



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
EN INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS:
SISTEMA ESTÁTICO**

AUTOR/A: DIANA MISHEL MORA AYALA

DIRECTOR: MSc. CHRISTIAN RENÁN VÁSQUEZ FALCONY

IBARRA-ECUADOR

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	100348632-9		
APELLIDOS Y NOMBRES	MORA AYALA DIANA MISHEL		
DIRECCIÓN	CARANQUI-BARRIO GUAYAQUIL DE PIEDRAS		
EMAIL	dmmoraa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO		TELÉFONO MÓVIL	0995849034
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS: SISTEMA ESTÁTICO		
AUTOR	DIANA MISHEL MORA AYALA		
FECHA			
PROGRAMA	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA		
DIRECTOR	MSc. CHRISTIAN VÁSQUEZ		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor (a) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra a los 29 días del mes de abril de 2019.



Diana Mishel Mora Ayala

100348632-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo ING. CHRISTIAN RENÁN VÁSQUEZ FALCONY MSc, Director de Trabajo de Grado desarrollado por la señorita estudiante MORA AYALA DIANA MISHEL

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Trabajo de grado titulado “**MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS: SISTEMA ESTÁTICO**”, ha sido elaborado en su totalidad por la señorita estudiante Mora Ayala Diana Mishel, bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniera en Mecatrónica. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, autoriza su prestación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

Ibarra, 29 de abril 2019

Ing. Christian Renán Vásquez Falcony MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a quienes supieron compartir sus conocimientos y experiencia durante la realización del proyecto y a lo largo de toda la carrera.

A mi Dios por ser mí aliado en cada paso de mi vida y por haberme concedido la oportunidad de obtener este logro.

A mi familia por haber mantenido siempre su apoyo, comprensión, dedicación y paciencia en todo el transcurso de la carrera, permitiendo que logre cumplir con una meta más en mi vida.

Al Ingeniero Christian Vásquez por su completa colaboración en el desarrollo del proyecto y por la enseñanza que nos brindó como director, docente y amigo.

Al personal académico y administrativa de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica que mediante su compromiso y labor nos han brindado a los estudiantes la oportunidad de continuar y seguir hacia adelante con nuestros objetivos.

A todos los amigos y compañeros que mediante su apoyo y tiempo son y fueron parte de este logro.

DM Mora
Ayala

DEDICATORIA

A DIOS

y

A MI MADRE

A quien mediante todo su esfuerzo me dio la oportunidad de crecer, al brindarme el legado más importante, el estudio, y a quien le atribuyo todo lo que soy, gracias a su amor, esfuerzo y valor.

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 ANTECEDENTES	18
1.1.1 Actualidad.....	19
1.1.2 Estudio de los cabezales en máquinas universales de ensayo existentes .	20
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos	21
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1 Importancia de los materiales	22
2.2 Propiedades mecánicas	22
2.3 Ensayos destructivos.....	22
2.3.1 Ensayo de tracción.....	22
2.3.2 Ensayo de compresión	26
2.3.3 Ensayo de flexión	28
2.4 Maquina universal de ensayos	32
2.5 Sistema mecánico (Estático).....	32
2.6 Sistema estático.....	33
2.7 Cabezales o módulos de carga	34
2.8 Condiciones de operación del sistema	37

2.9	Análisis de elementos finitos	37
2.10	Normas	39
2.10.1	Normativas generales de inspección	39
2.10.2	Normas para ensayos	40
2.10.3	Normas de tolerancias, ajustes y desviación (ISO 286-1, 286-2).....	47
CAPÍTULO III		52
METODOLOGÍA.....		52
3.1	Implementación del diseño	52
3.2	Consideraciones para el diseño de los cabezales	53
3.2.1	Tipos de cargas para los diferentes tipos de ensayos.....	54
3.2.2	Clase de carga (CLASE 1).....	55
3.2.3	Deformación máxima	56
3.3	Selección del diseño.....	57
3.3.1	Diseño del sistema estático.....	57
3.3.2	Diseño de cabezales.....	59
3.3.3	Selección del material.....	65
3.4	Análisis del modelo del cabezal como una placa uniforme.....	66
3.4.1	Estudio del diseño uniforme	67
3.5	Parámetros de simulación	71
3.5.1	Cabezal superior	71
3.5.2	Cabezal central	73
3.5.3	Cabezal inferior	75
3.6	Simulación del sistema estático como conjunto - Ensayo de tracción	77
3.6.1	Cabezal superior	77
3.6.2	Cabezal central	80

