, medición y control. Está compuesto por una placa de acero que soporta el peso de cada uno de los elementos del banco. La estructura formada por perfiles horizontales y verticales proporciona estabilidad al banco durante su funcionamiento. Las ruedas son las encargadas de facilitar el transporte del banco de pruebas dentro del laboratorio y por último se tienen los tornillos niveladores tal como se observa en la figura 3.4

Figura 3.4.: Módulo estructural

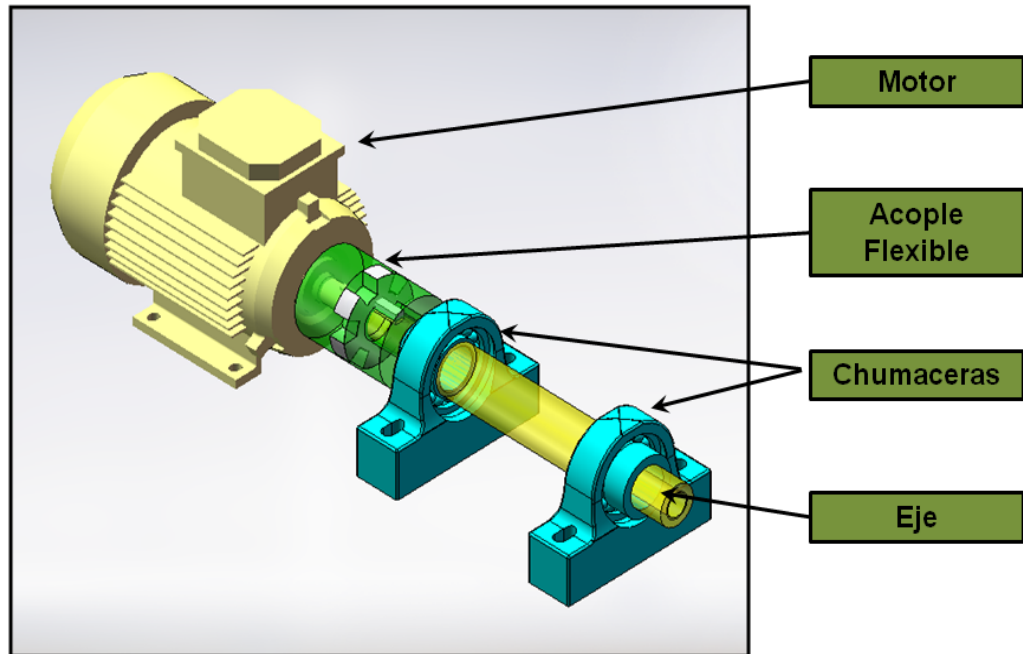


Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R.

3.3. Módulo de potencia

Como se muestra en la figura 3.5, el motor es el encargado de entregar el torque necesario al eje por medio del acople flexible.

Figura 3.5.: Módulo de potencia



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

3.3.1. Selección del motor

Este procedimiento se logra al asumir cargas resistivas iguales a cero, lo que da como resultado, después de realizar los cálculos correspondientes que la potencia requerida es igual a 0.55 Hp. Con el valor de potencia calculado y las rpm necesarias se busca en el catálogo de la compañía Siemens, el equipo que cumpla con estas especificaciones. Se seleccionó el modelo 1LA7-070-2YA60, con velocidad nominal de 3430 rpm y potencia de 0.75Hp.

3.3.2. Selección del acople

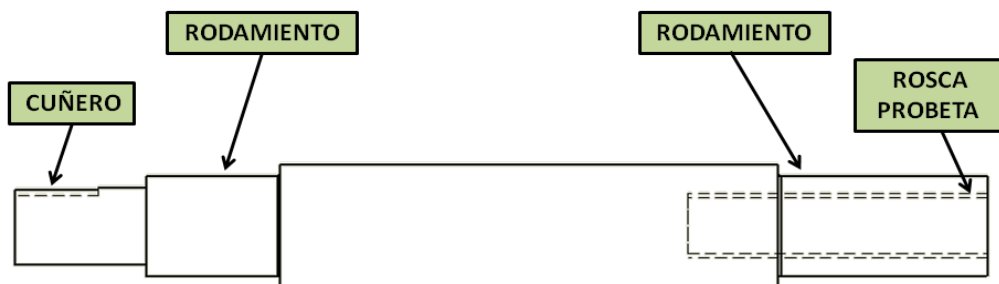
De acuerdo a las condiciones de operación del sistema el acople Omega E-3 es el indicado para cumplir con los requerimientos del banco, sin embargo este acople no se ajusta el presupuesto planteado inicialmente, por lo tanto se selecciona el acople flexible (Jaw

Coupling) L110 que ofrece fácil instalación, evita el contacto metal con metal, no requiere lubricación y es el más económico de los acoples elásticos.

3.3.3. Diseño del eje

Al realizar el diseño del eje se tuvo en cuenta la geometría de diferentes secciones, el cuñero que permite la unión al acople flexible para la transmisión del torque entregado por el motor, los hombros para los elementos rodantes y la sección roscada para la probeta. Figura 3.6

Figura 3.6.: Esquema eje



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

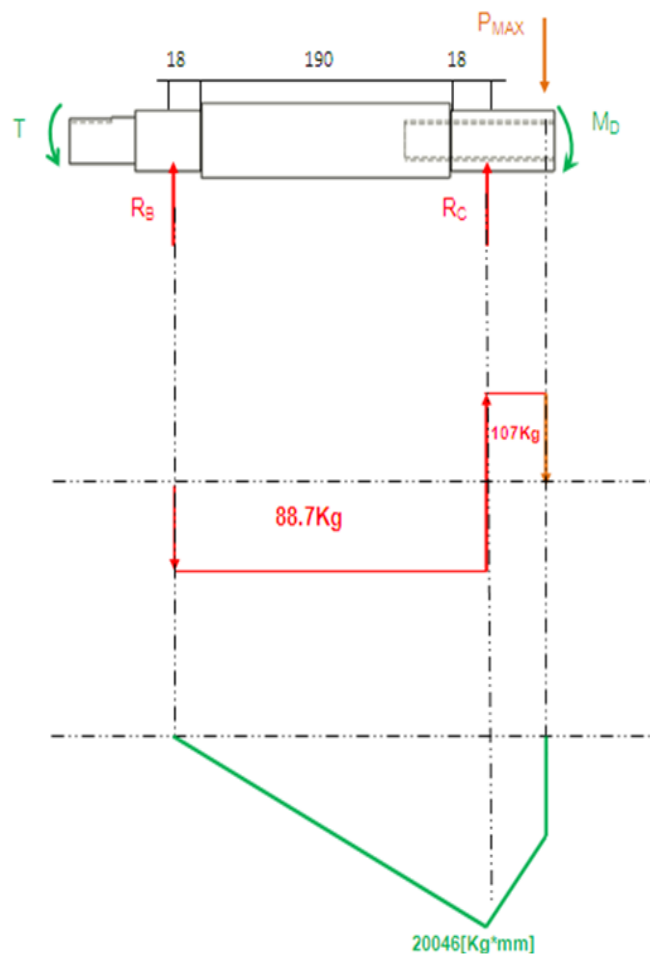
El eje transmitirá la potencia del motor hacia la probeta que se encuentra en el extremo del mismo, está montado sobre dos chumaceras que soportan cargas radiales. Para su diseño se deben tener en cuenta algunas consideraciones importantes:

- Carga máxima (preestablecida) 107 kgf
- Velocidad de rotación: 3600 Rpm
- Probeta: para carga en voladizo
- Potencia del motor: 3/4 Hp

- Cargas: Repetitivas
- Fatiga: alto ciclaje $N > 10^3$ ciclos
- Procedimiento: S-N Esfuerzo Vida

Condiciones de operación Los resultados del análisis estático se muestran en la figura 3.7

Figura 3.7.: Análisis estático del eje



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Diseño del eje por fatiga

- Material: Acero AISI 1020 Laminado en frío

- $S_{ut} = 539 \text{ Mpa}$

Diseño basado en esfuerzos repetitivos y torsión uniforme

Para determinar el diámetro del eje se utiliza la siguiente expresión:

$$d_{eje} = \left\{ \frac{32 * N_f}{\pi} * \left[\frac{\sqrt{(K_{fs} * M_a)^2 + \frac{3}{4} * (K_{fs} * T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(K_{fm} * M_m)^2 + \frac{3}{4} * (K_{fsm} * T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

- **Determinación del factor de seguridad**
- Para determinar el factor de seguridad se utilizó el método sugerido en el capítulo 5 del libro Mechanical design of machine elements and machines. Este método consiste en valorar ocho premisas diferentes para obtener un valor aceptable del factor de seguridad, de acuerdo a una aplicación específica, como se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 3.1.: Determinación del factor de seguridad

| Premisa | Valor |
|--|-------|
| Exactitud del conocimiento de las cargas | 0 |
| Exactitud del cálculo de esfuerzo | 0 |
| Exactitud de la fuerza conocida | -1 |
| Necesidad de conservar | -1 |
| Seriedad en las consecuencias de falla | 1 |
| Calidad de la manufactura | 1 |
| Condiciones de operación | 0 |
| Calidad de la inspección o mantenimiento | -2 |

Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Después de realizados los respectivos cálculos se obtiene:

$$n_d = 2[\text{Aproximadamente}]$$

- **Determinación de los factores de concentración de esfuerzos**

Cuadro 3.2.: Valores para los factores de concentración de esfuerzos

| Factor | Valor |
|----------|-------|
| K_f | 2.08 |
| K_{fm} | 2.08 |

Los demás valores involucrados se relacionan a continuación:

Cuadro 3.3.: Valores para la determinación del diámetro del eje

| Parámetro | Valor |
|---|-----------------------------|
| Resistencia a la fatiga [S_f] | 17,17 [$\frac{Kg}{mm}$] |
| Momento alternante [M_a] | 20046 [$Kg * mm$] |
| Resistencia última a la tracción [S_{ut}] | 54,94 [$\frac{Kg}{mm^2}$] |

Al reemplazar se obtiene el siguiente valor de diámetro

$$d_{eje} = 27,4[mm]$$

A partir de este diámetro de eje se recalculan los valores de $C_{tamaño}yKt$, y se obtiene nuevamente el valor del diámetro

$$d_{eje} = 33,19[mm]$$

Este sería el valor del diámetro mínimo requerido, pero debido a que la probeta va roscada en el extremo del eje ($D_{probeta} = 22 [mm]$) es preciso aumentar el valor del diámetro a 40 [mm] para que las paredes del eje tengan espesor de al menos 9 mm.

Así mismo se hace el análisis para la deflexión máxima que se puede presentar en el eje cuando se somete a la carga máxima cuyo valor es despreciable por lo cual se sugiere la selección de rodamientos que soporten cargas radiales como se muestra a continuación.

