

# Máquina universal de ensayos: Sistema estático

Diana Mishel Mora Ayala  
Universidad Técnica del Norte – Ibarra, Ecuador  
correo: [dmmoraa@utn.edu.ec](mailto:dmmoraa@utn.edu.ec)

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el análisis del comportamiento de los cabezales compuestos o módulos de carga de una máquina de ensayo, el objetivo principal se basa en obtener un modelo que cumpla con los estándares para realizar ensayos destructivos en materiales metales y no metales. Se utilizó el análisis de elementos finitos para la simulación de los diseños compuestos, mediante los resultados obtenidos de los análisis se procedió al proceso de construcción. El diseño preliminar de los cabezales se trata de un sistema compuesto por placas horizontales y transversales de acero permitiendo al modelo presentar un volumen mínimo en material, reduciendo costos de fabricación., además de ser compacto y cumplir con las características necesarias para su construcción. El diseño cuenta con una placa exterior desmontable para la inserción de las mordazas, esta placa puede ser adaptada o intercambiada, sin la necesidad de realizar algún cambio físico al cabezal que pueda presentar averías en el modelo.

*Palabras claves*— Máquina universal de ensayos, módulos de carga, diseños compuestos, ensayos destructivos, cabezales

## Universal testing machine: Static system

### ABSTRACT

In the present work was study the analysis of composite crosshead behavior or load modules of universal testing machine, the main objective is to achieve a model that comply the standards to perform destructive tests on samples of metals and non-metals. The FEA finite element method was used to simulate the composite design of each crosshead, and through the results obtained in the analysis, the construction of the load modules was carried out. The preliminary design of crosshead is a composite system for steel plates horizontals and verticals, allowing the modules to have lower volume and lower cost. In addition, the modules are compact and comply with the necessary characteristics for its construction. The design has a removable plate for the insertion of the jaws. This plate can be adapted or exchanged without making physical alteration that could cause faults to the model.

*Keywords*— Universal testing machine, load modules, composite designs, destructive essays, crossheads

### I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversos tipos de máquinas universales de ensayos las cuales presentan distintos tipos de cabezales ya sea por su capacidad, tipo de ensayo o estructura. El diseño y construcción de los cabezales de una maquina universal de ensayos ha presentado varios cambios a lo largo de sus construcciones, debido a las constantes fallas que presentan luego de realizar un número considerable de ensayos, debido al material de construcción, diseño, capacidad o mal uso. Siendo estos varios factores para la elaboración de un modelo compuesto que propiciase las características necesarias para el diseño, análisis y construcción de un modelo.

La máquina universal se encuentra constituida por diversos sistemas, de entre los cuales el desarrollo del presente se basa en el diseño, análisis y construcción del sistema estático el cual se encuentra constituido por tres cabezales o módulos de cargas denominados, cabezal inferior, cabezal central y cabezal superior.

El principal objetivo de análisis del sistema estático reside en que la mayoría de los cabezales de las maquinas universales que existen en la zona norte del país presenta averías que causan fallas y errores al momento de realizar los respectivos ensayos destructivos a los distintos materiales, por esta razón él estudió actual se basó en el desarrollo de un modelo compuesto que presente las condiciones y especificaciones técnicas necesarias que se ajusten a una máquina de ensayos con capacidad de 30tons. (UTM30)

El sistema estático se encuentre conformado por tres cabezales, inferior, central y superior. Los cuales, mediante el acople del sistema móvil logran realizar los ensayos respectivos de acuerdo con el tipo de máquina universal de ensayos. Estos parámetros de deben tomar en cuenta para el respectivo diseño de cada uno de los módulos de carga. [1]

## II. IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO

Los cabezales son herramientas o porta herramientas de una máquina, un cabezal puede estar constituido por un conjunto de elementos que integran entre sí, distintos mecanismos con funciones específicas destinadas en su conjunto a servir de apoyo firme o realizar recorridos de manera axial o angular, presentando un sin número de aplicaciones y construidos de materiales con alta resistencia mecánica. [2] El diseño de los cabezales depende de la función que este realiza.

El cabezal superior se ensambla con el cabezal inferior mediante el acople de dos ejes lisos que permiten obtener un marco de ensayo, en el cual se sitúa la carga de aplicación para las pruebas, denominando así a los cabezales superior e inferior cabezales fijos del sistema., mientras que el cabezal central se ensambla con dos manzanas roscadas, las mismas que se ajustan a dos tornillos de potencias, propiciando el movimiento necesario para trasladar al cabezal central de manera axial, por esta razón se denominó al cabezal central en cabezal móvil.

Las condiciones de borde para el análisis estático son los apoyos o restricciones y cargas externas. Las cargas se muestran de acuerdo con las características que estas presentan al momento de ser aplicadas, y a la presencia o ausencia de movimiento en los elementos del sistema.