3.7	Simulación del sistema estático como conjunto - Ensayo de compresión.....	83
3.7.1	Cabezal inferior	83
3.7.2	Cabezal central	85
CAPÍTULO IV		88
RESULTADOS Y CONSTRUCCIÓN		88
4.1	Resultados.....	88
4.1.1	Resultados - cabezal superior	89
4.1.2	Resultados parte 1 - cabezal central	90
4.1.3	Resultados parte 2 - cabezal central	90
4.1.4	Resultados - cabezal inferior	91
4.2	Construcción	92
4.2.1	Procesos de manufactura	93
4.2.2	Ensamble de la estructura	100
CAPÍTULO V		101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		101
5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones	102
BIBLIOGRAFÍA		103
ANEXOS.....		106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Técnicas de una máquina universal de ensayos Instron	34
Tabla 2. Tipos de cabezales de una máquina de ensayos destructivos.....	35
Tabla 3. Dimensiones para probetas metálicas según ASTM E8-/E8M-16a	41
Tabla 4. Dimensiones para probetas metálicas con agujero según ASTM E8-E8M.....	42
Tabla 5. Dimensiones para cinco tipos de probetas cilíndricas metálicas según ASTM E8.....	43
Tabla 6. Dimensiones de probetas cilíndricas de concreto según ASTM C39.....	44
Tabla 7. Requerimientos de velocidades para ensayos de compresión	44
Tabla 8. Dimensiones de probetas soldadas según ASTM E-190.....	46
Tabla 9. Parámetros del cilindro hidráulico.....	54
Tabla 10. Clases de carga	55
Tabla 11. Especificaciones técnicas de una UTM 30.....	56
Tabla 12. Máquina universal de ensayos UTM 30.....	57
Tabla 13. Propiedades del Acero A36	66
Tabla 14. Propiedades del Acero AISI 4140	66
Tabla 15. Resultados de comparación del esfuerzo máximo.....	70
Tabla 16. Análisis de convergencia del cabezal superior	73
Tabla 17. Análisis de convergencia del cabezal central - Tracción.....	74
Tabla 18. Análisis de convergencia del cabezal central - Compresión	75
Tabla 19. Análisis de convergencia del cabezal inferior	76
Tabla 20. Valores recomendados para oxicorte.....	93
Tabla 21. Velocidades de corte y avance en el cepillado	94
Tabla 22. Valores recomendados para el proceso de acabado y desgaste.....	95
Tabla 23. Herramienta de corte para proceso de cilindrado	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Máquina de ensayos de tensión con presión mediante líquidos.....	18
Figura 2. Ensayo de tracción	23
Figura 3. Diagrama de fluencia del ACERO.....	24
Figura 4. Ensayo de compresión.....	26
Figura 5. Diagrama Esfuerzo-Deformación Compresión.....	27
Figura 6. Ensayo de flexión a tres puntos.....	29
Figura 7. Ensayo de flexión (a) Esquema de carga en tres puntos, (b) Esquema de carga en cuatro puntos.....	30
Figura 8. Diagrama esfuerzo-desplazamiento (Flexión)	31
Figura 9. Máquina universal de ensayos servo hidráulicas (a) Serie IBTM4, (b) Serie IBMU4.....	33
Figura 10. Análisis de tensión	38
Figura 11. Mallado o análisis nodal.....	39
Figura 12. Especímenes rectangulares estándar para muestras en materiales metálicos	40
Figura 13. Especímenes rectangulares con agujeros para muestras en materiales metálicos.....	42
Figura 14. Especímenes cilíndricos estándar según ASTM E8.....	42
Figura 15. Especímenes de dimensiones $h=2D$	44
Figura 16. Especímenes placas soldadas de lado según ASTM E190.....	45
Figura 17. Especímenes placas soldadas de lado según ASTM 4.....	46
Figura 18. Especímenes placas soldadas de lado según ASTM E190.....	47
Figura 19. Ilustración de definiciones según ISO.....	48
Figura 20. Tipos de ajuste de agujero base.....	49
Figura 21. Desviaciones de agujeros (elementos internos) Fuente: (International Standar ISO 286-2, 1988)	49
Figura 22. Notación de tolerancias	50
Figura 23. Fases del proceso del diseño	52
Figura 24. Cilindro Hidráulico Yg-50200s.....	54
Figura 25. Representación esquemática de los ensayos destructivos.....	55
Figura 26. Sistemas de una máquina universal de ensayos	59
Figura 27. Diseño cabezal superior	60