Selección del rodamiento Para la selección del rodamiento se siguió el procedimiento sugerido por la casa NTN, para esto se tienen en cuenta las condiciones de trabajo, como son:

Condiciones:

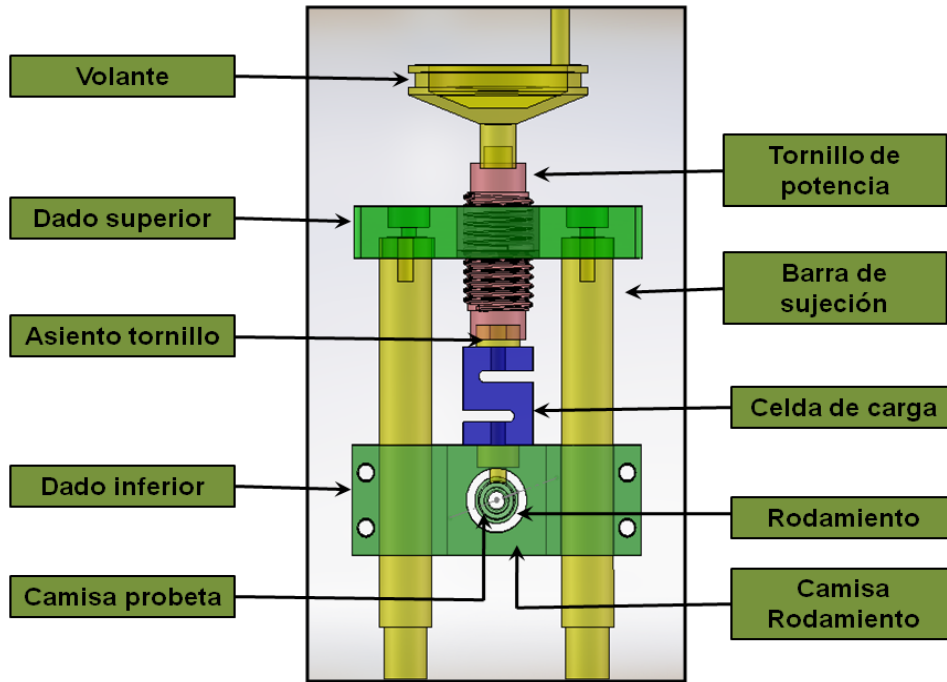
- $d_{eje} = 38,1$ (Normalizado)
- Velocidad de trabajo = 3600 Rpm
- Durante = 10000 horas

Con estos valores se determina que el rodamiento que cumple con los requerimientos es el 6208.

3.4. Módulo de carga

Por medio de este módulo se aplica carga a la probeta, sus componentes se muestran en la figura 3.8

Figura 3.8.: Módulo de carga



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

3.4.1. Diseño del tornillo de potencia

Para el tornillo de potencia se seleccionó como material un acero 1020, con un $S_y=441$ N/mm². Con este valor se calcula un diámetro inicial para el tornillo, que cumpla con la relación de esbeltez, es de esta manera que se encuentra una relación directa entre el diámetro y la longitud del tornillo.

A partir de los resultados obtenidos, se realiza un proceso iterativo que permite de acuerdo a un valor de diámetro conocer la variación de la longitud y demás parámetros involucrados en este diseño, para ello se toman valores de dimensiones principales de roscas ACME American Standard (Absorbe carga en ambas direcciones).

Cuadro 3.4.: Resultado del proceso iterativo

| | |
|---------------------------|-------|
| Área [mm^2] | 2027 |
| Diámetro [mm] | 50.8 |
| Radio de giro | 12.7 |
| Longitud [mm] | 121.9 |
| Carga [N] | 1050 |
| Carga crítica [N] | 4200 |
| Relación de esbeltez | 9.6 |
| Límite elástico [Mpa] | 441 |
| Factor de seguridad | 4 |

Teniendo en cuenta el valor del diámetro se calcula el torque necesario para aplicar la carga

$$T_b = 3103 [N * mm]$$

Después de determinar la geometría del tornillo y los demás parámetros importantes, se verifica que el diseño cumpla con la condición de auto bloqueo.

Selección del cojinete de empuje A partir de los cálculos realizados para el tornillo de potencia y de las condiciones de trabajo se seleccionó del catálogo SKF, el rodamiento axial de rodillo cónico de simple efecto 617500.

Debido a que en el tornillo de potencia se producen una serie de tensiones se debe evaluar el comportamiento para comprobar que ninguna combinación de ellas supera el límite elástico del tornillo o de la tuerca según corresponda.

Con base en las propiedades del material seleccionado para el tornillo de potencia, se calculan los esfuerzos a los que está sometido y se determina el factor de seguridad.

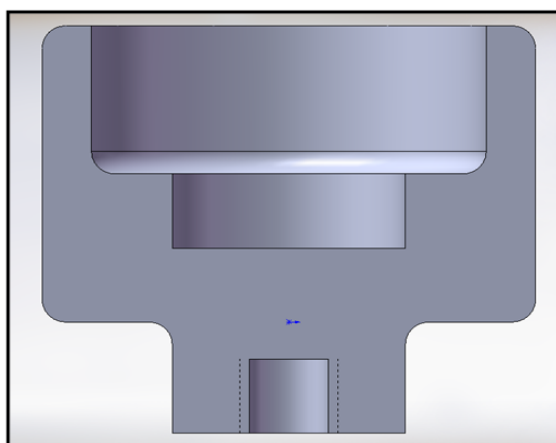
Cuadro 3.5.: Comportamiento del tornillo

| | |
|--|-------|
| Presión por aplastamiento [$\frac{Kg}{mm^2}$] | 0.085 |
| Flexión en el filete de la rosca [$\frac{Kg}{mm^2}$] | 0.24 |
| Esfuerzo de corte en el tornillo [$\frac{Kg}{mm^2}$] | 0.156 |
| Esfuerzo de corte en la tuerca [$\frac{Kg}{mm^2}$] | 0.117 |
| Esfuerzo de tensión [$\frac{Kg}{mm^2}$] | 0.29 |
| Esfuerzo a torsión [$\frac{Kg}{mm^2}$] | 0.89 |

3.4.2. Asiento tornillo

Este elemento da soporte al tornillo de potencia y al cojinete de empuje axial, está roscado en la parte inferior a la celda de carga como se muestra en la figura 3.9

Figura 3.9.: Asiento tornillo



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

3.4.3. Selección de la celda de carga

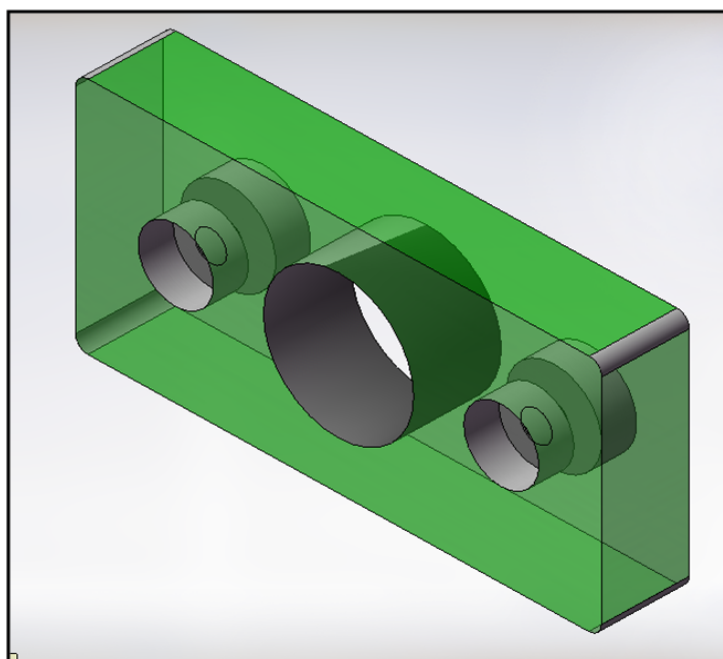
El estándar ASTM, plantea en el numeral 6.5 “Force transducer” el uso de un transductor de fuerza que permita medir la magnitud de la fuerza aplicada, es por esto que se utiliza una celda de carga para trabajar a compresión, teniendo en cuenta que el rango máximo de trabajo esta dado por la máxima carga a aplicar durante la prueba que corresponde a un valor de 107 kg .

También es importante a la hora de seleccionar la celda de carga verificar qué dispositivo de lectura de datos es recomendable ya que por si sola la celda no visualiza los valores sensados, además este dispositivo debe ser de fácil configuración para adaptarlo a las características de funcionamiento deseadas.

3.4.4. Dado superior

Contiene la tuerca del tornillo de potencia, permitiendo que este gire libremente, está sostenido mediante los tubos de sujeción, su esquema se muestra en la figura 3.10

Figura 3.10.: Dado superior

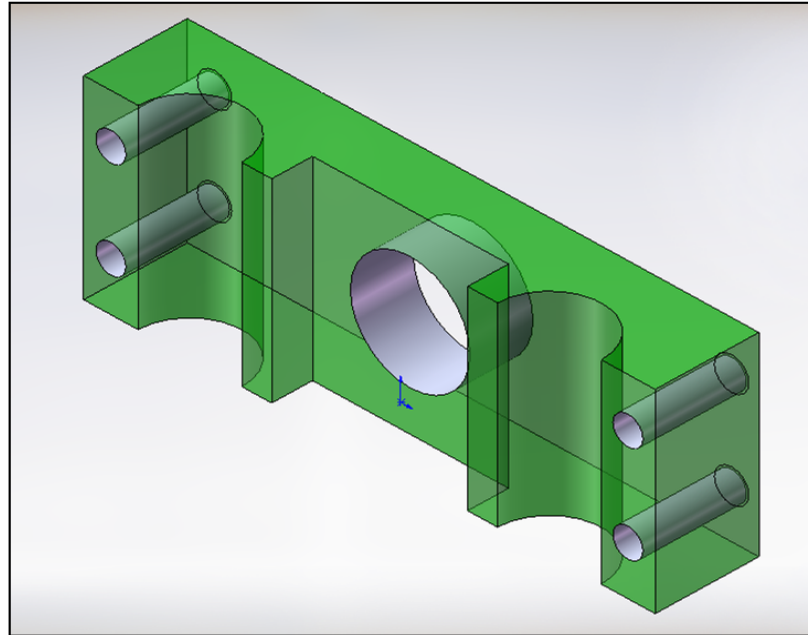


Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

3.4.5. Dado Inferior

Brinda alojamiento a la probeta durante la aplicación de la carga, está separado en dos elementos, de tal manera que se puedan retirar para facilitar la manipulación de la probeta al iniciar o terminar determinada prueba. La unión se hace mediante 4 tornillos como se muestra en el corte de la figura 3.11

Figura 3.11.: Dado inferior

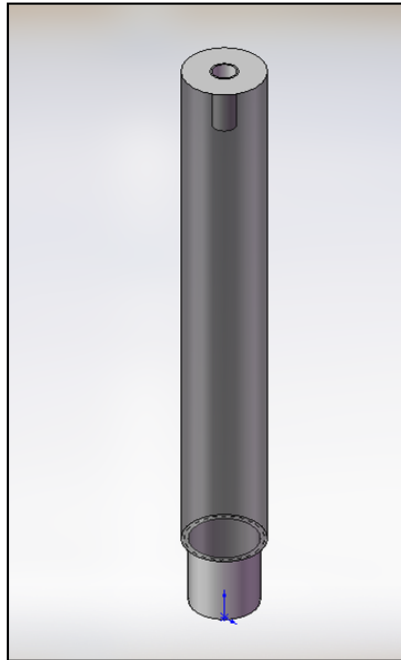


Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

3.4.6. Barras de sujeción

Son las encargadas de dar soporte a todo el módulo de carga, están sujetas en el extremo superior al dado superior y en la parte inferior a la placa base por medio de tuercas. (Figura 3.12)

Figura 3.12.: Barra de sujeción



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Análisis por columna Es necesario analizar los tubos de sujeción verificando el pandeo por efecto columna.

