

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS-SISTEMA HIDRÁULICO DE PRESIÓN PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Rómmel Lanchimba Salazar
Director: Christian Vásquez

Resumen— El presente proyecto surge de la necesidad de contar con una máquina de ensayos destructivos en el norte del país, siendo importante en el análisis de las propiedades mecánicas de los materiales sólidos empleados en los diseños de ingeniería, así como validación de prototipos que van a trabajar sometidos a carga (prótesis). Las máquinas para ensayos destructivos utilizan materiales en muestras estandarizadas del material (probetas normalizadas); que son sometidos a ensayos de tracción, compresión, flexión, entre otros, siendo los requeridos para poder caracterizar un material; así como podrá ser utilizada para ensayos de control de calidad con cilindros de hormigón, soldadura, análisis de tensión, etc.

La presente investigación abarca la selección del sistema hidráulico de una máquina para ensayos destructivos, el diseño de la base que albergará el sistema hidráulico y los demás elementos que conforman la máquina UTM-30 serán validados por catálogo y mediante el análisis de elementos finitos, considerando las condiciones de borde y la aplicabilidad de la máquina.

Abstract— This project results from the need to have a universal testing machine in the north of the country, it's being important in the analysis of the mechanical properties of the solid materials used in the engineering designs, as well as validation of prototypes that go to work under load (prosthesis). The universal testing machine use standardized samples those are subjected to tests of traction, compression, bending, among others, being as required to be able to characterize a material; as well as it can be used for quality control as concrete cylinders, welding, tension analysis, etc.

The present research covers the selection of the hydraulic system of a machine for destructive tests, the design of the base that will contain the hydraulic system and the other elements that make up the UTM-30 machine it will be validated by catalog and by the analysis of finite elements, considering the boundary conditions and the applicability of the machine.

Índice de Términos— Probetas normalizadas, UTM (Universal Testing Machine), Elementos finitos, Fluencia, Elongación, Plasticidad, Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1573:2010, Norma

ASTM C31, Sistema HMI, ASTM A36, Esfuerzo permisible, Control on/off, Pistones axiales, Esquemas de control y potencia, Análisis de convergencia, Análisis de Von Mises, Yield Strength (límite elástico)

I. INTRODUCCIÓN

En la evaluación de materiales se utiliza un equipo dedicado a ensayos de tracción, compresión y flexión para determinar sus propiedades mecánicas como fluencia, elongación, elasticidad, carga de rotura en los materiales, plasticidad, resistencia a la fluencia, resistencia a la tracción, ductilidad y resistencia a la compresión. Para esto posee un sistema que aplica cargas controladas sobre una probeta (modelo de dimensiones preestablecidas) y mide en forma gráfica la deformación, y la carga al momento de su ruptura.

En el norte del país no existe una máquina de ensayos universales que nos permita evaluar la resistencia de los materiales y/o probetas de control de calidad que son utilizadas en la industria y construcción, como pueden ser los ensayos de hormigón, varillas de construcción, pruebas destructivas para calificación de soldadores, etc.

II. DESARROLLO

El sistema hidráulico está dividido en dos partes básicas que corresponden a cada uno de los módulos desarrollados, estos bloques son mostrados en la figura 1.



Figura 1. Sistema hidráulico y base de alojamiento.

A. Sistema hidráulico

El proceso de selección del sistema hidráulico se lo realizó utilizando al ensayo de compresión de hormigón como crítico. Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1573:2010 el hormigón de cemento hidráulico puede ser utilizado dentro del ensayo a compresión utilizando cilindros de 150mm por 300mm (6x12pulg) y de 100mm por 200mm(4x8pulg).

El coeficiente de variación dentro del ensayo representa la variación esperada de la resistencia medida de los cilindros compañeros preparados con la misma muestra de hormigón y ensayados por un laboratorio a la misma edad. Los valores dados para el coeficiente de variación dentro del ensayo de cilindros de 150 mm por 300 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 15 MPa a 55 MPa y para los cilindros de 100 mm por 200 mm son aplicables para resistencias a compresión en un rango de 17 MPa a 32 MPa [6] (INEN-1573, 2002, p. 9). Se toma como referencia la Norma ASTM C31 para ensayo de compresión en probetas de concreto. El ensayo de compresión es el punto crítico a la hora de la selección de la capacidad del cilindro de doble efecto del sistema hidráulico de la máquina. Una vez seleccionado el cilindro se procederá a dimensionar la capacidad de la bomba hidráulica, para que sea capaz de suministrar la presión necesaria. La máquina deberá cumplir con el requerimiento de ser operada a distancia a través de un sistema HMI.