Figura 28. Diseño cabezal central.....	62
Figura 29. Diseño cabezal inferior	64
Figura 30. Diagrama de cuerpo libre	67
Figura 31. Análisis de comparación del esfuerzo máximo de una viga compuesta	71
Figura 32. Cargas externas - Cabezal superior	72
Figura 33. Análisis de malladado cabezal superior	72
Figura 34. Cargas externas - Cabezal central	74
Figura 35. Análisis de malladado cabezal central	75
Figura 36. Cargas externas – Cabezal Inferior	76
Figura 37. Análisis de malladado cabezal inferior	77
Figura 38. Esfuerzo máximo en el ensayo de tracción - Cabezal superior.....	78
Figura 39. Desplazamiento en el ensayo de tracción - Cabezal superior	79
Figura 40. Factor de seguridad en el ensayo de tracción - Cabezal superior	80
Figura 41. Esfuerzo máximo en el ensayo de tracción - Cabezal central.....	81
Figura 42. Desplazamiento en el ensayo de tracción - Cabezal central	82
Figura 43. Factor de seguridad en el ensayo de tracción - Cabezal central.....	83
Figura 44. Esfuerzo máximo en el ensayo de compresión - Cabezal inferior.....	83
Figura 45. Desplazamiento en el ensayo de compresión - Cabezal inferior.....	84
Figura 46. Factor de seguridad en el ensayo de compresión - Cabezal inferior.....	85
Figura 47. Esfuerzo máximo en el ensayo de compresión - Cabezal central	86
Figura 48. Desplazamiento en el ensayo de compresión - Cabezal central.....	87
Figura 49. Factor de seguridad en el ensayo de compresión - Cabezal central.....	87
Figura 50. Diagrama de flujo del proceso de construcción	92
Figura 51. Pantógrafo óptico industrial - SILHOUETTE 500	93
Figura 52. Cepillo limador Sacia para metales.....	94
Figura 53. Fresadora.....	95
Figura 54. Torno	96
Figura 55. Acabado de las piezas del cabezal inferior	96
Figura 56. Soldadura de cordón.....	97
Figura 57. Proceso de soldadura - Cabezal Central.....	97
Figura 58. Proceso de soldadura - Cabezal Central.....	98
Figura 59. Montaje del cabezal superior	99
Figura 60. Ensamble de la máquina universal de ensayos	100

ABREVIATURAS

UTM 30	Maquina Universal De Ensayos De 30 Toneladas
FEM	Finite Element Analysis
FEA	Finite Element Analysis
NTC	Norma Técnica Colombiana
ISO	International Organization for Standardization
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
PT	Tintas penetrantes

SIMBOLOGÍA

E	Módulo de elasticidad	MPa
σ	Esfuerzo o tensión	MPa
ε	Deformación unitaria	mm/mm
L	Longitud	m
A	Área	m^2
E_{flex}	Módulo de flexión	kg/cm^2
F, P	Fuerza, Carga	kN
w	Ancho	mm
h	Espesor	mm
δ	Deflexión	mm
σ_{flex}	Módulo de ruptura	kg/cm^2
σ_1	Esfuerzo principal	MPa
σ_d	Esfuerzo de diseño	MPa
N, Fs	Factor de seguridad	
S_y	Resistencia a la fluencia	MPa
S_u	Resistencia ultima	MPa
R	Reacciones	N
V	Esfuerzos cortantes	MPa
M	Momento flector	N/m
I	Momento de inercia	m^4
c	Distancia del eje centroide a las fibras externas	m
Y	Flecha máxima de flexión	mm