### A. Diseño del cabezal inferior

El modelo presenta un elemento cilíndrico en la parte inferior (figura. 1), ofreciendo un acople directo al cilindro hidráulico para conseguir la transferencia de carga hacia los ejes fijos. El cabezal inferior, este muestra un diseño más robusto que le permite obtener un menor desplazamiento.

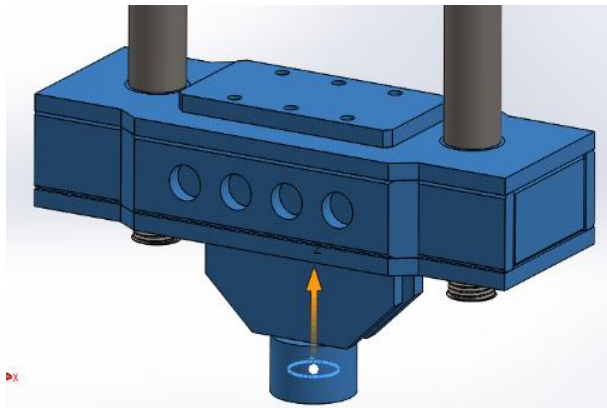


Figura. 1 Cabezal inferior

La acción de la carga se da por medio del cilindro hidráulico y el cabezal inferior, que consiste en la aplicación de una fuerza

externa creciente a través de una velocidad constante, la ejecución de este ensayo se produce en la zona inferior de la máquina, como se muestra en la figura. 2. Se aplica la carga uniformemente mediante las mordazas hasta que la probeta presente algún agrietamiento o deformación plástica en el material

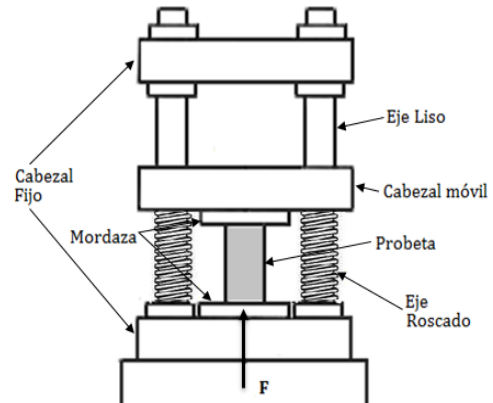


Figura. 2 Ensayo de compresión

La implementación del diseño se fundamentó en factores como la carga (30tons), el tipo de ensayo (tracción) y estructura (posición del cilindro hidráulico). Además de incluir las especificaciones técnicas que presentan las maquinas universales de ensayo de 30tons.

Este módulo de carga presenta en la parte inferior un bocín (elemento #10) de acero AISI 4130, acoplado a dos placas (elemento #9) de acero ASTM 36, debido a que debe soportar directamente la carga de 30tons. La estructura interna del cabezal inferior está compuesta por placas y bocines los cuales se encuentran adaptados de acuerdo con el modelo de una viga de sección armada, véase en la figura 3.

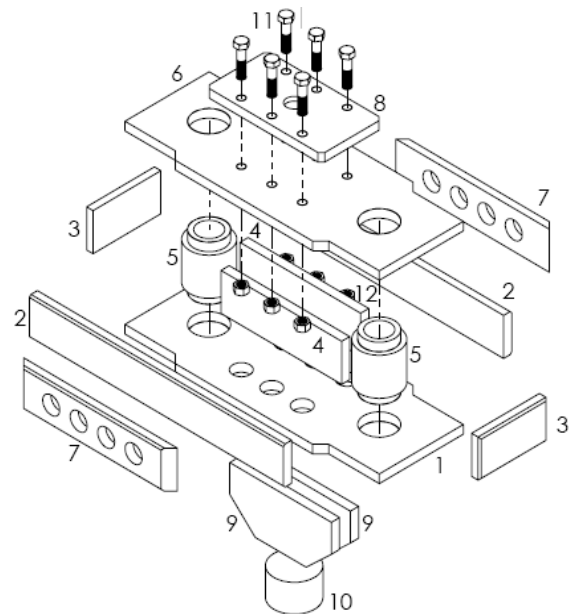


Figura. 3 Elementos del cabezal inferior

El modelo permite la adaptación del sistema estático hacia los sistemas móvil e hidráulico formando un marco comparto para la máquina de ensayos.

### Análisis estático

La carga externa principal de 30tons se transmite axialmente hacia la probeta cilíndrica durante el ensayo. Además, en el cabezal se presenta cargas muertas debido al marco que se crea luego de acoplarse los ejes lisos, al cabezal superior. Estas cargas se presentan en las cavidades circulares como se muestra en la figura 4.

