

“MÁQUINA DE FATIGA FLEJO ROTATIVA PARA ENSAYOS DE FATIGA.”

Milton Polivio Suárez Viteri ¹

suarezmilton7@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el desarrollo de una máquina de flexión rotativa para realizar ensayos de fatiga en los diferentes tipos de materiales férricos y no férricos, utilizados para la elaboración de elementos de máquinas en la industria. Para realizar este proyecto se inicia con la investigación sobre el fenómeno de fatiga en los materiales y sus diferentes tipos de ensayos y las normas que rigen a estos, se plantea dos opciones para el tipo de máquina a construir, se decide construir una máquina de sistema en voladizo la cual cumple con todos los requerimientos. En base al análisis por fatiga se diseña los elementos sometidos a rotación y para el análisis de columnas se realiza los cálculos a compresión y deflexión el factor mínimo de seguridad de los elementos mecánicos es de 3. Además, el prototipo cuenta con un sistema motriz de 1hp de potencia que llega hasta 3600 rpm, un sistema de aplicación de carga máxima de 223 N, el sistema de control cuenta con un PLC el cual es el encargado de realizar las funciones básicas de seguridad y de adquisición de datos además controla la velocidad a la que se realiza la prueba mediante la comunicación con un variador de frecuencia, todos los parámetros son ingresados por medio de una pantalla con teclado. Se obtiene resultados los cuales nos indica claramente las diferencias de resistencia estrechamente relacionadas con el acabado y la experticia del operador que las fabrica.

PALABRAS CLAVES: fatiga, PLC, voladizo

ABSTRACT

The present work deals with the development of a rotary bending machine to perform fatigue tests on the different types of ferrous and nonferrous materials used for the manufacture of machine components in the industry. To carry out this project begins with the research on the phenomenon of fatigue in materials and their different types of tests and the norms that govern these, it poses two options for the type of machine to be built, it is decided to build a system machine in cantilever which fulfills all the requirements. Based on the fatigue analysis, the elements subjected to rotation are designed and for the analysis of columns are performed calculations to compression and deflection the minimum safety factor of the mechanical elements is 3. In addition, the prototype has a motor system of 1hp of power reaching up to 3600 rpm, a maximum load application system of 223 N, the control system has a PLC which oversees performing the basic functions of security and data acquisition also controls the speed at Which is tested by communication with a frequency inverter, all parameters are entered by means of a screen with keyboard. Results are obtained which clearly indicate the differences in resistance closely related to the finish and the expertise of the operator who manufactures them.

KEY WORDS: fatigue, PLC, cantilever

I. INTRODUCCIÓN

Se ha denominado fatiga a la causa de este desfallecimiento al que no escapa ningún metal, cuando se encuentra sometido a la acción de esfuerzos variables. [1]. El estudio de la fatiga data desde los años 1800. Wöhler estudió el fenómeno de fatiga en los materiales y desarrolló diversas máquinas de ensayo llegando a dos conclusiones: Las fuerzas necesarias para provocar la ruptura con cargas que varían en el tiempo son inferiores a las que se requieren cuando se tienen cargas estáticas y la otra conclusión es que existe un umbral por debajo del cual las probetas no se rompen, que se conoce como el límite de fatiga. [2] Normalmente las pruebas son realizadas para verificar las propiedades de los materiales, tales como resistencia a la tracción, compresión, flexión y fatiga; características de envejecimiento, composición química, térmica, inflamabilidad, análisis micro-estructural, pruebas de seguridad y pruebas de impacto ambiental. [3], una vez que se decidió el tipo de máquina que se va a construir se propone el diseño y construcción de una máquina para realizar ensayos de fatiga, los cuales son regidos por las normas ISO (International Organization for Standardization) 1143, la cual tiene como objetivos principales ser de fácil manipulación, con elementos que se encuentran en el mercado local y con un tamaño adecuado teniendo en cuenta el espacio físico con que contamos en los laboratorios y talleres de la carrera. Hoy en día en la industria lo que se busca es que se necesita máquinas confiables y que estén desarrollados en bases a datos precisos de resistencia es ahí donde denota la importancia de este tipo de máquinas para la vida profesional de ahí la importancia de dotar al laboratorio de mecánica de la carrera de ingeniería de mecatrónica de este tipo de prototipos.