RESUMEN

El presente documento describe el trabajo que se realizó para obtener el sistema estático de una maquina universal de ensayos destructivos, para pruebas de compresión, flexión y tracción. En el cual es necesario enfatizar el estudio de la mecánica de los materiales, basándose en la importancia que representa poseer una herramienta, que permita conocer las propiedades mecánicas de ciertos materiales para el crecimiento de varias áreas académicas en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

El objetivo principal del desarrollo del trabajo es conseguir un diseño óptimo del sistema estático. El cual consiste en tres módulos de carga que se realizaron mediante diseños compuestos, reduciendo los costos de fabricación. El estudio se efectúa mediante el análisis de elementos finitos, para cumplir con las especificaciones y normas dadas de una UTM30 (Universal Testing Machine con una capacidad de 30 toneladas), logrando así un resultado satisfactorio.

Los módulos de carga alcanzan una capacidad de 30 toneladas, diseñados con un factor de seguridad de 3, que deberán acoplarse a los sistemas dinámico e hidráulico. Su función principal consiste en transferir y soportar la carga del cilindro hidráulico mientras se realizan las diferentes pruebas de aplicación de carga a las probetas, en la ejecución de los ensayos destructivos. Para concretar con el trabajo de investigación realizado se procede con la fase de construcción de los cabezales o módulos de carga, mediante el uso de planos con especificaciones técnicas que permitan el ensamblaje y acople correcto hacia los diferentes sistemas empleando tolerancias adecuadas en cada ajuste, acabados y alineaciones para su montaje final.

PALABRAS CLAVES

Maquina universal de ensayos, módulos de carga, diseños compuestos, ensayos destructivos

ABSTRACT

The present research will show the work realized to get the static system of the Universal Testing Machine of destructive essays to compression, flexion and traction. Is necessary emphasize the study of the mechanic of materials and the importance that represents the use of a tool machine that allows to know the mechanic properties of some materials for performance of different academic areas for the engineering career in Mechatronics.

The main objective of the development of this study is achieve an optimal design to static system. It consists of three load modules, which were made through composite designs to reduce manufacturing costs. The analysis was carried out using the finite element method FEA, to accomplish the specifications and standards of a UTM30 (Universal testing machine with a capacity of 30 tons), thus achieving a satisfactory result.

The load modules reach a capacity of 30 tons, designed with a conservative safety factor that will coupled to the dynamic and hydraulic system. Its main function is to transfer and support the hydraulic cylinder load, while the tests of load application for test samples are executed in the implementation of the destructive essays. To finish with the research work we proceed with the construction process of the crossheads or load modules, through of use the plans with technical specifications that allow the assembly and correct coupling toward the different systems; employing suited tolerances in each adjustment, finishing and alignments for ending mounting.

KEYS WORDS

Universal testing machine, load modules, composite designs, destructive essays

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación se detalla en cuatro capítulos que se encuentran constituidos consecuentemente a como se desarrolló el trabajo.

El segundo capítulo consiste en la descripción del marco teórico del diseño en ingeniería, la importancia que ha presentado el estudio de los distintos materiales y las propiedades mecánicas que destacan unos de otros, además presenta la parte que corresponde al sistema estático y las normas aplicadas a las distintas pruebas de una máquina de ensayos destructivos.

El tercer capítulo describe la metodología para el desarrollo del diseño y los factores principales que influyen para la obtención de un modelo capaz de soportar las condiciones de operación de la máquina y proporcionar el diseño final, además presenta las características de los denominados cabezales compuestos o módulos de carga. Así como la simulación por medio de elementos finitos de los cabezales ante las cargas que se presentan en cada tipo de ensayo.

El cuarto capítulo detalla los resultados del análisis de la simulación por elementos finitos y el proceso de construcción de los módulos de carga compuestos y elementos adicionales del sistema estático.

El quinto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones que muestran el desarrollo de los distintos procesos de análisis y evaluación del trabajo de investigación realizado.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En la ingeniería se denomina máquina universal de ensayos a un dispositivo que permita realizar más de dos ensayos y mediante las pruebas se pueda obtener las propiedades de los materiales a ensayarse.