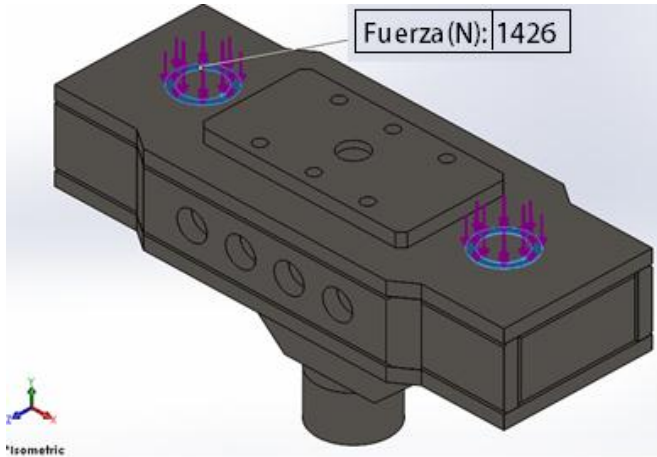


Figura. 4 Análisis estático del cabezal inferior

El cabezal inferior también realiza el ensayo de flexión en el cual la aplicación de la carga depende de las especificaciones de carga del tipo de ensayo a realizarse.

### B. Diseño del cabezal central

El diseño compuesto que presenta el cabezal central difiere de su estructura externa debido a que participa directamente en la realización de los todos los ensayos.

Su diseño presenta cavidades rectangulares en la parte frontal y posterior que permiten el acople de las placas desmontables para las mordazas. Al igual que los otros cabezales se encuentra constituida por placas de acero ASTM A36 y ejes huecos o bocines de acero AISI 4130.

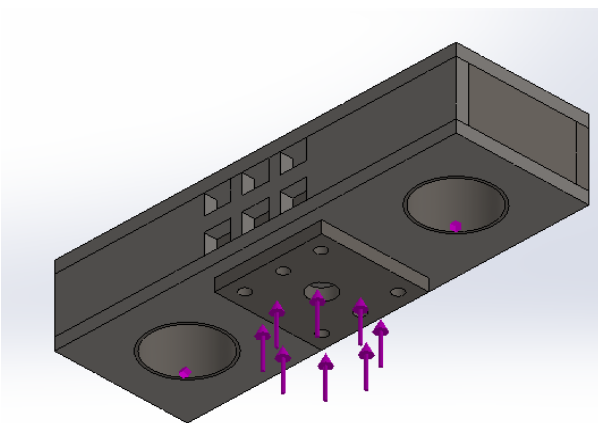


Figura. 5 Cabezal central

El diseño del módulo de carga central como se observa en la figura 5, presenta un diseño más simple con relación al cabezal superior e inferior, consta de dos cavidades circulares que le permiten acoplarse a las manzanas mediante el ajuste de estas a los bocines (elemento #3). Las manzanas se ajustan a

los tonillos de potencia para permitir el desplazamiento del cabezal de manera axial. El diseño de la figura 6 cuenta con dos placas desmontables (elemento #6, #7) ubicadas en la parte inferior y superior del cabezal, esto se debe a que este módulo de carga participa directamente en los tres tipos de ensayos, es decir, está sometido a la aplicación de cargas de compresión y tracción.

Además, presenta un diseño diferente al tradicional de los cabezales en la parte exterior, mientras que en la parte interna sigue conservando la sección compuesta.

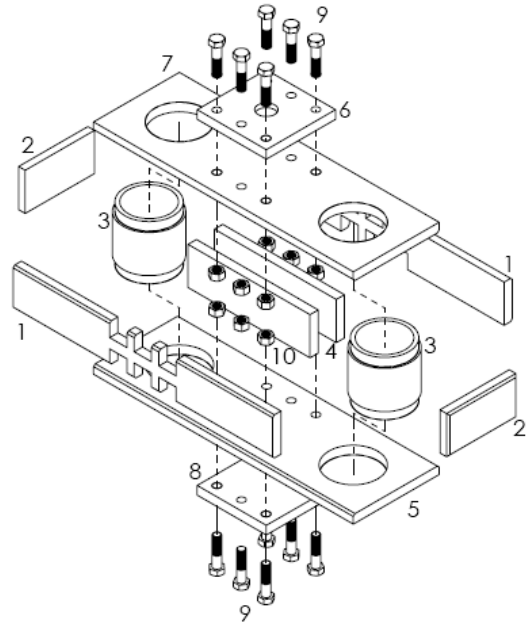


Figura. 6 Elementos del cabezal central

### C. Diseño del cabezal superior

El cabezal superior participa directamente en la ejecución del ensayo de tracción e indirectamente en los ensayos de compresión y flexión. En la figura. 7 se puede apreciar cavidades circulares en la parte superior del cabezal las cuales se implementaron para la uso de la herramienta y la ubicación de las placas porta mordazas o desmontables.