Cuadro 3.6.: Resultados análisis por columna

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Longitud efectiva[mm] | 175.5 |
| Momento de Inercia[mm ⁴] | 103435 |
| Área[mm ²] | 1140 |
| Radio de giro[mm] | 9.52 |
| Razón de Esbeltez | 18.43 |
| Fuerza aplicada[N] | 3147 |
| Cálculo Sy[Mpa] | 40.84 |
| Deflexión Ymax[mm] | 0.001 |

3.4.7. Selección del rodamiento de aplicación de la carga

El extremo libre de la probeta dispuesto para recibir la carga requiere de elementos que le permitan al mismo tiempo recibir la carga y seguir girando a las revoluciones del motor, por tal motivo se debe seleccionar un rodamiento, en este caso autoalineante de bolas.

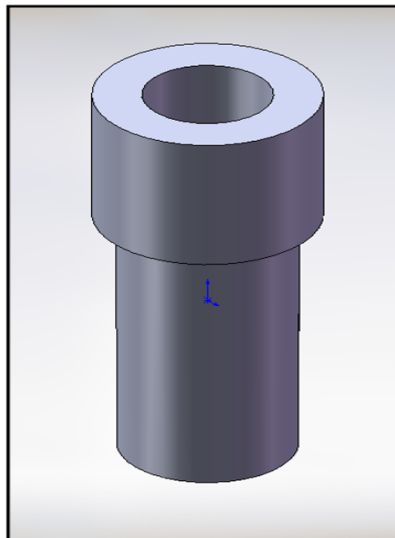
Para la selección de este rodamiento se tienen en cuenta las siguientes condiciones, siguiendo el procedimiento de la casa fabricante NTN.

- $d_{eje} = 12$ (Normalizado)
- Velocidad de trabajo = 3600 Rpm
- Durante = 10000 horas

En este caso no se encuentra un rodamiento que cumpla con las condiciones de carga y diámetro, entonces se busca nuevamente en el catálogo un rodamiento que pueda soportar la carga llegando hasta el diámetro de 25 [mm] se toma entonces el 2305.

Camisa Probeta: con el fin de cumplir con las especificaciones de tamaño de la probeta, y el diámetro del rodamiento seleccionado se hace necesario el diseño de una camisa cuyo diámetro menor corresponda al diámetro de la probeta y con diámetro exterior igual al rodamiento.

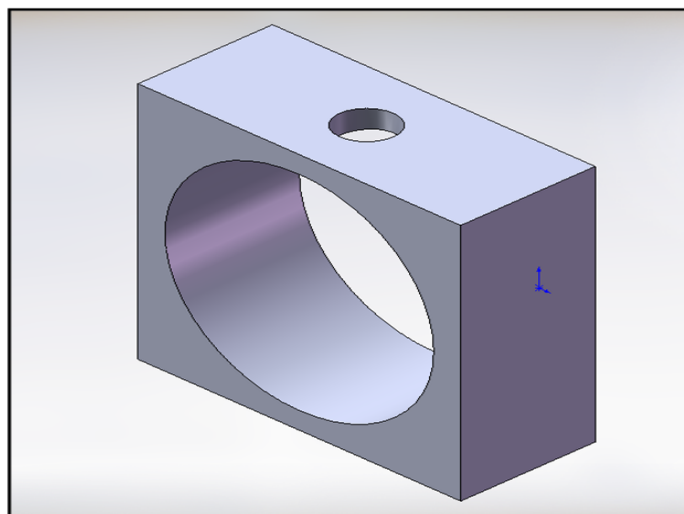
Figura 3.13.: Camisa probeta



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Camisa rodamiento: así mismo fue necesario el diseño de una camisa para alojar el rodamiento, este diseño se observa en la figura 3.14

Figura 3.14.: Camisa rodamiento

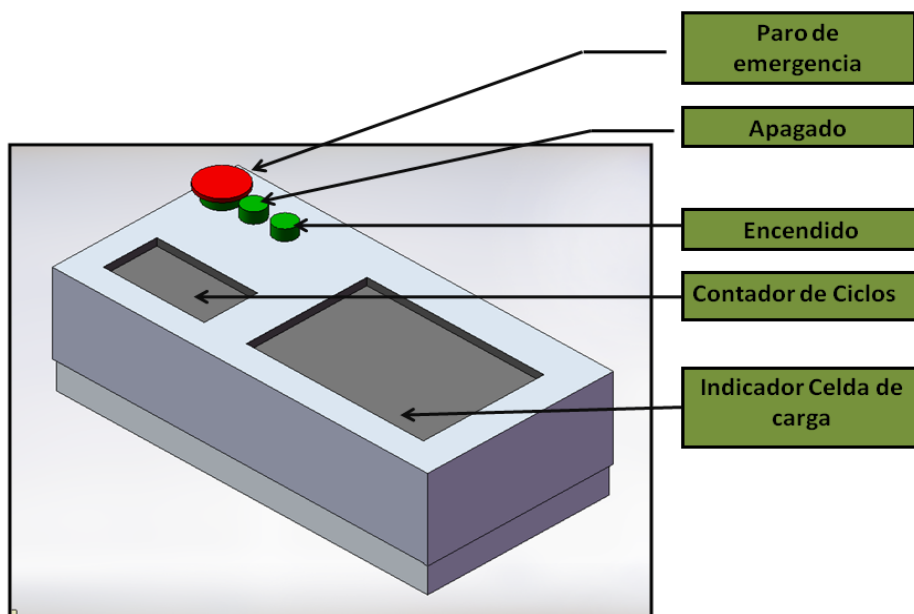


Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

3.5. Módulo de medición y control

El módulo de control está ubicado en el extremo izquierdo del banco de pruebas y está conformado por el indicador electrónico de peso para la celda de carga, el contador de ciclos y el sistema de control del motor eléctrico.

Figura 3.15.: Caja de control



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO

4.1. Módulo estructural

4.1.1. Placa

Se selecciona como material una lámina de 1/4" de acero A-36 ya que proporciona estabilidad estructural al presentar resistencia a la fluencia adecuada, en dicha lámina se perforaron los agujeros necesarios para los diferentes elementos a los cuales va a dar soporte.(Figura 4.1)

4.1.2. Estructura

Para la construcción de la estructura se utilizo perfil estructural de 2*1 [in] calibre 14 tomándose para ello 2 tramos de 110 [cm], 2 de 98 [cm], 4 de 80 [cm], 2 de 50 [cm], 2 de 45[cm], que fueron unidos mediante proceso de soldadura

4.1.3. Ruedas

Son de nylon, tienen freno y se seleccionaron de acuerdo a la capacidad de carga entre [50 - 75] kg, con diámetro de 8 cm, fueron sujetadas mediante soldadura a unas platinas, para luego ser unidas a la estructura mediante el mismo proceso, como se puede apreciar en las figura (4.3)

4.2. Módulo de potencia

4.2.1. Motor

Se seleccionó un motor de $\frac{3}{4}$ [HP]a 3600 [rpm] que se muestra en la figura 4.5.

Figura 4.1.: Placa base



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.2.: Estructura real



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.3.: Rueda nylon



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.4.: Rueda soldada



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.5.: Motor Siemens

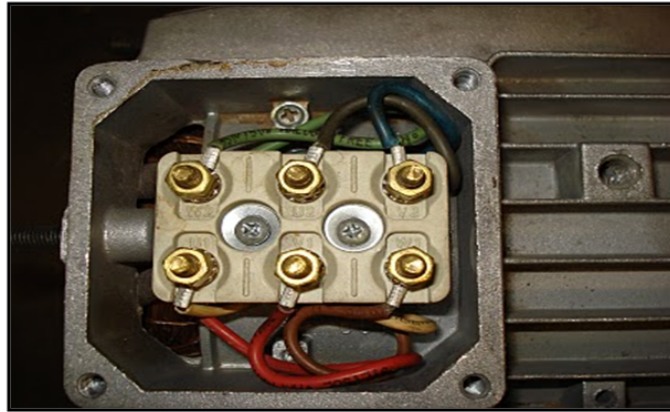


Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Teniendo en cuenta que la potencia del motor utilizado en el banco de pruebas es solo de 0.75 Hp, el arranque del motor se realiza de manera directa y el control del mismo se realiza por medio de tres pulsadores, uno para el encendido, otro para el apagado y un paro de emergencia. El motor dispone de tres bobinas que se deben conectar a la red para que funcione, estas bobinas pueden conectarse en estrella o en triángulo dependiendo de la tensión que soporten las bobinas y de qué tensión sea la red trifásica. El arranque directo en este caso es utilizado por su simplicidad y bajo precio.

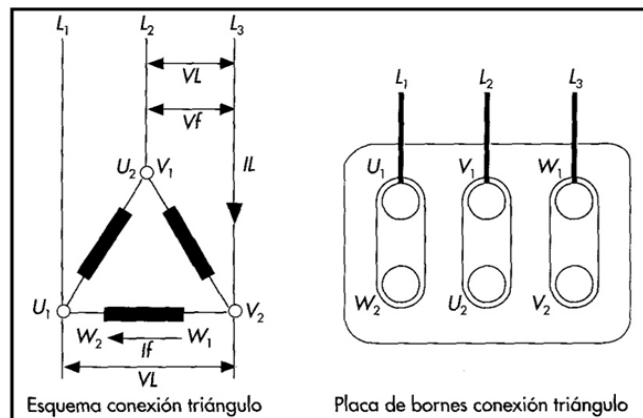
La sencillez del arranque directo hace posible el arranque con un simple contactor, “Los arrancadores automáticos comprenden el contactor trifásico con protección de sobrecarga y un dispositivo de protección de sobrecarga de tiempo inverso”. El arranque y la parada se efectúan mediante pulsadores montados sobre la caja de control, el de color verde para el encendido, el de color rojo para el apagado y el de paro de emergencia. Como se trabaja con una red de 220 V el motor se conecta en triángulo (Figura 4.7)

Figura 4.6.: Caja de bornes



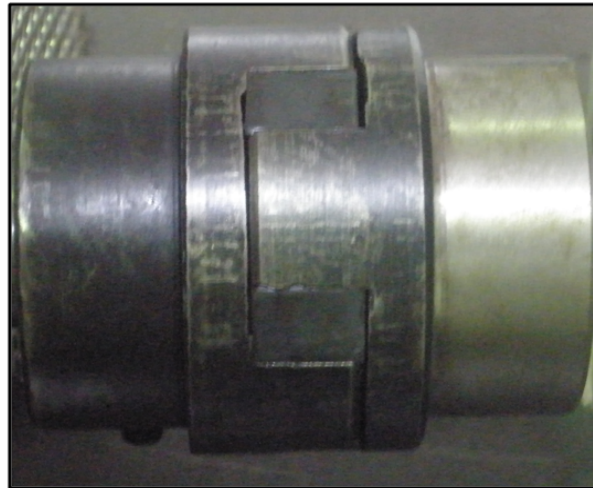
Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.7.: Esquema de conexión



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.8.: Acople flexible



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

4.2.2. Acople Flexible

Se selecciona el acople que cumpla tanto con la capacidad de potencia igual o superior a la ajustada como con el máximo diámetro.