II. DESARROLLO

1.- DETERMINACIÓN DE CARGA MÁXIMA DE APLICACIÓN.

Una vez que se sabe que la probeta está que estará en sistema voladizo se procede a realizar el cálculo de la máxima aplicación que podrá soportar la máquina sabiendo que el límite será de 25 kilogramos.

Se procede a determinar el momento máximo, el momento flector, y el momento de inercia de la probeta obteniendo:

$$\sigma_a = \frac{32 * Q * d_{ab}}{\pi (d_{probeta})^3} \quad (1)$$

La condición para que se produzca la fractura de la probeta es que el esfuerzo alternante generado por la carga sea igual al esfuerzo de fatiga; es decir:

$$\sigma_a = S_e \quad (2)$$

$S_e = \text{esfuerzo por fatiga} = kS_{ut}$; $0 \leq k \leq 1$

Remplazando en la ecuación 2 se tiene:

$$Q = \frac{S_e * \pi * (d_{probeta})^3}{32 d_{ab}} \quad (3)$$

Para lograr calcular el máximo límite de ruptura se necesita que $S_{ut} = S_e$, es decir $k = 1$.

El prototipo tiene una carga de aplicación máxima de 50 libras es decir 223 N.

$$223 N = \frac{S_e * \pi * (6mm)^3}{32 (117,5 mm)}$$

Despejando S_e se tiene:

$$S_e = 1235,64 \frac{N}{mm^2}$$

Entonces se establece que el prototipo esta dimensionado para realizar ensayos de fatiga en materiales con un $S_{ut} \leq 1235,64 \frac{N}{mm^2}$.

2.- DISEÑO DE EJES DE TRANSMISIÓN

Para el diseño de los ejes se escoge el acero ASSAB 705 (SAE 4340), por ser un acero usado por su alta resistencia en la industria automotriz, industria metalmeccánica, y por su alta resistencia a la fatiga. La cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Propiedades acero 4340.

UNIDADES	N/mm^2
S_y	1078
S_{ut}	693

Para los cálculos de las fuerzas y esfuerzos que actúan sobre el eje primero se realiza un diagrama de cuerpo libre.

Diseño por carga estática.

Los esfuerzos a los que están sometidos los ejes son de flexión y de torsión, presentes en una forma combinada. Mediante un reemplazo de términos en la ecuación de esfuerzo por flexión se obtiene una expresión general en términos del momento flector y del diámetro del eje.

$$d = \left(\frac{32M+N}{\pi * S_y} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$d = 10,65 mm.$$

Como se puede ver que el del diámetro del eje es de una medida no comercial por lo que se elige el diámetro de una pulgada siendo este un diámetro comercial.

$$d = 25,4 mm.$$

Con el nuevo diámetro se verifica el aumento de nuestro factor de seguridad.

$$N = 25.2$$

Diseño por cargas dinámicas.

Para determinar el diámetro sometido a cargas dinámicas se aplica la siguiente ecuación:

$$d = \left(\frac{32M+N}{\pi * S_e} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Donde:

$$S_e = \text{Resistencia a la fatiga}$$

Los factores que modifican la resistencia a la fatiga están dados con la ecuación de Marin.

$$S'_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e. \quad (6)$$

$$d = 21,2 mm.$$

Con la resistencia a la fatiga corregida vamos a calcular el factor de seguridad con el diámetro ya establecido de una pulgada.

$$N = 3$$

Con esto se comprueba que el diámetro y el material seleccionado cumple con el factor de seguridad para el análisis de cargas dinámicas.