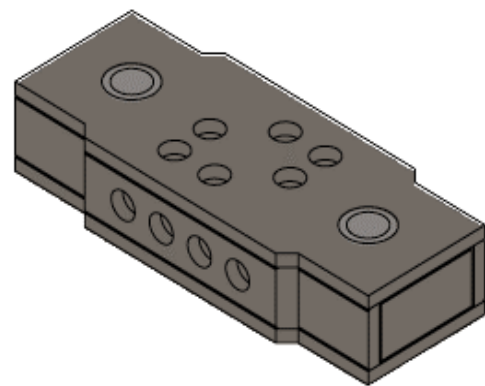


Figura. 7 Cabezal Superior

Este cabezal debe acoplarse a los ejes lisos del sistema móvil para implementar la carga al momento de realizar el ensayo de tracción que se ve en la figura 8, la carga que se transmite va

desde el cabezal inferior hacia los ejes lisos, y por ende al cabezal superior. La carga se presenta en los extremos del cabezal para la ejecución del ensayo ya que en su parte central se ubica la mordaza con el espécimen, presentando una sujeción fija.

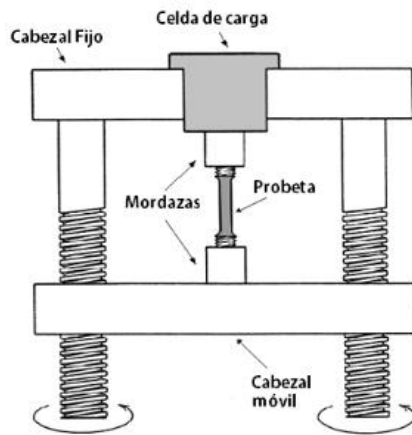


Figura. 8 Ensayo de tracción

El principal diseño del módulo de carga se basa en un diseño compuesto a partir de una sección de viga armada., este diseño presenta placas verticales, horizontales de acero ASTM A36 y bocines de acero AISI 4130, véase en la figura 9. Cada una de las piezas como se muestra en la fig. 3, se encuentran ensamblados de tal forma que presenten un modelo compacto que permita acoplarse a los demás sistemas y permita ofrecer la ejecución de las funciones necesarias al momento de realizar el ensayo.

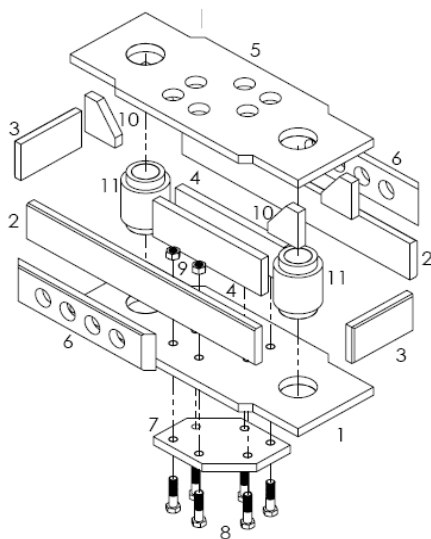


Figura. 9 Elementos del cabezal superior

### Análisis estático

De acuerdo con el análisis del cabezal se lo realiza mediante la aplicación de una carga de 30tons, esta carga externa se transmite a través de ejes lisos, (150kN) cada eje, figura 10 los cuales se ubican en las cavidades circulares del cabezal superior, con un ajuste especificado agujero (H7). La conexión desmontable que existe en el cabezal radica en la placa 8, en la

cual se insertan las mordazas para la ubicación de los especímenes., además de ubicar el soporte fijo en la parte central de la placa para efectuar las simulaciones respectivas.

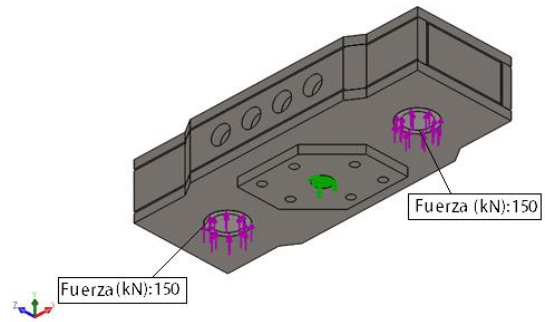


Figura. 10 Análisis estático del cabezal superior

### D. Análisis de la malla de elementos finitos

Para la validación del estudio mediante el uso de SolidWorks, se realizó las simulaciones necesarias para verificar los resultados mediante el análisis de convergencia de las mallas dadas.

### Análisis de malla del cabezal inferior

La carga de 300KN se aplica directamente al cabezal en la parte central e inferior del cabezal, en el actúan dos cargas muertas de aproximadamente 300N, las cuales se deben al peso de los ejes fijos. De acuerdo con el ensayo que realiza el cabezal el apoyo fijo se encuentra en la parte central y superior del cabezal como se muestra en el análisis de la malla en la figura 11, lo que permite que ciertas ventajas en las simulaciones.