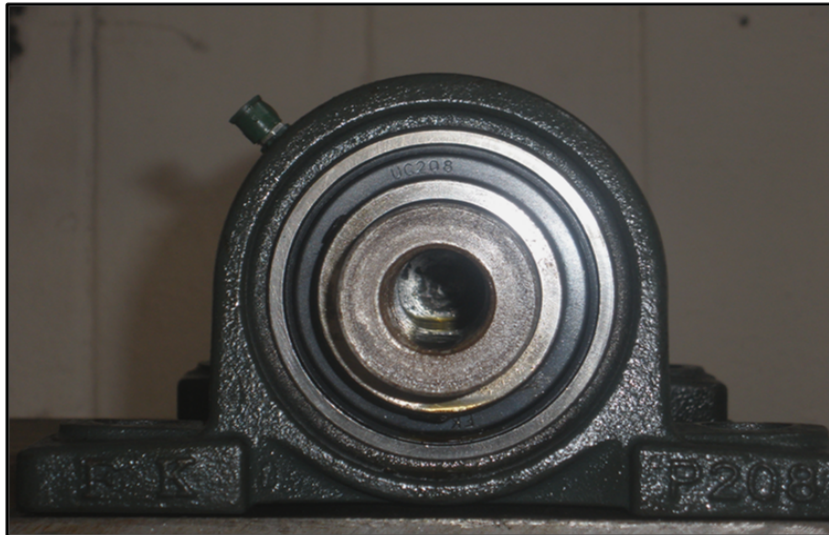
En el mercado local para los acoples flexibles Spider se encuentran referencias tipo L, tomando la referencia L110 que se ajusta a las condiciones de trabajo anteriormente expuestas.

4.2.3. Chumacera

Teniendo la selección del rodamiento bajo diámetro del eje y carga dinámica a soportar y para facilitar el montaje del mismo al eje, se busca una chumacera que cumpla con dichas características y se encuentra en el mercado local la UC 208 NTN de la figura 4.9

Es necesaria la adecuación de una placa (figura 4.10) a cada chumacera para permitir la alineación del eje de transmisión con el eje del motor, esta placas se tomaron de acero estructural A-36. Fueron debidamente mecanizadas, rectificadas y por medio de un taladro automático se perforaron los agujeros de los tornillos que permiten que el conjunto chumacera -placa sea ajustado a la placa base.

Figura 4.9.: Chumacera UC 208



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.10.: Placa base chumacera



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.11.: Eje torneado



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

4.2.4. Eje

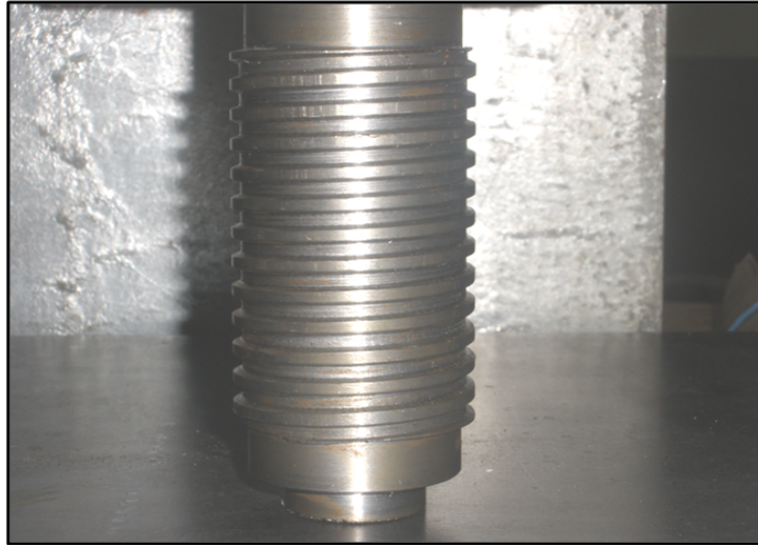
Teniendo en cuenta el respectivo diseño del eje el cual arroja una diámetro de 36.52 [mm] y de acuerdo a las características geométricas del rodamiento seleccionado, se compró en la Compañía General de Aceros (CGA) redondo en 1020 de 5.08 x 38 [cm] para luego tornear y pulir hasta lograr las dimensiones del diseño planteado, como se observa montado en las chumaceras en la figura 4.11.

4.3. Módulo de carga

4.3.1. Tornillo de Potencia

Con base en el diseño de la sección 5.4.1 se compró en la Compañía General de Aceros (CGA) redondo en 1020 de 5.08 x 12 [cm] que posteriormente fue mecanizado y adecuado tanto para la unión a la celda de carga como al volante como se muestra en la figura 4.12.

Figura 4.12.: Tornillo de potencia torneado



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.13.: Contratuerca

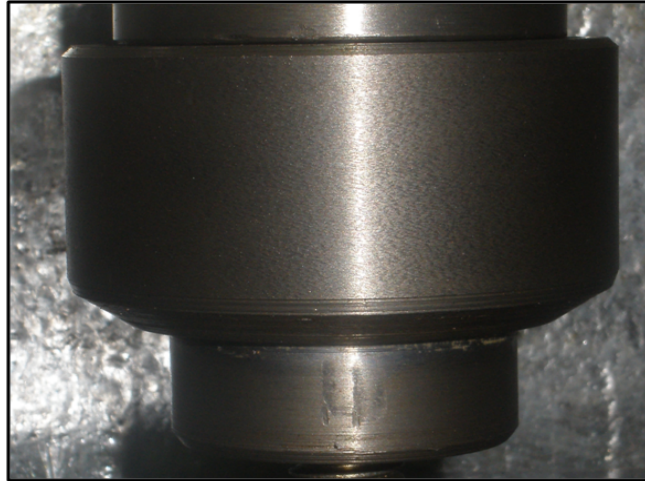
4.3.2. Contratuerca

Se hace necesaria su construcción para evitar fluctuaciones en la carga debido a las vibraciones generadas en el sistema.

4.3.3. Asiento tornillo

Fue realizado en redondo de 1020 con dimensiones 2 1/2 in por 5.5 [cm], fue tratado mediante procesos de torneado y maquinado hasta llegar a la forma y dimensiones deseadas como se muestra en la figura 4.14.

Figura 4.14.: Asiento tornillo de potencia



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

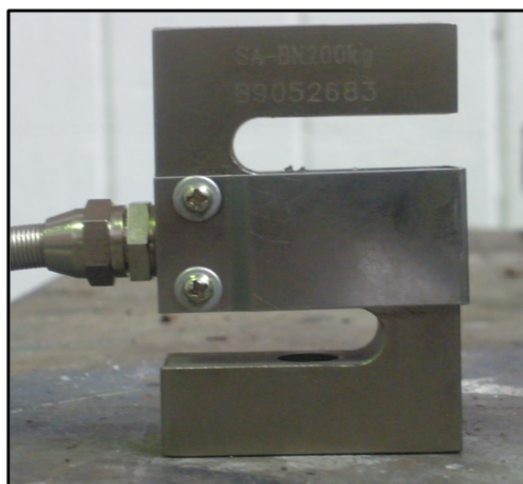
4.3.4. Celda de carga

De acuerdo a lo planteado en la sección 5.4.2 se decide utilizar una celda de carga que trabaje a compresión, bajo este precepto fue adquirida en el mercado local a la empresa SENSOMATIC DEL ORIENTE la celda de carga tipo S para el rango entre 0 - 200 [kg] marca Lexus (Figura 4.15) (*Apéndice A* características técnicas), allí mismo se consiguió el indicador de solo peso para celda de carga marca Matrix (Figura 4.16).

4.3.5. Dado superior

Para la fabricación de este componente se utilizó Acero 1020 en placa de 21 x 7 x 3.5 [cm] la cual fue rectificada y mediante fresado se obtuvieron los agujeros correspondiente a los tornillos y a los tubos de sujeción (ver figura 4.17).

Figura 4.15.: Celda de carga



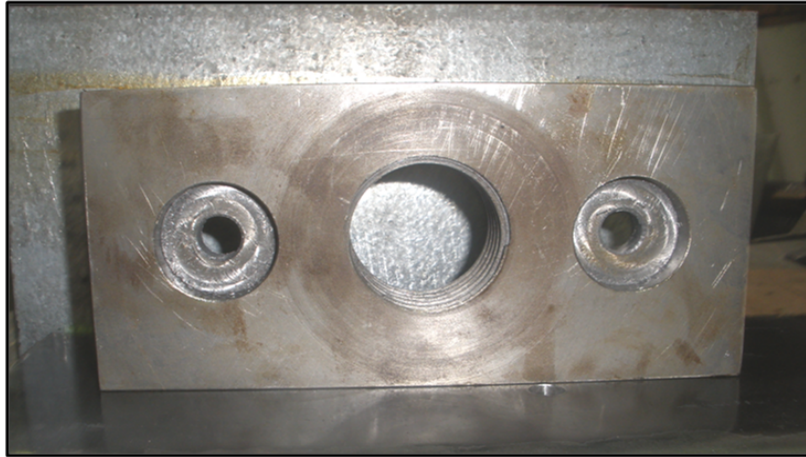
Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.16.: Indicador de peso



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.17.: Dado superior mecanizado

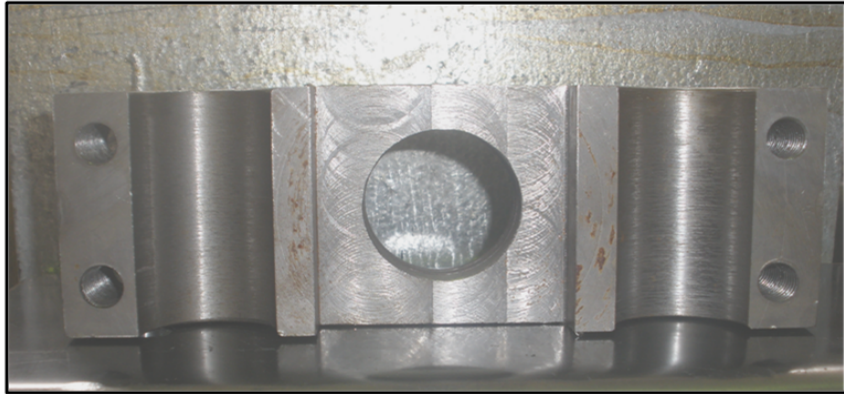


Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

4.3.6. Dado inferior

Al igual que el superior se utilizaron procesos de torneado fresado y rectificado, pero para este componente se utilizaron 2 placas de 21 x 7 3.5 [cm] cada una como se muestran en la figura 4.18

Figura 4.18.: Placa dado inferior



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

4.3.7. Volante

Figura 4.19.: Volante



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

4.3.8. Rodamiento de aplicación de la carga

De la selección realizada en la sección 3.4.7 se consigue en el mercado un rodamiento 2305 de la casa fabricante FAG que se muestra en la siguiente figura.