3.- ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

Por la disponibilidad en el mercado se decide adquirir las chumaceras de la marca SKF de designación UCP 205, la misma que lleva un rodamiento UC 205 y para el sistema de aplicación de fuerza se selecciona el rodamiento 2301

4.- ANÁLISIS DE POTENCIA DEL MOTOR.

Para realizar los ensayos de fatiga en este tipo de máquinas la norma ISO 1143 indica que el rango de trabajo se lo podrá hacer de 900 hasta 12000 rpm, no se tiene un parámetro para la elección de la potencia motor solo se toma como referencia la máquina de Moore la misma que en la mayoría de casos posee un motor de 0.5 hp y de 1800 rpm.

Se escoge el motor trifásico marca Siemens Modelo 1LA5847-2YK31, el cual posee una partencia de 1hp y una velocidad de 3600 rpm.

5.- ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO.

Un aspecto importante de la máquina es el acople entre el motor y el eje de transmisión para una selección adecuada se debe conocer el par nominal que es transferido por el motor hacia el eje:

$$T = 3.5 N.m$$

Se calcula el par nominal del acoplamiento cómo podemos ver en (7)

$$T_0 = TK \quad (7)$$

$$T_0 = 4.62 N.m$$

Tomando en cuenta el diámetro de los ejes, y con el valor obtenido para el par nominal del acople, utilizando el catálogo de Lovejoy, se selecciona el tipo de acople L-090. [4]

6.- DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTANTE.

La estructura de la máquina está construida por tubo estructural negro ASTM-A500 de dos pulgadas.

El peso que debe soportar la estructura es de 50 lb, ésta carga se divide para cuatro columnas, el resultado es 12.5 lb. Lo cual significa que la carga en cada uno de los elementos sera de 57 N.

Cálculo de esfuerzo por pandeo en columnas.

Se realiza la verificación del factor de seguridad mediante el cálculo del esfuerzo por pandeo, para lo cual tenemos que calcular la relación de esbeltez:

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{kL}{r} \quad (8)$$

Una vez que se encontró la relación de esbeltez de transición se logra establecer que la columna es corta y dado que la esbeltez real no es mayor a 25 se procede a realizar el cálculo por la ecuación básica de esfuerzo.

El esfuerzo a compresión (8)

$$\sigma_c = \frac{W_{pt}}{A} \quad (9)$$

$$\sigma_c = 15.3 \text{ N/cm}^2$$

Calculo del factor de seguridad:

$$F_s = 372.5$$

Se observa que el factor de seguridad es sumamente alto, pero se utiliza este material y en estas dimensiones por el aspecto estético.

7.- DISEÑO DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE FUERZA.

El sistema de aplicación de carga está compuesto por 3 partes principales: tornillo de aplicación de fuerza, barras guías, rodamiento de aplicación de fuerza.

Tornillo de aplicación de fuerza:

Para la construcción del sistema de aplicación de carga no se diseña el tornillo en su lugar se realiza la compra de una varilla roscada la misma que tiene rosca UNC 11 hilos por pulgada de comercialización local bastante abundante, como uno de los objetivos principales es realizar el prototipo a bajo costo se decide no diseñarlo ya que el costo de construcción casi duplica el valor de la varilla en el mercado. El material del que está construido la varilla es el AISI 4140.

Varillas Guías

Las varillas guías es por donde se desliza el alojamiento del rodamiento que aplica la carga sobre la probeta tomando en cuenta que la carga máxima aplicar no es mayor de 250 N y

que el material será acero inoxidable 304 de 3/4" de diámetro se realiza los cálculos del factor de seguridad:

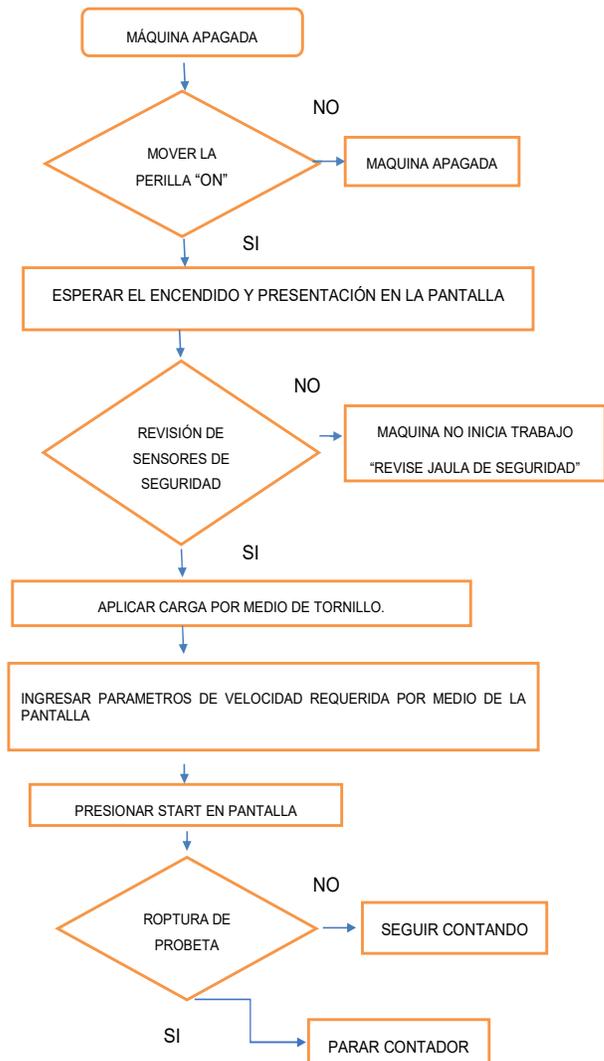
Calculando el factor de seguridad:

$$F_s = 1.126$$

Para este elemento tampoco se realiza el cálculo por pandeo debido a la longitud y al gran factor de seguridad que da este material. Para la realización de los bujes de deslizamiento se opta por fabricarlos en bronce SAE 64.

8.- DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL.

Diagrama de flujo de funcionamiento de la máquina.



9.- SELECCIÓN DE ELEMENTOS SISTEMA DE CONTROL.

Para nuestro el contador de ciclos de nuestro prototipo se selecciona el sensor de efecto hall 3503 Ratiometric, se selecciona también un sensor flexiforce de marca Tecksan el

cual tiene una capacidad máxima de 25 kg. [5]. Para la selección del controlador se toma en cuenta las variables a controlar y la función de la máquina por lo que se decide utilizar, Se utiliza un Siemens LOGO que es un controlador compacto y cumple nuestro requerimientos. Para poder realizar el sistema de control y poder manejar todas las variables que posee el prototipo se aprovecha una característica del controlador seleccionado de ahí que se necesita ampliar las entradas y salidas analógicas para lo cual utilizamos un módulo de expansión, para el HMI se utiliza pantalla táctil o en su defecto con botonera para que el operario pueda ingresar el valor de las revoluciones a las que se va a realizar las pruebas además de poder observar el peso con la que se está desarrollando la misma, se selecciona la pantalla LOGO TD , además para poder realizar el control de velocidad de las pruebas utilizamos un variador de frecuencia G110.

La *figura 1* nos muestra: (1) luz roja de emergencia esta enciende cuando se activa el botón de paro (5), (2) luz amarilla indica la alimentación de la maquina a una red 220v, (3) luz verde es la que indica que la maquina está trabajando, (4) la pantalla HMI por donde se realiza el ingreso de la velocidad y se indica los resultados de las pruebas realizadas, (7) es el selector de encendido de la máquina.



Figura 1 Interface.

La figura 2 muestra las conexiones y el cableado del sistema de control podemos observar el PLC, variador, fuentes, placa de adquisición de datos, breaker, fusibles.



Figura 2 Tablero de control.

10.- ESQUEMA MECÁNICO DE LA MÁQUINA.

Diagrama de montaje del prototipo.