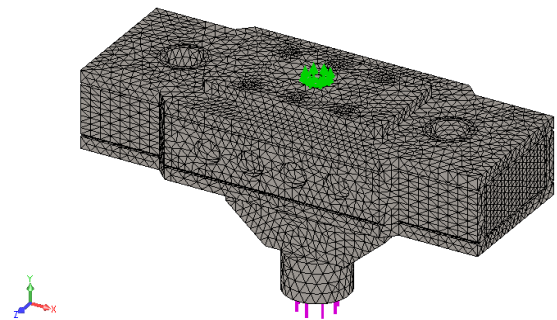


Figura. 11 Análisis de malla - cabezal inferior

Tabla 1 Análisis de convergencia del cabezal inferior

Malla	Número de elementos	Esfuerzo máximo MPa	Porcentaje de error %
1	31536	146,9	
2	34330	134,4	8,55
3	38308	133,4	0,71
4	43765	137,7	3,19
5	52093	137,6	0,03
6	60734	148,6	7,95
7	<b>69391</b>	<b>148,5</b>	<b>0,10</b>
8	81779	146,4	1,41
9	106146	151,9	3,82
10	139608	169,8	11,77

### Análisis de malla del cabezal central

El cabezal central de la figura 12, actúa como apoyo fijo o empotramiento, en la parte externa del cabezal y esta función le permite presentar menos fallas al momento de realizar los ensayos por tal motivo el diseño es más simplificado con respecto a los demás cabezales.

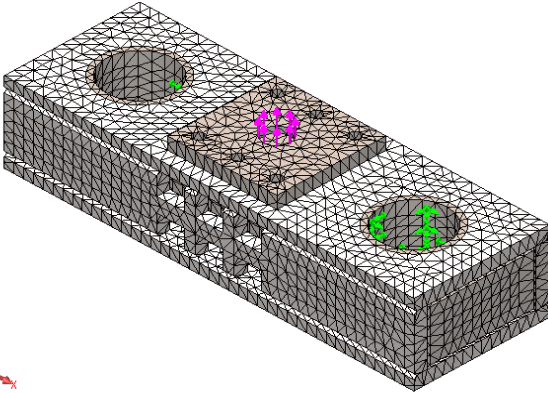


Figura. 12 Análisis de malla - cabezal central

Tabla 2 Análisis de convergencia del cabezal central

Malla	Número de elementos	Esfuerzo máximo MPa	Porcentaje de error %
1	25806	146,5	
2	28173	146,8	0,19
<b>3</b>	<b>30706</b>	<b>146,8</b>	<b>0,03</b>
4	33525	145,2	(1,10)
5	38830	149,4	2,85
6	45418	140,3	(6,04)
7	54819	140,9	0,41
8	60035	139,3	(1,16)
9	76510	139,8	0,42
10	107550	140,5	0,50

### Análisis de malla del cabezal superior

Las cargas se distribuyeron en cada bocín presentando una carga paralela a la otra de (150KN)., además de presentar empotramiento en la placa desmontable debido a las condiciones del ensayo de tracción.

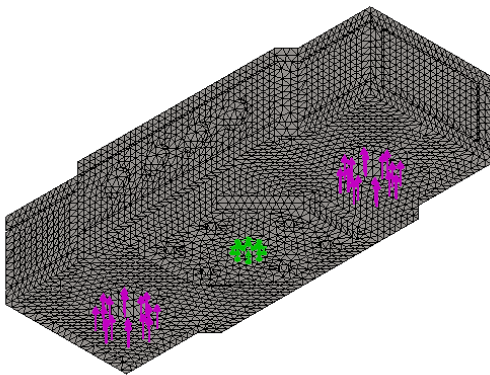


Figura. 13 Análisis de malla - cabezal superior

Tabla 3 Análisis de mallas del cabezal superior

Malla	Número de elementos	Esfuerzo máximo MPa	Porcentaje de error %
1	28990	153,5	
2	31738	155,3	1,16
3	36062	156,5	0,81
4	39431	160,8	2,73
5	47797	153,8	4,35
6	55560	195,5	27,14
7	63386	174,9	10,54
8	74324	170,1	2,82
<b>9</b>	<b>96408</b>	<b>170,9</b>	<b>0,53</b>
10	128021	193,1	12,99

## III. RESULTADOS

### Cabezal Inferior

#### Esfuerzo máximo

El resultado del esfuerzo máximo en el análisis proporcionado por la simulación es de  $148,5\text{MPa}$ , que se presenta en la placa desmontable que se encuentra en la parte superior del cabezal, véase en el lado izquierdo de la figura 14.