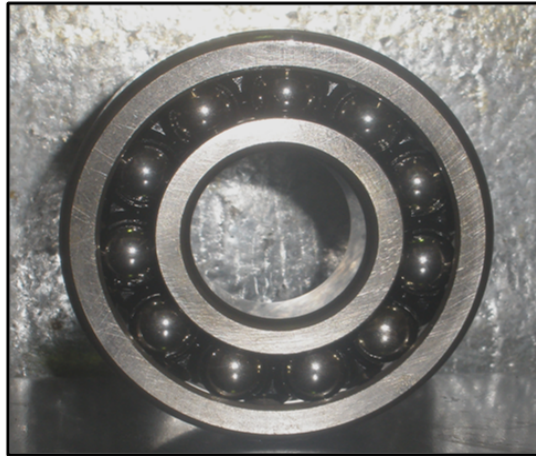
4.3.9. Camisa probeta

Para la construcción de la camisa probeta se utiliza redondo de 1 1/4 pulgadas en acero 1020 laminado en frío, de 7 cm de longitud el cual fue tratado mediante procesos de torneado y fresado hasta obtener la pieza mostrada en la figura 4.21

4.3.10. Camisa rodamiento

Esta camisa que le brinda alojamiento al rodamiento autoalineante 2305 fue construida en placa de Acero 1020 laminado en caliente de 7.5 x 7.5 x 3.17 [cm], por torneado

Figura 4.20.: Rodamiento de aplicación de la carga



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Figura 4.21.: Camisa probeta



BRONCE



ACERO 1020 -TEFLON

Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

y fresado se llevó a las dimensiones adecuadas de tal manera que quedase un diseño compacto del dado inferior (Figura 4.22). A la placa se le adecoo una chaveta para interiores para prevenir que el rodamiento se salga de lugar.

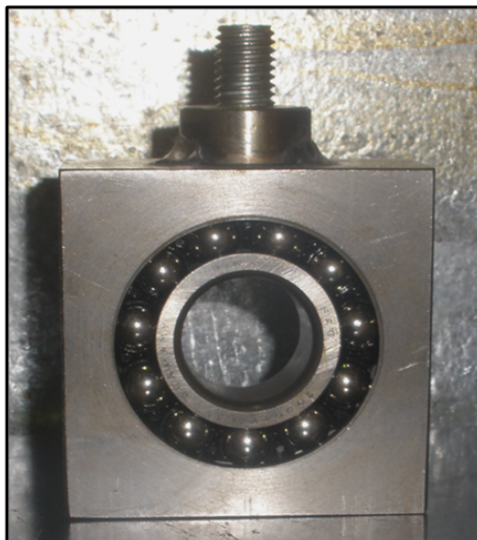
Figura 4.22.: Camisa rodamiento



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

Así mismo se dispuso en la parte superior, de un buje y tornillo, de tal manera que se permita roscar a la celda de carga, para permitir la aplicación de la carga como se muestra en la figura 4.23.

Figura 4.23.: Camisa y rodamiento



Fuente: Angela P. Escamilla M./ Diana Y. Mojica R

5. PRÁCTICA DE LABORATORIO DE FATIGA BAJO FLEXIÓN ROTATIVA DE PROBETAS EN VOLADIZO

Otra parte importante de este proyecto se basa en el diseño de una práctica de laboratorio sobre falla por fatiga que se ofrecerá a los estudiantes de Ingeniería Mecánica y que permitirá utilizar el banco de pruebas de fatiga bajo flexión rotativa.

El estándar ASTM E 606 en el cual se ha tomado como referencia durante el desarrollo de este trabajo de grado, presenta para este capítulo información importante en el desarrollo de la prueba, en el numeral 8.7 "Number of specimens" sugiere que un mínimo de 10 probetas deben ser usadas para obtener la curva de fatiga esfuerzo vida.

A partir de esto se hace un análisis de la bibliografía recopilada y se encuentra en "Fatigue Testing And Análisis" en el capítulo 4 "Stress Based Fatigue Analysis and Design" una guía para realizar las pruebas que permitan obtener la curva esfuerzo vida (S-N).

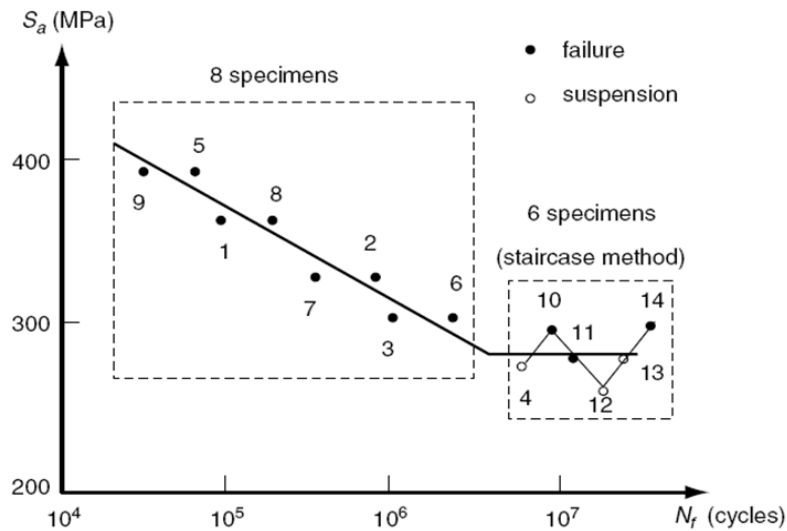
En primer lugar se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Los esfuerzos cíclicos son el parámetro gobernante en la falla por fatiga
- La prueba se realiza a un número elevado de ciclos a la fatiga
- Existe poca deformación plástica debido a carga cíclica
- La probeta es sometida a cargas repetitivas antes de la falla

5.1. Procedimiento

Uno de los métodos descritos en dicho capítulo se denomina "Método punto medio", el cual ha sido presentado por varias asociaciones como un estándar para predecir la vida de

Figura 5.1.: Estimación de la curva S-N



Fuente: Fatigue Testing and Análisis, Theory and Practice

fatiga a diversas amplitudes de esfuerzos. La primera de ellas fue “The Japan Society of Mechanical Engineers” en 1981, Wirshing (1983), Nakazawa and kodama (1987), Shen (1994), más recientemente la ASTM (1998) y Kececioglu (2003).

Este método representado en la figura 5.1 requiere 14 probetas de las cuales 8 se destinan a determinar la región de vida finita, tomando dos probetas en cada uno de los cuatro niveles de amplitud de esfuerzo y las 6 restantes a determinar el límite de fatiga por el método de la escalera para el cual se estima un valor medio del límite de fatiga, se empieza la prueba con un valor un poco más alto del medio estimado, de tal manera que que si probeta falla antes de las vida media entonces la prueba siguiente se hace a un menor valor, así mismo si la probeta no falla se va llevando a un valor mas alto de esfuerzo, por lo tanto cada prueba depende de los resultados anteriores.

5.2. Análisis de los datos obtenidos

La documentación correspondiente al análisis de los datos se encuentra en el estándar ASTM E-739 “ Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (ϵ -N) Fatigue Data”.

Para el análisis estadístico de los datos de fatiga el método de generar una línea es recomendado ya que los datos se pueden representar en un diagrama de registro que muestra la amplitud del esfuerzo versus el número de ciclos a la falla.

La ecuación que rige este modelo de regresión por los mínimos cuadrados se define como:

$$N = A + BS$$

Para ello se hace necesario definir N (vida a la fatiga) como la variable dependiente que será denotada como Y y S (esfuerzo) como la variable independiente o variable controlada denotada como X .

Entonces se tendría:

$$Y = A + BX$$

5.3. Informe de laboratorio

La norma ASTM en el numeral 9 "Reports" sugiere que la aplicación de la prueba como una rutina de laboratorio incluya solamente información relacionada con el uso final de los datos de la prueba, y presenta los requisitos mínimos recomendados que se muestran a continuación:

- Objetivo específico de la prueba
- Descripción del material de la prueba (Límite elástico de tensión, Resistencia máxima de tensión, módulo de elasticidad, relación de poisson).
- Descripción de la probeta (Dimensionamiento geométrico, proceso de manufactura, acabado superficial)
- Descripción general del equipo utilizado (Máquina de prueba, transductor de fuerza, adquisición de datos).
- Descripción del ambiente de la prueba (Humedad, Temperatura)
- Condiciones y procedimientos de la prueba (Frecuencia de ciclaje, modo de control)
- Resultados de la prueba (Tabulación de los resultados)

El desarrollo de la guía de laboratorio basada en los numerales anteriormente expuestos se ha compilado en la guía de laboratorio que se muestra en el *Apéndice B*

5.4. Pruebas realizadas en el banco

Las pruebas fueron realizadas para los aceros 1020, 1045 y 4140, a continuación se muestran los resultados obtenidos en cada una de ellas

5.4.1. Acero 1020

| | |
|----------|------------|
| Material | Acero 1020 |
|----------|------------|

| Probeta No | FUERZA APLICADA [Kgf] | ESFUERZO [Kg/mm ²] | NÚMERO DE CICLOS A LA FALLA | TIEMPO TOTAL PRUEBA [min] |
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|

| | | | | |
|----|----|-------------|---------|------|
| 1 | 61 | 39.94513121 | 103586 | 30.2 |
| 2 | 54 | 35.36126369 | 541940 | 158 |
| 3 | 47 | 30.77739618 | 610540 | 178 |
| 4 | 35 | 22.91933758 | 1125812 | N-F |
| 5 | 68 | 44.52899873 | 29155 | 8.5 |
| 6 | 47 | 30.77739618 | 819770 | 239 |
| 7 | 54 | 35.36126369 | 497350 | 145 |
| 8 | 61 | 39.94513121 | 161210 | 47 |
| 9 | 68 | 44.52899873 | 36015 | 10.5 |
| 10 | 35 | 22.91933758 | 1184568 | N-F |

El análisis de los datos se realiza teniendo en cuenta que existen dos regiones una de vida finita y otra de vida infinita. La primera de ellas se analiza de acuerdo al procedimiento establecido por la norma ASTM E-739, para los datos obtenidos en la región de vida infinita se toma como valor promedio el S_f obtenido para 10^6 ciclos.