B. Base de alojamiento del sistema hidráulico

El diseño de la estructura cilíndrica de alojamiento y refuerzo del cilindro de doble efecto, se basa en la geometría del cilindro de doble efecto. Se debe considerar el alojamiento de las dos conexiones de avance existentes en el costado del cilindro, por lo cual se realizó una ranura que permita el deslizamiento del cilindro hacia el interior de la estructura. Para el diseño y el maquinado de las piezas cilíndricas de la base del cilindro se consideró una barra perforada Mecaplast 470 cementable, material que se utiliza de manera general para la elaboración de bocines, pistas, para empatar funda de eje trasero de los automotores, columnas de taladros, ejes estriados huecos, anillos, etc.

Para el diseño de las formas geométricas planas utilizadas en

el maquinado para la base del cilindro hidráulico de doble efecto se consideró el acero ASTM A36 por su relación costo beneficio, más sus propiedades mecánicas óptimas a ser utilizadas en la elaboración de piezas con geometría plana.

Los nervios y la placa base de geometría plana serán construidos con acero ASTM A36, ya que este tipo de aleación de acero es el más utilizado para el maquinado de componentes de la construcción, vigas, estructuras, bases, columnas y elementos de acabado.

C. Análisis de elementos finitos

El realizar un diseño previo brindará resultados a la hora de simular y realizar análisis estáticos lineales y no lineales, de fatiga y de pandeo. De igual manera, el software utilizado para la simulación permite resolver problemas de una forma intuitiva al mismo tiempo que se diseña las partes mecánicas, permitiendo un ahorro de tiempo y trabajo a la hora de encontrar soluciones de diseño óptimos.

Una vez construida una pieza, se deberá verificar el correcto funcionamiento del modelado en el área en donde va a trabajar, si no se contará con la herramienta de simulación, se debería realizar la elaboración del modelo, fabricar un diseño previo al definitivo, realizar pruebas del diseño previo en el área donde va a funcionar el modelado, obtener los resultados de las pruebas de campo y al final los cambios al diseño acorde a los resultados arrojados en la prueba de campo, lo que generaría un alto costo y una gran demanda de tiempo para obtener el modelado final, este desarrollo se lo realizaría hasta obtener la solución del problema.

Como conclusión, la herramienta de simulación es muy importante para ahorrar tiempo y pruebas de campo, disminuyendo los costos elevados que demandan este tipo de pruebas, en vez de este proceso se realizará una o varias simulaciones del diseño previo, utilizando software de computadora; aminorando el número de ciclos de desarrollo de un determinado producto, dando como resultado una mejora sustancial en un determinado modelado, mediante los ensayos y la recopilación de información de la simulación, para así tomar la última decisión a la hora del maquinado de una determinada pieza o modelad. [8]

III. ESPECIFICACIONES

Para la elección del Sistema hidráulico se tomó como referencia la Norma ASTM C31 para ensayo de compresión en probetas de concreto. Esfuerzo permisible del concreto igual a $280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$.

$$\begin{aligned} \text{dia_probeta} &= 150 \text{ mm} \\ \text{esfuerzo_permisible} &= 27.459 \text{ MPa} \\ \text{fuerza} &= \text{esfuerzo_permisible} * \pi * \frac{(\text{dia_probeta})^2}{4} \\ &= 485.234 \text{ kN} \end{aligned}$$

La fuerza requerida para romper la probeta es de 485.234kN, la cual se toma como limitante o fuerza máxima que generará la máquina de ensayos hidráulica. El fabricante de cilindros

hidráulicos hydrafore especifica que la capacidad máxima de un cilindro de 50 toneladas en fuerza de empuje es de 496kN, superando la fuerza requerida para romper la probeta y siendo óptimo para utilizarlo en este tipo de ensayos.