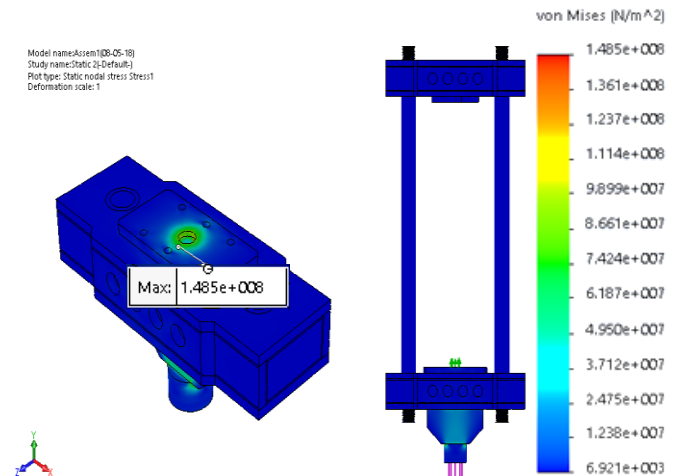


Figura. 14 Esfuerzo máximo del cabezal inferior

Además de presentar ciertos valores cercanos al esfuerzo máximo de la placa desmontable, el bocín en donde se aplica la carga directamente mantiene un rango aceptable del esfuerzo permitido por los materiales seleccionados.

#### Desplazamiento

El resultado de desplazamiento máximo que se presenta en los datos extraído en las simulaciones es de  $0.0905\text{mm}$  (figura 15), el cual se presenta en el bocín de la parte inferior del cabezal. En donde se presenta la carga directamente, sin embargo, el resultado es muy aceptable en cuanto al desplazamiento en elementos de máquinas el cual no debe ser superior a  $L/2000$  que equivale a  $0.25\text{mm}$ .

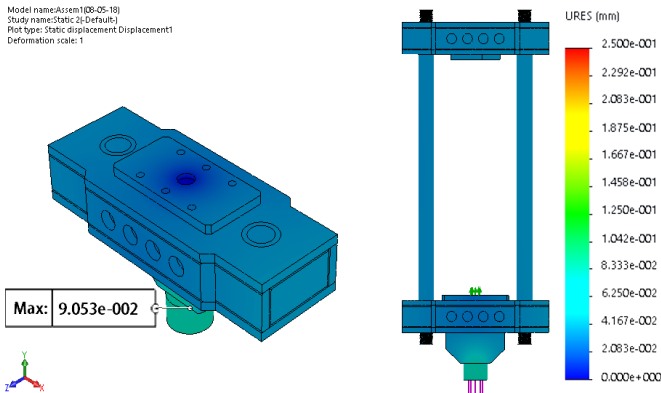


Figura. 115 Desplazamiento del cabezal inferior

### Factor de seguridad

El factor que presenta el cabezal inferior de la figura 16 es conservador en cuanto al marco del ensayo de compresión, sin embargo, existe una depreciación considerable en el punto crítico del diseño de 1.684 presentándose en la placa portadora de las mordazas.

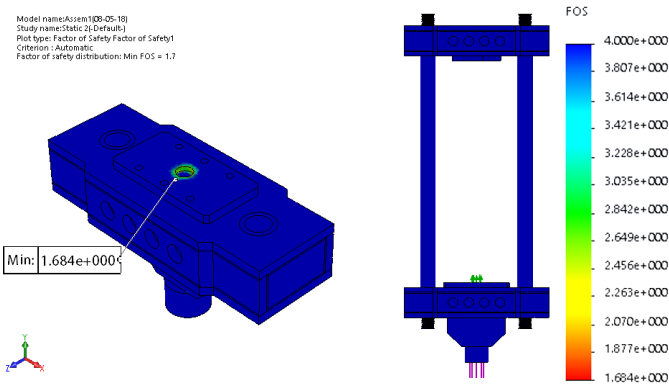


Figura. 126 Factor de seguridad del cabezal inferior

### Cabezal central

#### Esfuerzo máximo

El cabezal central presenta un esfuerzo de 146,8MPa, a pesar de presentar un modelo menos compacto el valor del esfuerzo es aceptable en cuanto al valor de esfuerzo que presentan los materiales del cada elemento del cabezal como se muestra en la figura 17.

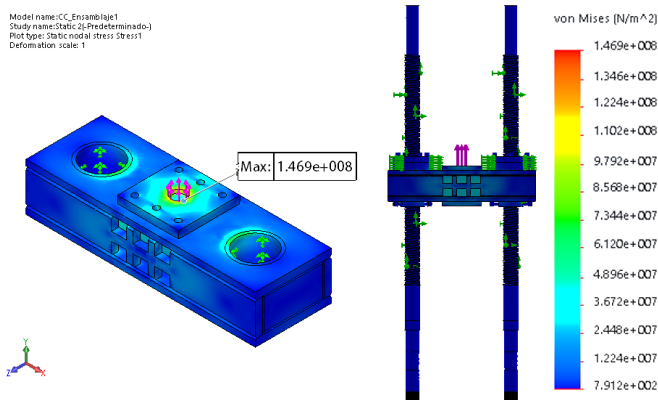


Figura. 137 Esfuerzo máximo del cabezal central

### Desplazamiento

En la figura 18 se puede observar que el estudio representa un desplazamiento mayoritario de 0.0983mm en la parte central del cabezal debido a que, en el ensayo de tracción, la fuerza axial se ejerce en la placa donde se insertan las mordazas.