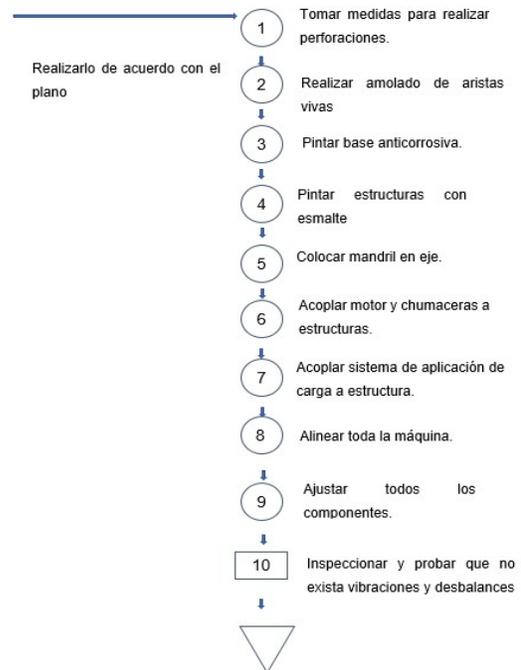


Figura 3 Máquina de fatiga terminada.

11.- PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA.

- Destape el sistema de sujeción de la máquina.
- Coloque la probeta.
- Ajuste el mandril ya que es un mandril auto alienable y ajustable no necesita de llaves solo de sus manos.
- Conectar o verificar que la maquina esté conectada a una fuente 220v
- Mover el selector de encendido
- Esperar unos minutos que la hmi cargue su presentación luego seguir todos los pasos que están muy claros en la hmi. dado que es una interfaz muy básica no será de mucho tiempo para llegar a su total dominio.
- Ingrese al ítem de carga.
- Gire el tornillo hasta que la interfaz le indique el nivel de carga al cual usted desea hacer la prueba.
- Luego ingrese el número de rpm para realizar dicha prueba.

- Espere a que suceda el fenómeno de fatiga y la maquina automáticamente se detendrá.
- Tome los datos que indique la interfaz ya que esos son los necesarios para realizar el informe.
- Apague la máquina y retire los restos de la probeta.

III. PRUEBAS

Tabla 2 Tabla de datos prácticos para ensayos de fatiga

# Prob	Qr(Kg)	Nr	tr(mín)	Sfr (Mpa)	E (%)
1	11,4	6905	2,56	531	3,61
2	10,7	7724	4,58	526	1,85
3	10,3	9792	5,42	519	1,35
4	10,1	11863	6,68	512	1,09
5	9,95	13784	8,2	507	0,95

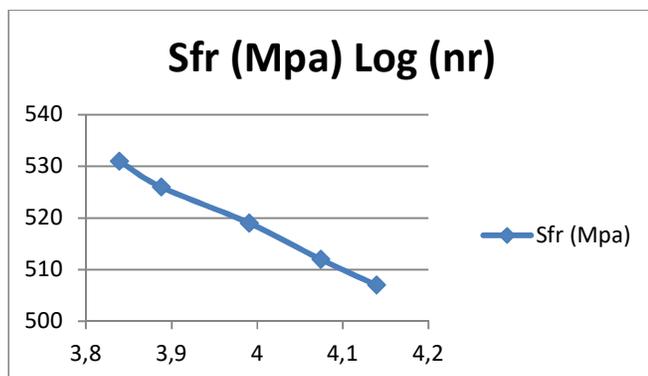
$$\% \text{ Error} = \left| \frac{512.088 - 507.296}{512.088} \right| = 0.95$$

IV. ANÁLISIS

Luego de realizar el promedio de los errores de las cinco practicas realizadas con la máquina propuesta en este trabajo de titulación nos da un error promedio el cual está en un rango aceptable para este tipo de ensayos. Tabla 3 tabla logarítmica de la practica

Nr	Log (Nr)	Sfr (Mpa)	log(Sfr)
6905	3.8391	531	2.7250
7724	3.8878	526	2.7209
9792	3.9908	519	2.7151
11863	4.0741	512	2.7092
13784	4.1393	507	2.7050

En la tabla nos muestra los datos del número de ciclos del límite de fatiga prácticos y su equivalente en base logarítmica.