5.4.1.1. Análisis para región de vida finita

- Se parte del modelo de regresión de los mínimos cuadrados (ecuación 3 del estándar):

$$Y = A + B * X$$

donde:

$Y = \text{Log}N$ (Variable dependiente)

$X = \text{Log}S$ (Variable independiente)

- la regresión lineal es:

$$\hat{Y} = \hat{A} + \hat{B} * X$$

- Se calcula el log tanto de la variable independiente (S) como de la variable dependiente (N)

| Probeta No | Log N (Y) | Log S (X) |
|------------|-------------|-------------|
| 1 | 5.015301063 | 1.601463852 |
| 2 | 5.733951207 | 1.548527777 |
| 3 | 5.785714122 | 1.488231875 |
| 5 | 4.464713046 | 1.64864293 |
| 6 | 5.913692021 | 1.488231875 |
| 7 | 5.696662122 | 1.548527777 |
| 8 | 5.207391978 | 1.601463852 |
| 9 | 4.556483419 | 1.64864293 |

- De acuerdo a las ecuaciones 4 y 5 del estándar se encuentran los valores de \hat{A} y \hat{B}

$$\hat{A} = \bar{Y} - \hat{B}\bar{X}$$

$$\hat{B} = \frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2}$$

donde:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i}{k} = 5,29673862$$

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^k \frac{X_i}{k} = 1,57171661$$

$$Y_i = \text{Log}N_i$$

$$X_i = \text{Log}S_i$$

$$\hat{B} = -8,51573415$$

$$\hat{A} = 18,68105942$$

De la ecuación 6 se estima la desviación estándar

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{k-2}$$

Donde:

$$\hat{Y} = \hat{A} + \hat{B} * X_i$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0,022280195$$

- Con las ecuaciones 7 y 8 del estándar se calcula el intervalo de confianza

$$\hat{A} = \pm t_p * \hat{\sigma} * \left[\frac{1}{K} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\hat{B} = \pm t_p * \hat{\sigma} * \left[\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

intervalo para $A = 21,19575808 - 16,16636076$

intervalo para $B = -6,916533355 - 10,11493495$

- Se sabe que la curva típica para S-N esta dada por:

$$S_a = A(N)^b$$

- Entonces a esta ecuación aplica Log en base 10 y se obtiene en función de N:

$$\text{Log}N = \frac{1}{b} \text{Log}(A) + \frac{1}{b} \text{Log}(S_a)$$

- Se compara esta ecuación con la obtenida de la regresión lineal y se tiene que:

$$X = \text{Log}(S_a)$$

$$Y = \text{Log}(N)$$

$$\hat{A} = \frac{1}{b} * \text{Log}(A)$$

$$\hat{B} = \frac{1}{b}$$

- Entonces la ecuación característica de la curva S-N quedaría definida por:

$$S_a = 156,21 * (N)^{-0,117}$$

- Los valores correspondientes a cada una de las probetas en la región de vida finita serían los siguientes:

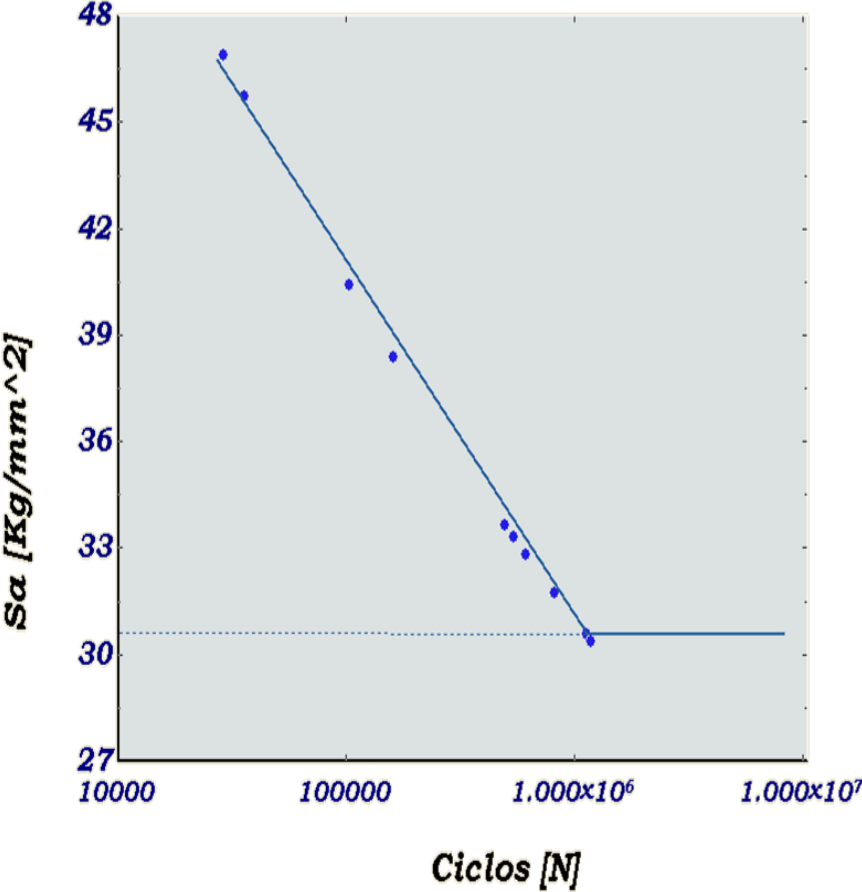
| No PROBETA | S_a | N |
|------------|-------------|--------|
| 1 | 40.24998594 | 103586 |
| 2 | 33.14170683 | 541940 |
| 3 | 32.68107761 | 610540 |
| 5 | 46.71120941 | 29155 |
| 6 | 31.5695189 | 819770 |
| 7 | 33.47755381 | 497350 |
| 8 | 38.21277322 | 161210 |
| 9 | 45.56638188 | 36015 |

5.4.2. Análisis en la región de vida infinita

| No PROBETA | S | N | |
|------------|-------------|---------|-----|
| 4 | 22.91933758 | 1125812 | N-F |
| 10 | 22.91933758 | 1184568 | N-F |

- La curva generada por las regiones de vida finita e infinita se muestra en la figura

Figura 5.2.: Curva S-N para el acero 1020



5.4.3. Acero 1045

| | |
|----------|------------|
| Material | Acero 1045 |
|----------|------------|

| Probeta No | FUERZA APLICADA [Kgf] | ESFUERZO [Kg/mm ²] | NÚMERO DE CICLOS A LA FALLA | TIEMPO TOTAL PRUEBA [min] |
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|

| | | | | |
|----|----|-------------|---------|--------|
| 1 | 75 | 49.11286624 | 101871 | 29.7 |
| 2 | 68 | 43.21932229 | 497350 | 145 |
| 3 | 58 | 37.98061656 | 637980 | 186 |
| 4 | 49 | 32.08707261 | 1080450 | NF |
| 5 | 83 | 54.35157197 | 39445 | 11.5 |
| 6 | 60 | 39.29029299 | 845838 | 246.6 |
| 7 | 66 | 43.21932229 | 529249 | 154.3 |
| 8 | 75 | 49.11286624 | 157094 | 45.8 |
| 9 | 83 | 54.35157197 | 36015 | 10.5 |
| 10 | 51 | 33.39674904 | 1128765 | 329.08 |
| 11 | 50 | 32.74191083 | 1389150 | 405 |
| 12 | 48 | 31.43223439 | 1433740 | N-F |

- Cálculo del logaritmo

| Probeta No | Log N (Y) | Log S (X) |
|------------|-------------|-------------|
| 1 | 5.00805069 | 1.69119528 |
| 2 | 5.696662122 | 1.635677953 |
| 3 | 5.804807064 | 1.579562011 |
| 5 | 4.59599196 | 1.735212109 |
| 6 | 5.927287192 | 1.594285267 |
| 7 | 5.723660046 | 1.635677953 |
| 8 | 5.196159596 | 1.69119528 |
| 9 | 4.556483419 | 1.735212109 |

- Tabla de resultados

| Variabes | Resultado |
|-------------------|------------------------|
| \bar{Y} | 5.31363775 |
| \bar{X} | 1.662252245 |
| \hat{A} | 20.0444237 |
| \hat{B} | -8.86194378 |
| A | 182.748609 |
| B | -0.11284206 |
| σ^2 | 0.01497506 |
| <i>IntervaloA</i> | 22.368223-17.7206244 |
| <i>IntervaloB</i> | -7.46449007-10.2593975 |

- Valores de la gráfica para cada una de las probetas en la región de vida finita

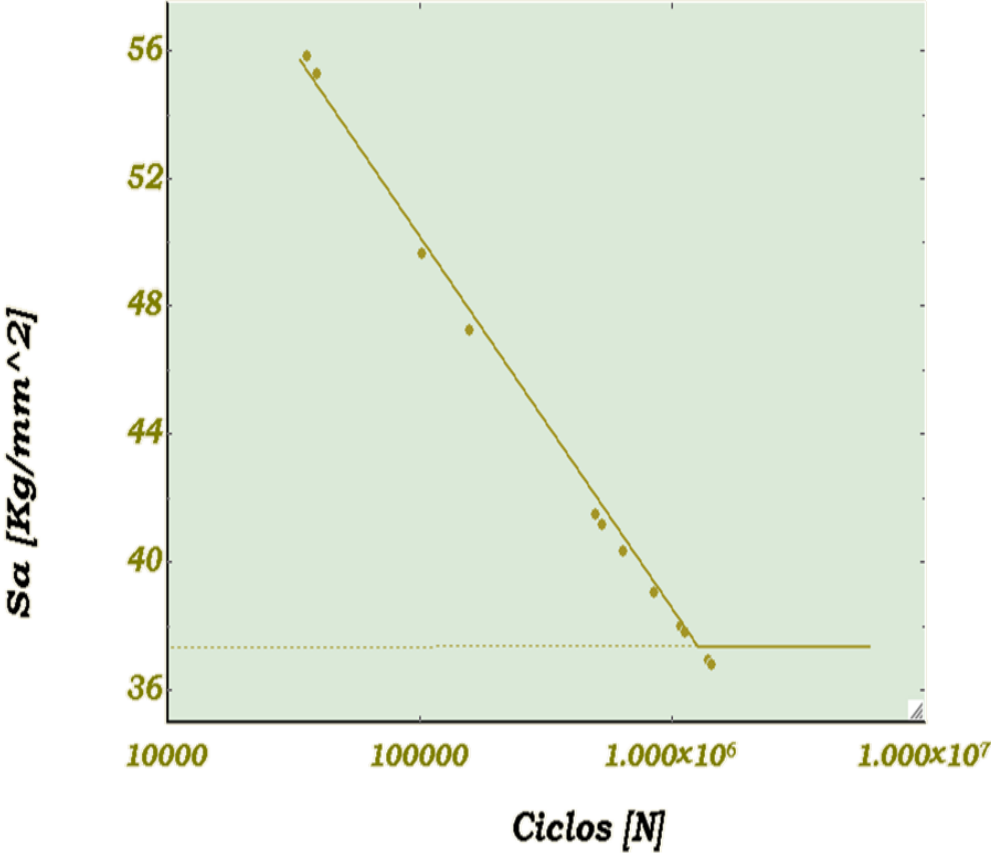
| No PROBETA | S_a | N |
|-------------------|-------------|--------|
| 1 | 49.74338464 | 101871 |
| 2 | 41.59402853 | 497350 |
| 3 | 40.44154021 | 637980 |
| 5 | 55.3646903 | 39445 |
| 6 | 39.17479903 | 845838 |
| 7 | 41.30327954 | 529249 |
| 8 | 47.37058213 | 157094 |
| 9 | 55.93596052 | 36015 |

5.4.4. Análisis para la región de vida infinita

| No PROBETA | S | N | |
|-------------------|-------------|----------|-----|
| 4 | 32.08707261 | 1080450 | N-F |
| 10 | 33.39674904 | 1128765 | |
| 11 | 32.74191083 | 1389150 | |
| 12 | 31.43223439 | 1433740 | N-F |

- La curva generada por las regiones de vida finita e infinita se muestra en la figura

Figura 5.3.: Curva S-N para acero 1045



5.4.5. Acero 4140

| | |
|----------|------------|
| Material | Acero 4140 |
|----------|------------|

| Probeta No | FUERZA APLICADA [Kgf] | ESFUERZO [Kg/mm ²] | NÚMERO DE CICLOS A LA FALLA | TIEMPO TOTAL PRUEBA [min] |
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|

| | | | | |
|----|----|-------------|---------|-------|
| 1 | 86 | 56.31608662 | 222950 | 65 |
| 2 | 77 | 50.42254268 | 552230 | 161 |
| 3 | 69 | 45.18383694 | 898660 | 262 |
| 4 | 59 | 38.63545478 | 1125812 | NF |
| 5 | 95 | 62.20963057 | 85750 | 25 |
| 6 | 69 | 45.18383694 | 960400 | 280 |
| 7 | 77 | 50.42254268 | 423605 | 123.5 |
| 8 | 86 | 56.31608662 | 308700 | 90 |
| 9 | 95 | 62.20963057 | 137200 | 40 |
| 10 | 61 | 39.94513121 | 1184568 | 345 |
| 11 | 60 | 39.29029299 | 1259683 | N.F |
| 12 | 58 | 37.98061656 | 1387520 | N.F |