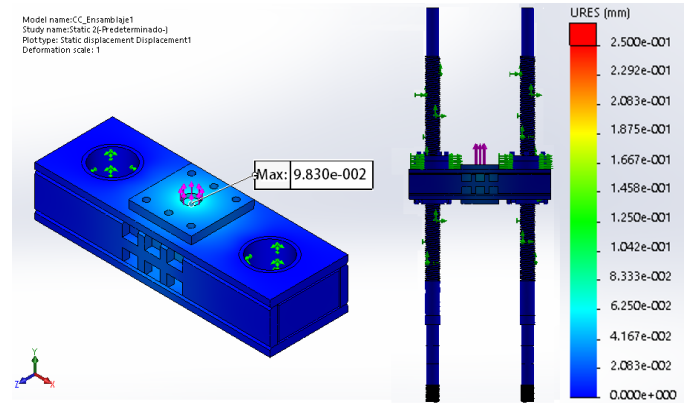


Figura. 148 Desplazamiento del cabezal central

### Factor de seguridad

El resultado del análisis presenta un factor no conservador en la placa desmontable del cabezal figura 19, debido a que presenta un esfuerzo axial en la placa desmontable donde se ubicara la mordaza para su respectivo funcionamiento, la falla se presenta exclusivamente en la parte superior de la cavidad circular.

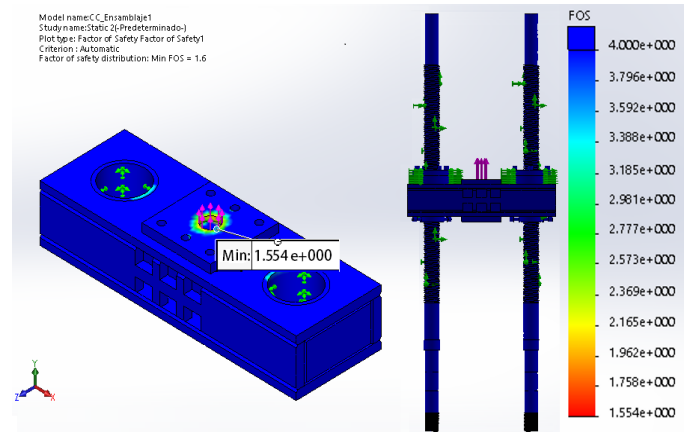


Figura. 159 Factor de seguridad del cabezal central

Sin embargo, el resto de los elementos ensamblados del cabezal muestra un factor de seguridad aceptable.

### Cabezal Superior

#### Esfuerzo máximo

En la simulación del cabezal superior se presenta un esfuerzo máximo de 170,9 MPa en la placa 8 de la figura 20 (derecha), siendo esta la placa desmontable donde se insertan las mordazas. Permitiendo que la estructura del cabezal presente un modelo más compacto que cumpla con las especificaciones dadas.

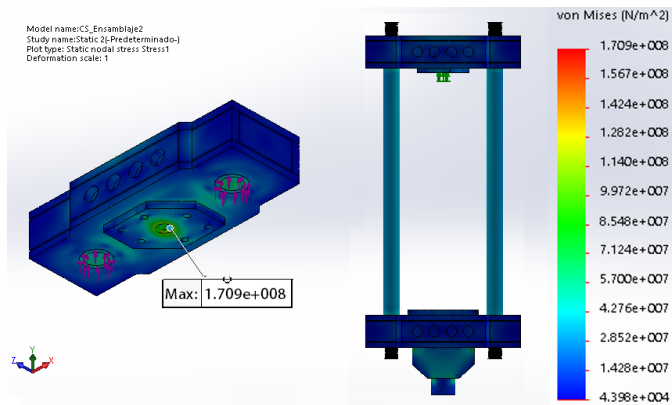


Figura. 16 Esfuerzo máximo del cabezal superior

#### Desplazamiento

Este análisis permite observar que las condiciones del diseño de los cabezales proporcionen una menor deflexión, como se muestra en la figura. 21, mediante las simulaciones realizadas a los cabezales de manera individual y en conjunto.