Con este gráfico se puede deducir que la vida en fatiga del material aumenta a medida que el esfuerzo aplicado disminuye,

es decir, se tiene una relación inversamente proporción a la resistencia número de ciclos. Y esto es algo lógico al tomar en cuenta que un material sometido a fuerzas flexo rotativas por mucho tiempo tiene un

V. CONCLUSIONES

Se construyó este prototipo con la motivación de dotar al laboratorio y/o taller de mecánica de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica para ayudar en el mejor entendimiento, aclarar y afianzar los conceptos en el estudiante, la cual permita realizar el ensayo de fatiga en materiales tales como: acero de construcción, acero de transmisión, algunos aceros especiales y polímeros, siempre y cuando su resistencia última a la tracción no sobrepase los $1240 \text{ N} / \text{mm}^2$, además el costo total de la misma representa un 30% del costo de una máquina de importación, utilizando equipos de marcas de renombre en el ámbito industrial.

VI. RECOMENDACIONES.

Se recomienda el desarrollo de un sistema de comunicación con la PC ya que hoy en día la mayoría de maquinaria de punta lo implementa el prototipo cuenta con elementos para realizar dicha mejora, además se podría realizar el cambio del sensor de presión por uno que tenga un menor rango de error para que un futuro el prototipo pueda ser un banco de pruebas con resultados aplicables a la industria.

VII. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.

Se recomienda el desarrollo de un sistema de comunicación con la PC ya que hoy en día la mayoría de maquinaria de punta lo implementa el prototipo cuenta con elementos para realizar dicha mejora, además se podría realizar el cambio del sensor de presión por uno que tenga un menor rango de error para que un futuro el prototipo pueda ser un banco de pruebas con resultados aplicables a la industria.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. CAZAUD, «LA FATIGA DE LOS METALES,» MEXICO, AGUILAR, 1957, p. 3.
- [2] S. JAMES, de CIENCIA Y DISEÑO DE INGENIERIA DE LOS MATERIALES, 2000, p. 261.
- [3] SCG, «ENSAYO DE MATERIALES,» SCG INDUSTRIAL, 2016, p. 6.
- [4] Lovejoy, *catalogo de acoplamiento elasticos lovejoy tipo I*, 2013.
- [5] «www.robots-argentina.com.ar/Sensores_FlexiForce.htm,» [En línea]. Available: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_FlexiForce.htm. [Último acceso: 326 mayo 2017].
- [6] J. M. E. VENTURA, «www.bibling.com,» [En línea]. Available: <http://bibling.us.es/proyectos/abreproy/4089/fichero/4.pdf>. [Último acceso: 1 mayo 2017].
- [7] Monografías, «<http://www.monografias.com>,» [En línea]. Available: [/trabajos88/fatiga-metales-generalidades/fatiga-metales-generalidades.shtml#ixzz4h4xyuYIs](http://www.monografias.com/trabajos88/fatiga-metales-generalidades/fatiga-metales-generalidades.shtml#ixzz4h4xyuYIs). [Último acceso: 14 mayo 2017].
- [8] LILY-BEARING, «www.lily-bearing.com,» [En línea]. Available: <https://www.lily-bearing.com/es/ceramic>

bearings/ceramic-self-aligning-bearings/2301-self-aligning-full-ceramic-bearings-3/. [Último acceso: 31 Mayo 2017].

- [9] «www.es.made-in-china.com,» [En línea]. Available: http://es.made-in-china.com/co_blsbearing/product_Ucph211-Ucp205-Pillow-Block-Bearing-Ucp-Ucf-Ucf-Ucf_enineug.html: . [Último acceso: 31 Mayo 2017].