- Calculo del logaritmo

| Probeta No | Log N(Y) | Log S (X) |
|------------|-------------|-------------|
| 1 | 5.348207477 | 1.750632468 |
| 2 | 5.742119996 | 1.702624742 |
| 3 | 5.953595411 | 1.654983108 |
| 4 | 6.051465873 | 1.586986029 |
| 5 | 4.933234129 | 1.793857622 |
| 6 | 5.982452151 | 1.654983108 |
| 7 | 5.626961078 | 1.702624742 |
| 8 | 5.489536629 | 1.750632468 |
| 9 | 5.137354111 | 1.793857622 |
| 10 | 6.073559996 | 1.601463852 |
| 11 | 6.100261268 | 1.594285267 |
| 12 | 6.142239252 | 1.579562011 |

- Tabla de resultados

| VARIABLES | Resultado |
|-------------------|--------------------------|
| \bar{Y} | 5.526682623 |
| \bar{X} | 1.725524485 |
| \hat{A} | 16.87531127 |
| \hat{B} | -6.576915449 |
| A | 367.9931857 |
| B | -0.15204696 |
| σ^2 | 0.004908774 |
| <i>IntervaloA</i> | 18.3666738-15.38394873 |
| <i>IntervaloB</i> | -5.712880346-7.440950552 |

- Valores de la gráfica para cada una de las probetas en la región de vida finita

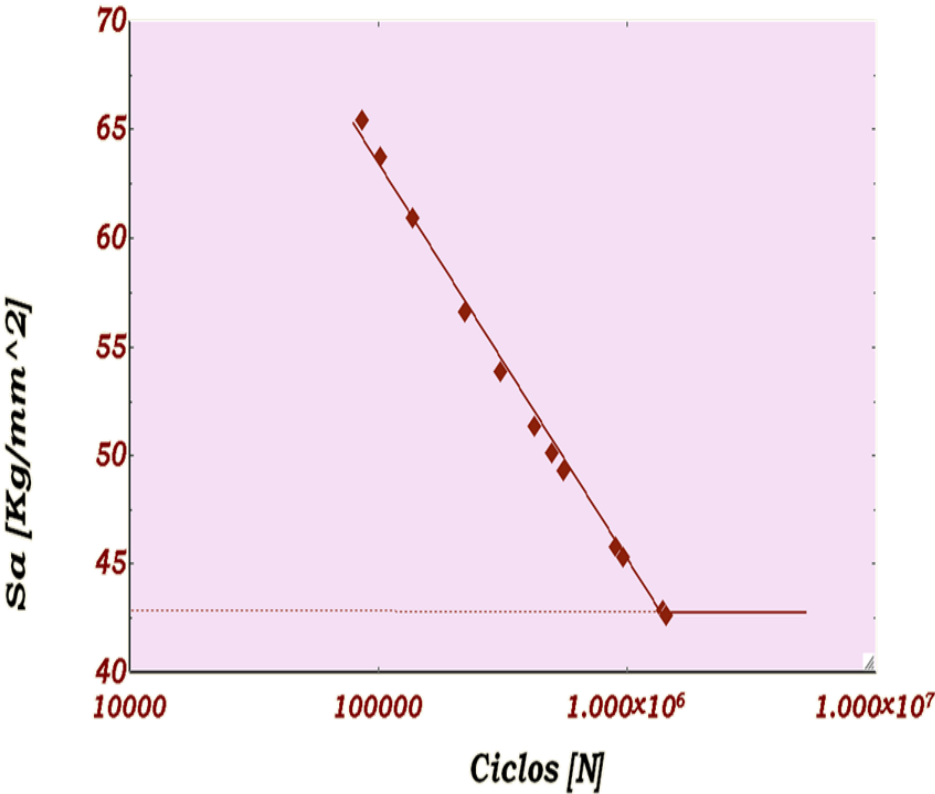
| No PROBETA | S_a | N |
|------------|-------------|--------|
| 1 | 56.57975839 | 222950 |
| 2 | 49.29102933 | 552230 |
| 3 | 45.7734549 | 898660 |
| 5 | 65.42692729 | 85750 |
| 6 | 45.31334408 | 960400 |
| 7 | 51.31891324 | 423605 |
| 8 | 53.8483525 | 308700 |
| 9 | 60.91450252 | 137200 |

5.4.6. Análisis en la región de vida infinita

| No PROBETA | S | N | |
|------------|-------------|---------|-----|
| 4 | 38.63545478 | 1125812 | N-F |
| 10 | 39.94513121 | 1184568 | |
| 11 | 39.94513121 | 1184568 | N-F |
| 12 | 37.98061656 | 1387520 | N-F |

- La curva generada por las regiones de vida finita e infinita se muestra en la figura

Figura 5.4.: Curva S-N para el acero 4140



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El resultado final de este proyecto es la construcción del banco para pruebas de fatiga bajo flexión rotativa para probetas en voladizo, que permitirá a los alumnos del área de diseño de máquinas determinar el comportamiento de aceros de bajo carbono 1020, 1045 y 4140 sometidos a cargas repetitivas; de esta manera se cumple con los objetivos propuestos en este trabajo, al entregar a la Escuela de Ingeniería Mecánica un equipo funcional y de fabricación local; además se logró una maquina de fácil manejo y mantenimiento, con partes y repuestos que se consiguen en el comercio local.
- Las pruebas se realizaron a 12 probetas de cada uno de los materiales mencionados, es de esta manera que se efectuaron un total de 36 pruebas, de las cuales 12 superaron los 10E6 ciclos. Los ensayos realizados tienen en cuenta los lineamientos de la normativa ASTM E6, E606 y E739, y arrojan valores cercanos a los teóricos.
- Al finalizar este proyecto se destaca la importancia de la integración de los conceptos de distintas áreas de la ingeniería como el diseño de máquinas, resistencia de materiales, procesos de manufactura, así como el uso de herramientas computacionales con que cuenta la Escuela de Ingeniería Mecánica, como SOLIDWORKS y el apoyo constante de docentes y técnicos; lo anterior sumado al trabajo desarrollado por los autores conduce a la exitosa finalización de este proyecto, a la vez que se incentiva a profesores y alumnos para el desarrollo de otros trabajos de este tipo.

6.2. Recomendaciones

- Incentivar a los estudiantes al desarrollo de proyectos de este tipo, con el fin de dotar el laboratorio del área de diseño de máquinas.
- Realizar ensayos a otros metales, y de esta manera ampliar la información sobre los ensayos de fatiga.
- No utilizar probetas precargadas para que las pruebas de fatiga se consideren como válidas.
- Al realizar ensayos para cada material, tener en cuenta que las probetas provengan del mismo lote.

Bibliografía

- [1] ASTM International, Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing. E-606, Universidad Industrial de Santander, Julio 2005, 16p.
- [2] ASTM International, Standard Practice for Statistical Analysis of linear o linearized Stress-Life (S-N)and strain -Life (ϵ - N) Fatigue Data, Universidad Industrial de Santander, 2004, 7p.
- [3] ASTM International, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. E-730, Universidad Industrial de Santander, Agosto 2009, 47p.
- [4] GONZALEZ CARLOS R., Diseño por resistencia a la fatiga.
- [5] JACK A. COLLINS, Mechanical design of machine and machines, Failure preventions perspective. Jhon Wiley and sons, 2003.
- [6] NORTON ROBERT L, Diseño de máquinas. Prentice Hall, México 1999.
- [7] R. CAZAUD, Fatiga de los metales. Aguilar, Madrid 1957.
- [8] YUNG LI LEE, Fatigue testing and analysis. Theory and Practice. Graw Hill. 1987.

A. ANEXO

Celda de carga

Data Sheet

**SM
LOAD CELL "S"**

Double-parallel construction, has superiority in loading and its structure. Easy installation. High precision. High reliability and stability. Can be used in combination scale, package scale, systematic scale and belt scale.

Dimensions

Dimensiones (mm)

| CAPACIDAD | A | B | C | M |
|-----------|------|------|------|----|
| 1 - 5kg | 70 | 10 | 60 | M8 |
| 10 - 50kg | 80.8 | 12.7 | 63.5 | M8 |

Specification

| ITEM\ PARAMETER | C2 | UNIT |
|---|-----------------------------|-----------------------|
| Rated load (Emax): | 1 - 50 | kg |
| Maximal numbers of load cell intervals(Nic): | 2000 | d |
| Minimum load cell verification intervals(Vmin): | 0.03 | % of rated load |
| Sensitivity(Cn): | 240.02 | m/V |
| Total error: | 0.03 | % of rated output |
| Non-linearity: | 0.03 | % of rated output |
| Hysteresis: | 0.03 | % of rated output |
| Repeatability: | 0.02 | % of rated output |
| Temperature effect on sensitivity (TKC): | 0.03 / 10 | % of rated output/°C |
| Temperature effect on zero balance (TKD): | 0.03 / 10 | % of rated output/°C |
| Zero balance: | 1.0 | % of rated output |
| Input impedance(red+,black-): | 350±5 | Ω |
| Output impedance(green+,blue-): | 350±3 | Ω |
| Insulation impedance: | ≥5000 | MΩ |
| Safe overload: | 150 | % of rated capability |
| Ultimate overload: | 200 | % of rated capability |
| Operating temperature range: | -10~+50 | °C/°F |
| Recommend excitation: | 9~12 | VAC or DC |
| Maximum excitation: | 15 | VAC or DC |
| Material of elastomer : | alloy steel | |
| Protection class: | IP65 | |
| Cable: | 1 - 5 (0.5m) / 10 - 50 (2m) | 05 |

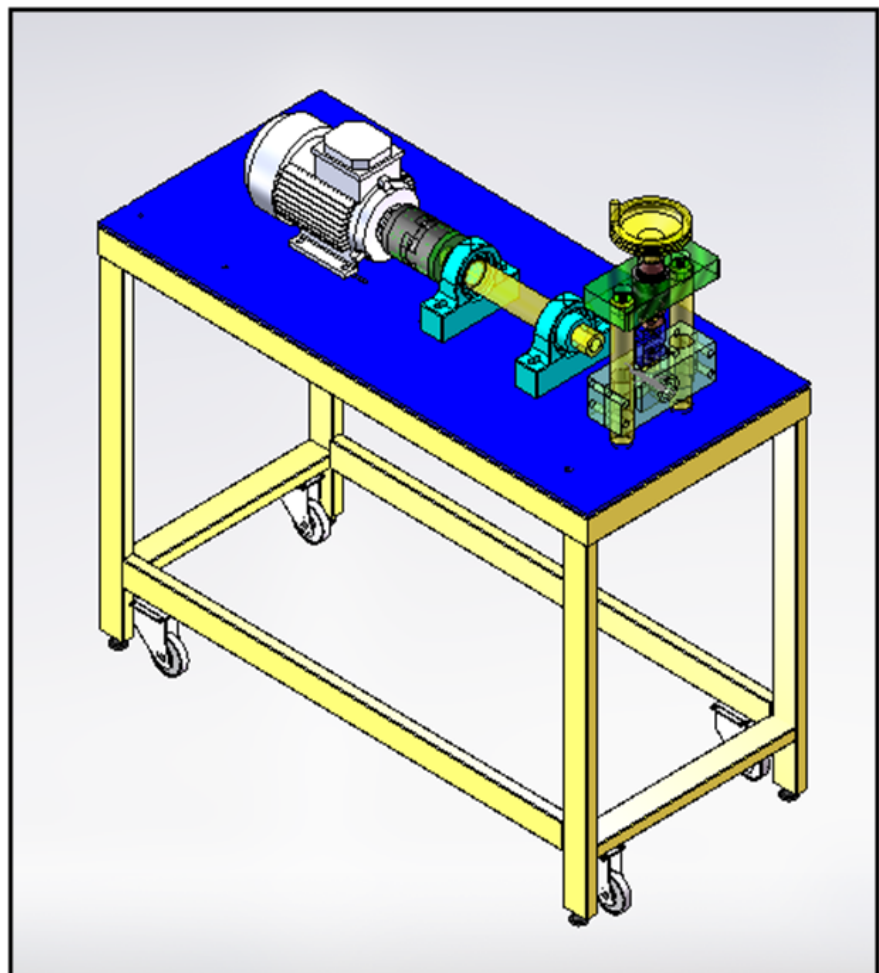
Circuit Diagram

Note:
Do not change length of 4 core cables, or else it will effect sensitivity of load cell.