Una vez seleccionado el cilindro de doble efecto, se procede a seleccionar la bomba en base al cilindro seleccionado, teniendo en cuenta los siguientes cálculos:

$$\begin{aligned} \text{fuerza} &= 485.234 \text{ kN} \\ \text{dia} &= 4.72 \text{ in} = 11.989 \text{ cm} \\ \text{área_cilindro} &= \pi * \frac{(\text{dia})^2}{4} = 0.011 \text{ m}^2 \\ \text{presión} &= \frac{\text{fuerza}}{\text{área_cilindro}} = (6.234 * 10^3) \text{ psi} \end{aligned}$$

Como la máxima presión a la que trabajan todas las bombas hydrafore es de 10000psi y la presión requerida para el sistema es de 6234 psi, entonces se procede a escoger la bomba eléctrica (doble efecto activada por una válvula tipo solenoide) con la finalidad de adaptar al sistema HMI para controlar el proceso. El control de este tipo de válvulas activadas por solenoide, es un control on/off, ya que no pueden operar en posición moduladora, es decir no se puede regular el flujo ya que puede estar completamente abierta o completamente cerrada.

El mecanismo de la bomba hidráulica es de pistones axiales en línea, mismo que cuenta con tres pistones; como dato general, los motores de pistones de tipo axial tienen una muy buena capacidad a altas revoluciones, pero tienen limitaciones a bajas velocidades, mientras se trabaje a velocidades bajas de hasta 100 rpm no se han hallado inconvenientes en este tipo de bombas, a continuación, en la figura 2 se muestra el mecanismo utilizado en la bomba:



Figura 2 Mecanismo de la bomba hidráulica (Bomba de tres pistones axiales)

Una vez seleccionado el conjunto hidráulico, se procederá a la elaboración de los esquemas de control y potencia, utilizando software de simulación de sistemas hidráulicos, como se muestra en las figuras 3 y 4:

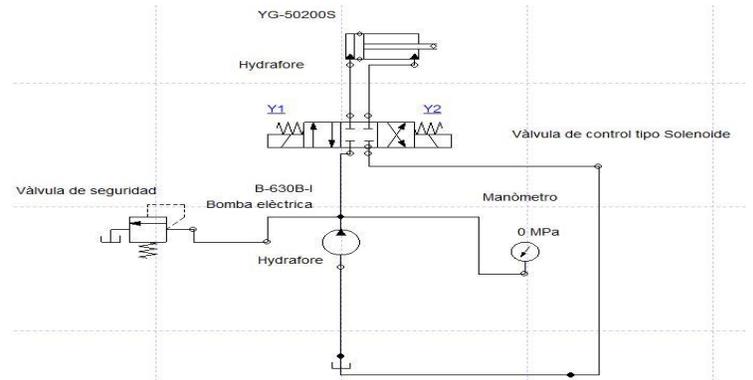


Figura 3 Esquema hidráulico de control UTM-30.

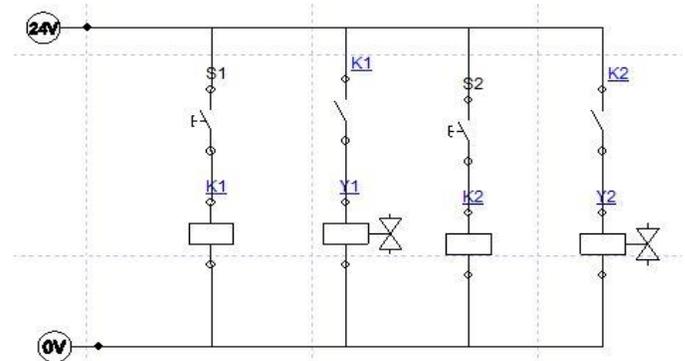


Figura 4 Esquema hidráulico de potencia UTM-30.

IV. RESULTADOS

El siguiente paso será diseñar la base de alojamiento del sistema hidráulico mediante simulaciones de elementos finitos utilizando software de computador.

Para la simulación de la base de alojamiento del cilindro hidráulico, se realizó un análisis de convergencia de elementos finitos, con la finalidad de ver cómo reacciona el diseño con diferentes tamaños de mallado como se muestra en la figura 5:

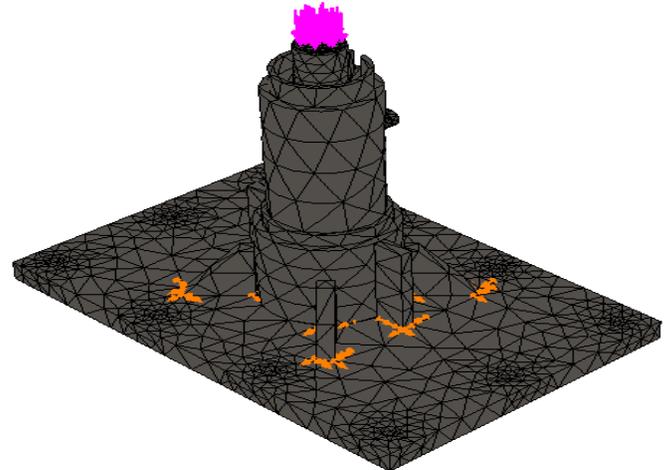


Figura 5 Mallado en el análisis de convergencia de elementos finitos.

Detalles de la elaboración de estudios estáticos realizados, tomando como ejemplo el estudio estático # 4.

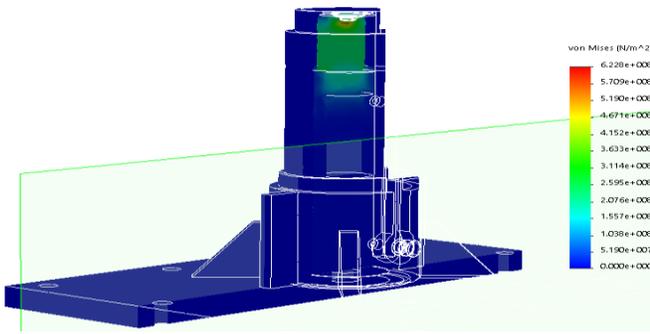


Figura 6 Análisis de Von Mises

Los resultados que nos entregó el análisis estático de tensión nodal fueron los siguientes:

	Static #4	Static #3	Static #2
Name	Stress	Stress	Stress
Type	Von Mises Stress	Von Mises Stress	Von Mises Stress
Min	0 N/m ² Node: 1	0 N/m ² Node: 1	0 N/m ² Node: 1
Max	6.22818e+08 N/m ² Node: 21207	6.14375e+08 N/m ² Node: 26928	6.15048e+08 N/m ² Node: 33757

Tabla 1 Resultados del análisis estático de tensión nodal

La tabla 1 nos indica los resultados utilizando tres diferentes tamaños de mallado, se debe tener en cuenta que el valor del SY (límite elástico) del material de construcción del vástago del cilindro de doble efecto es de 1100 MPa, y que los tres análisis arrojan valores muy por debajo de este valor, por lo que se procedió al maquinado del conjunto de alojamiento de la base del sistema hidráulico.

V. CONCLUSIONES

- La máquina estudiada en la situación inicial no cumple con los requerimientos de una máquina UTM-30, en tamaño, capacidad y seguridad, por tal motivo se procedió a construir una nueva máquina de ensayos universales.
- La determinación de la capacidad máxima del sistema hidráulico se la realizó basado en el ensayo crítico por compresión de cilindros de hormigón, según la norma Técnica Ecuatoriana INEN 1573:2010, la cual nos proporciona las medidas de las probetas normalizadas para ensayos a compresión, se estimó los 485.234 kN como capacidad máxima a soportar por el cilindro de doble efecto, por lo que se procedió a seleccionar un cilindro de 50 Ton.
- Se implementó un sistema hidráulico con un cilindro de doble efecto operado por una bomba de tipo

solenoides, ya que este tipo de bombas on/off están acondicionadas para ser utilizadas en sistemas controlados por HMI.

- El sistema hidráulico se montó en el sistema definitivo UTM-30; en el capítulo dos, figura 22, se detallaron los parámetros mínimos que debía cumplir el sistema. El sistema provisional no cumplía con estas especificaciones y adicional generaba inseguridad al operario a la hora de poner en marcha la máquina, por tal motivo fue dado de baja.
- Se realizó un análisis de convergencia utilizando software de elementos finitos, se tomó tres tamaños de malla diferentes para el análisis estático de convergencia. En los tres análisis se pudo observar resultados similares y muy cercanos uno con respecto del otro tanto en el análisis de Von Mises, análisis de desplazamientos, factor de seguridad y deformación unitaria; se consideraron tres tamaños de malla a la hora de la simulación, una malla por default, una malla intermedia y la malla más fina que proporciona la configuración del programa, encontrando así un margen de error relativo del 0,58% entre las tres muestras.