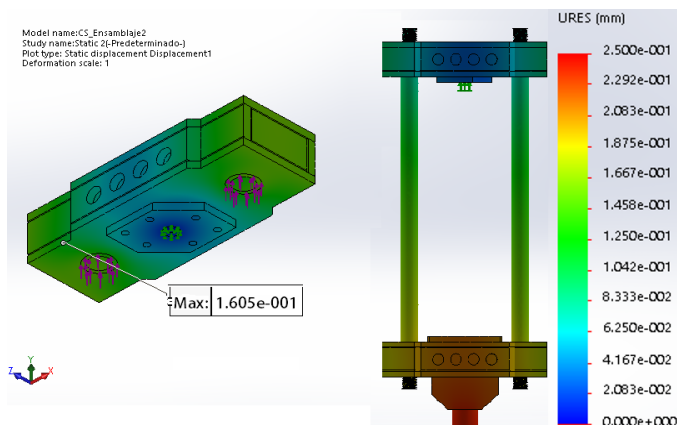


Figura. 171 Desplazamiento del cabezal superior

#### Factor de seguridad

debido al tipo de cargas y material seleccionado que se presentan en la máquina de ensayos que son cargas de golpe suaves, una sola dirección y acero, pese a representar cargas con velocidades relativamente bajas existe la necesidad de tomar este factor de seguridad,

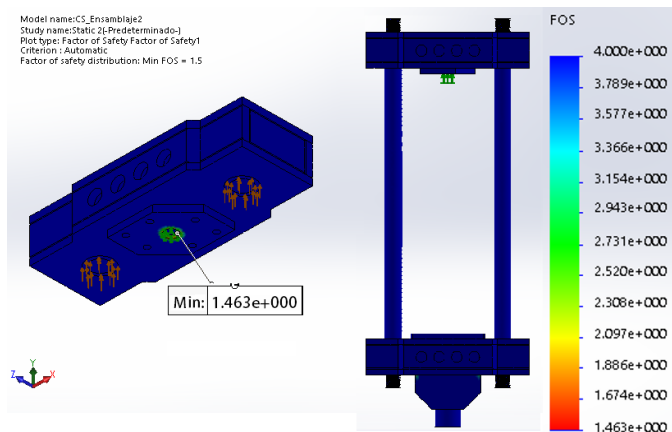


Figura. 18 Factor de seguridad del cabezal superior

## IV. CONCLUSIONES

En los resultados obtenidos se puede observar que los cabezales se ajustan a las especificaciones técnicas de una máquina universal de tipo Instron serie 23-300.

Debido a que los tres cabezales muestran diseños compuesto el uso de una herramienta de simulación y análisis de convergencia de elementos finitos es indispensable en el desarrollo de este tipo de sistemas complejos, permitiendo así, evidenciar de manera prematura el comportamiento real del modelo.

El diseño de los cabezales compuestos o módulos de carga se realizó con el análisis de elementos finitos, que cumple con la capacidad de 30Tons y el porcentaje inferior al rango de L/2000 que equivale a 0.25mm en el que deben trabajar las máquinas herramientas con respecto al desplazamiento.

Mediante el análisis y comparación experimental los cabezales se acoplaron mediante los ajustes necesarios para cumplir con el sistema de adaptación y obtener el ensamble final de una máquina de ensayos universal.

El modelo del diseño del cabezal compuesto con respecto a los modelos básicos de hierro fundido presenta varias ventajas tanto para la construcción como para el costo y peso de material.

## V. REFERENCIAS

- [1] INSTRON EMIC, "Modelos y Especificaciones," *Series 23 EMIC*, p. 10, 2015.
- [2] E. J. Rosales, "monografias.com," 2006. [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos36/investigacion-tornos/investigacion-tornos2.shtml>.
- [3] J. Hemmerlin, "CROSSHEAD DESING FOR UNIVERSAL TESTING MACHINE". Patent 7 540 201 B1, 9 Nov 2007.
- [4] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN., "NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (2008). JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE FRUTAS Y VEGETALES. REQUISITOS," [Online]. Available: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2337.2008.pdf>.
- [5] ASTM-C39, "Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.," 2009.
- [6] ASTM-E190, "Método de Ensayo Normalizado de dobléz para determinar la ductilidad de probetas metálicas.," 1997.
- [7] ASTM-E8/E8M-16a, "Método de ensayo normalizado para pruebas de tensión de materiales metálicos.," *ASTM Internacional*, 2015.
- [8] F. F. ESPINOZA, "ENSAYOS MECÁNICOS EN

METALES," MONTERREY, 1982.

- [9] R. C. Hibbeler, Mecánica de Materiales, 8va ed., México: Pearson Educación, 2011, p. 15.
- [10] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, México: Pearson Education, 2011.
- [11] R. L. Mott, Resistencia de Materiales, Mexico: PEARSON EDUCATION, 2009.
- [12] J. C. McCormac and S. F. Csernak, Diseño de Estructuras de Acero, México: Alfaomega Grupo Editor S.A., 2012.
- [13] F.R- Shanley, Mecánica de los Materiales.