Guía de laboratorio

universidad industrial de santander
Escuela de ingeniería mecánica
laboratorio diseño de maquinas i
Pruebas bajo flexión rotativa de probetas en
voladizo

DETERMINACIÓN DE LA FALLA POR FATIGA EN ACEROS 1020, 1045 Y 4140
MEDIANTE PROCEDIMIENTO ESFUERZO VIDA S-N



OBJETIVOS

General

- Realizar ensayos de fatiga que permitan determinar la falla por fatiga bajo flexión rotativa de probetas en voladizo para Aceros 1020, 1045 y 4140.

Específicos

- Familiarizar a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica con la operación del banco de pruebas de fatiga y con los procedimientos experimentales.
 - Determinar la carga máxima a aplicar para 10^6 ciclos
 - Analizar y los resultados obtenidos de acuerdo al estandar ASTM E-739
 - Determinar la curva Esfuerzo Vida (S-N) para aceros 1020, 1045 y 4140
-

MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Banco para pruebas de fatiga Bajo flexión rotativa de probetas en voladizo
 - Probetas tipo Moore-Kommers-Lessels
-

ACTIVIDADES

- Realizar gráficas de Esfuerzo Vida (S-N) para aceros 1020, 1045 y 4140
 - Presentar informe con los resultados obtenidos, teniendo en cuenta el estándar ASTM E-739
-

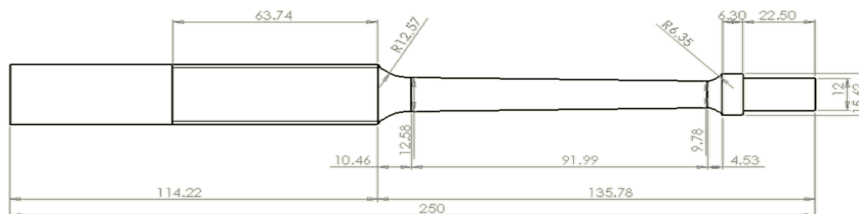
PROCEDIMIENTO

1. Verificar que el banco este desconectado de la corriente eléctrica (Motor, Display celda de carga y contador de ciclos).
 2. Realizar el montaje de la probeta
 - Roscar la probeta al eje de transmisión.
 - Montar sobre el extremo libre de la probeta la semicamisa
 3. Conectar el banco a la corriente eléctrica (Motor, Display celda de carga y contador de ciclos)
 4. Para determinar la región de vida finita escoger los 4 niveles de esfuerzo (2 probetas por cada nivel de esfuerzo).
 5. Para la región de vida infinita aplicar el método de la escalera (Tomando como referencia en valor de S_f para 10^6)
 6. Aplicar la carga llevarla hasta los niveles escogidos (girar el volante y observar el valor en el display)
 7. Cerrar la canastilla de protección y ajustar los tornillos respectivas a la placa.
 8. Encender el contador de ciclos (Verificar en la caja de control)
 9. Encender el motor (Verificar el indicador de luz en la caja de control)
 10. Registrar los valores de carga aplicada y el número de ciclos de falla para cada una de las 12 probetas
 11. Analizar los datos obtenidos, obtener la curva deformación vida y el límite de vida finita.
-

PROBETA

La probeta (Figura B. 1) que se utiliza para determinar la falla por fatiga bajo flexión rotativa es la utilizada por Moore-Kommers-Lessels en sus ensayos de flexión rotativa, cumple con los requisitos del estandar ASTM E 606 En el numeral 7.1 “Specimen Design” de diámetro mínimo y conexiones estandar en los extremos.

Figura A.1.: Probeta Moore-Kommers-Lessels



Falla por fatiga

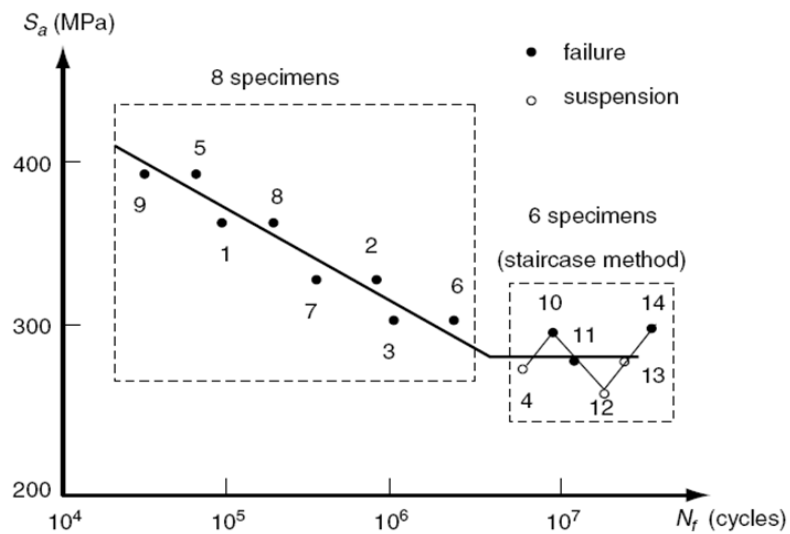
Despues de calcular la carga máxima a aplicar y de escoger los niveles de esfuerzo a los cuales se va a llevar la probeta se pone en marcha el motor hasta el momento de falla de la misma, tanto la carga como el número de ciclos se registra en la tabla de datos para posteriormente realizar la gráfica de Esfuerzo Vida (S-N).Tabla de datos

| |
|----------|
| Material |
|----------|

| Probeta No | FUERZA APLICADA | ESFUERZO | NÚMERO DE CICLOS A LA FALLA | TIEMPO TOTAL PRUEBA |
|------------|-----------------|----------|-----------------------------|---------------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| | | | | |
| 12 | | | | |

Curva obtenida

Figura A.2.: Curva esfuerzo-Vida (S-N)



Guía de mantenimiento

El mantenimiento adecuado de una máquina se ve representado en un aumento de su vida útil, es por esto que se hace importante realizar las labores de mantenimiento recomendadas por los fabricantes. En el diseño de este banco de pruebas se tuvo en

cuenta la utilización de partes durables y con bajas demandas de cuidado para obtener una máquina con mínimos requerimientos de mantenimiento.

Al realizar las actividades de mantenimiento se deben tener en cuenta las siguientes medidas de seguridad:

- Asegurarse que al proporcionarle mantenimiento al banco de pruebas este se encuentre desenergizado.
- Utilizar ropa de trabajo (bata, lentes protectores y guantes) y herramienta adecuada.
- Medir tensión en las terminales que alimentan al motor (estas deben indicar cero voltios).
- Medir la intensidad en las terminales que alimentan al motor (estas deben indicar cero Amperios).

De acuerdo a los diferentes módulos que constituyen el banco se presenta un listado de las partes susceptibles de mantenimiento y las acciones que se deben realizar.

Módulo de potencia

Motor

| | |
|--------------------|----------------|
| Motor | Siemens |
| Código | 25000001083 |
| Tipo | 1LA7 070 2YA60 |
| Velocidad nominal | 3430 Rpm |
| Potencia | 0.75 Hp |
| Amperaje | 2.4 |
| Voltaje | 220 |
| Momento de inercia | 0.00035 |
| Peso | 6 kg |

El mantenimiento del motor eléctrico, implica la inspección periódica de los niveles de aislamiento, elevación de temperatura en bobinas y soportes, desgastes, lubricación de los rodamientos, vida útil de los soportes.

Es importante tener en cuenta que la carcasa se debe mantener limpia, sin acumulación de aceite o polvo en su parte externa para facilitar el intercambio de calor con el medio.

Mientras no esté en uso, el motor debe guardarse protegido de la humedad.

El motor debe permanecer protegido contra cambios bruscos o frecuentes de la temperatura para impedir toda condensación mientras este almacenado.

Antes de la puesta en servicio el motor se debe hacer girar , sin carga mecánica, durante aprox. 3 minutos, asegurándose de que no hay ningún ruido anormal.

Al encender el motor se debe verificar que no existan excesivas vibraciones en el banco, de ser así, se debe apagar inmediatamente y realizar las medidas correctivas correspondientes (ajuste de tornillos y nivelación de las partes).

Durante el funcionamiento del banco se debe verificar que el motor no presente un elevado aumento de temperatura, si esto ocurre se debe apagar e inspeccionar para determinar la causa y realizar los ajustes necesarios.

Rodamientos eje motriz

| Tipo | Marca | Diámetro | Cantidad |
|----------------------|-------|----------|----------|
| Rodamientos de Bolas | NTN | 40 [mm] | 2 |

Estos rodamientos se deben lubricar con grasa de alta temperatura (200°C) utilizando una grasea y teniendo la precaución de girar el eje en ambos sentidos para que la grase se distribuya, al finalizar se debe eliminar el exceso de grasa.

Módulo de carga

Las probetas deben ser lubricadas antes de roscar al eje, para facilitar su extracción al finalizar la prueba.

Tornillo de potencia y contratuerca

Se debe verificar que no haya ningún elemento extraño en la rosca antes de aplicar la carga sobre la probeta.

Celda de carga

Inspeccionar que se encuentre limpia y trabajando a compresión.

Rodamiento para aplicación de la carga

Se debe lubricar periódicamente y verificar que se encuentre centrado en el momento de colocar la probeta.

Módulo de control

Antes de encender el banco se debe verificar que todos los cables y conexiones se encuentren en buen estado, lo mismo que la calidad de la corriente.

Display celda de carga

Se debe verificar la carga de la batería, el display comenzará a quedar intermitente cuando la carga de la batería este por debajo del 20 % de su capacidad. En ese caso se debe apagar el indicador y dejar recargando la batería durante 8 horas; en caso contrario la batería se puede dañar.

Contador de ciclos

Se debe apagar cuando no este en servicio.