VI. REFERENCIAS

- [1] Barreiro, P. S. (2010). Cómo Estructurar Un Informe Técnico Como Un Verdadero Ingeniero, (1), 4–5. Retrieved from <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1408/course/section/1805/tema10-comoEstructurarUnInformeTecnico.pdf>
- [2] Bosch Rexroth. (2002). Hydraulic cylinders. October, (2), 1–72. <https://doi.org/10.1016/B978-075066276-5/50005-X>
- [3] El Acero Webnet Soluciones. (n.d.). BARRA PERFORADA, 33. Retrieved from http://www.elacero.com.ec/archivos/pdf/ACERO_MECAPLU_S470.pdf
- [4] EZ-Tools USA, L. (n.d.). ELECTRIC DRIVEN HYDRAULIC PUMP OPERATION AND. ELECTRIC DRIVEN HYDRAULIC PUMP OPERATION, (1), 1–9. Retrieved from https://ez-tools.eu/Electric-Driven-Hydraulic-Pump-Double-acting-solen#page_artdet_tabs
- [5] IMCOSA. (2013). Valvulas de solenoide, 82–95. Retrieved from <http://www.imcosamex.com/nueva/wp-content/uploads/2013/07/funcionan-valvulas-solenoides.pdf>
- [6] INEN-1573. (2002). NTE INEN 1573:2010. Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico. Nte Inen, 1(Primera Edición), 5. Retrieved from <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1573.pdf>
- [7] Jingqing, D., Shiqiao, G., & Shaohua, N. (2010). New Idea for Hydraulic Testing Machine with Stress and Strain Rates Controlled and its Realization. 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 768–772. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2010.454>
- [8] Lázan, I. A. V. (2014). Simulación con SolidWorks Análisis estático lineal. (E. MACRO, Ed.) (Primera Ed). Lima.
- [9] Normalización, I. E. de. (1989). Dibujo-Tecnico-mecanico-Inen.pdf. Quito.

- [10] Pvt., F. I. & E. (n.d.). Universal Testing Machine. Maharashtra, India. Retrieved from www.fuelinstrument.com
- [11] Ricardo Solorzano. (206AD). Principios Ingenieriles Básicos: Motores Hidráulicos. Retrieved April 14, 2018, from <http://www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-motores-hidr-ulos>
- [12] Solé, A. C. (2012). Neumática e Hidráulica. (S. A. MARCOMBO, Ed.). España. Retrieved from https://www.mendeley.com/research-papers/neumatica-e-hidraulica-1/?utm_source=desktop&utm_medium=1.17.11&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Ba8f8ec3e-8b7f-4856-a754-e96572057428%7D
- [13] Tapia, P. (Universidad A. N. L. (n.d.). Tablas de Materiales.
- [14] Technologies, E. C. (2014). Catálogo General del Productos Válvulas, Controles y Protectores del Sistema, 148. Retrieved from <http://www.emersonclimate.com/es-LA/Documents/pdfs/Catalogo-Latinoamerica-2014.pdf>
- [15] Ternium Placa A36. (2011), 2011. Retrieved from <https://terniumcomprod.blob.core.windows.net/terniumcom20/2016/06/Hoja-Tecnica-Placa-A36.pdf>
- [16] ThyssenKrupp. (2010). TK ThyssenKrupp Aceros y Servicios S . A ., 1–5. Retrieved from <http://www.thyssenkrupp.cl/archivos/34CrNiMo6.pdf>
- [17] U.S. Army Materiel Command. (1976). ENGINEERING DESIGN HANDBOOK. hydraulic fluids. Retrieved from <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/884519.pdf>
- [18] Vaughan, T. H. and N. (1996). THE HYDRAULIC HANDBOOK (9th Edition, Vol. 3). Oxford: Elsevier Advanced Technology. Retrieved from <http://opac.vimaru.edu.vn/edata/EBook/HydraulicHandbook.pdf>
- [19] Vickmex. (n.d.). Manual de Hidráulica Industrial. México: VICKERS.
- [20] William, D., & Callister, J. (1995). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Reverté,.
- [21] Zhao, S., Liu, B., Ren, Y., & Han, J. (2010). The Design of Measurement and Control System to WJ-10 Universal Tension and Compression Testing Machine Based on C8051F020 and Virtual Instrument. Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2010 International Conference on, 3, 833–836. <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2010.620>