El estudio de los materiales consiste en obtener y proporcionar las características mecánicas de un material simple o compuesto, con el objetivo de mejorar la calidad de estos. Debido al constante crecimiento que se presentó con la revolución industrial, el proceso de refinamiento causó la necesidad de obtener un instrumento o herramienta que proporcione de manera exacta las características de los elementos.

Industrialmente el desarrollo de los procesos de metalurgia de los distintos materiales exigía la revisión y validación de las propiedades mecánicas, ya sea para el caso de materiales primos o compuestos. Por esta razón la introducción de una máquina de ensayos fue un gran éxito, a pesar de que sus modelos eran poco convencionales, como se muestra en la *figura 1*.

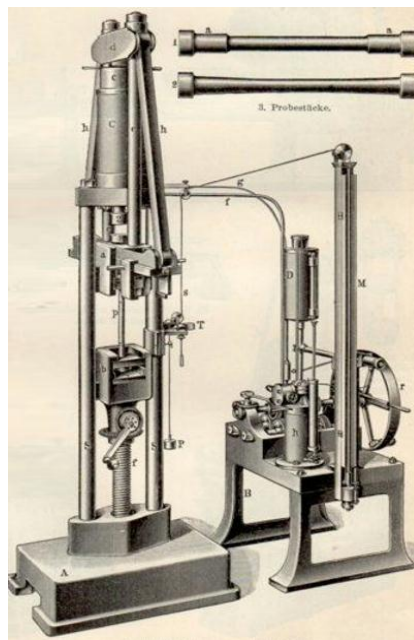


Figura 1. Máquina de ensayos de tensión con presión mediante líquidos

Fuente: (Kalpakjian, 2002)

El desarrollo de las máquinas para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales se inició en el siglo XVII, con el objetivo de verificar la resistencia que presentaban los materiales ante la presencia de diferentes cargas externas.

La primera máquina de ensayos se introdujo en el año de 1852 (Ludwig Werner, Ingeniero mecánico alemán) desarrolló una máquina para probar la resistencia del hierro destinado para la construcción de puentes ferroviarios. Su equipo de 100 toneladas, empleado para verificar las vigas o correas de acero a tensión, demostró ser muy preciso y adecuado para probar grandes elementos estructurales. (Gonzales Pacheco, 2013).

1.1.1 Actualidad

Hoy en día se puede encontrar un sin número de máquinas o elementos que se han diseñado para la ejecución de los diferentes ensayos con el fin de obtener las propiedades mecánicas de los materiales; además, de la importancia que representa poseer una máquina de ensayo universal, la misma que se usa para el desarrollo de trabajos e investigaciones.

Existen empresas que fabrican este tipo de máquinas de ensayos en los países más desarrollados, como Tinus Olsen, Instron, Ibertest entre otras, que han fabricado varios modelos de acuerdo con su tipo de estructura, tipos de pruebas o capacidad. Su principal función es la ejecución de ensayos destructivos en especímenes metales y no metales, el uso de este tipo de herramienta ha aumentado la calidad de los materiales en la industria y el comercio, debido a su empleo constante en las construcciones civiles y la industria de la metalurgia.

Las Máquinas Universales de Ensayos se han implementado en la mayoría de las universidades a nivel mundial, proporcionando a los estudiantes la posibilidad de realizar los ensayos necesarios. Este tipo de herramienta se presenta en el medio de acuerdo con sus características, el tipo de ensayos y capacidad, siendo de uso universal. La participación de una máquina de ensayo es esencial debido a la obtención de nuevos materiales que presenten mejoras en las propiedades físicas, sin la necesidad de presentar un volumen excesivo en material y proporcionar las características necesarias tanto mecánicas como físicas.

1.1.2 Estudio de los cabezales en máquinas universales de ensayo existentes

Al realizar la inspección del sistema estático de las máquinas universales de ensayos de otras instituciones, la mayoría de los factores que causa error en las pruebas o fallo en la funcionalidad del sistema se presenta en la parte de la estructura, ajuste de mordazas y software.

La estructura de la primera máquina está conformada de hierro fundido y proceso de endurecimiento, por esta razón al momento de realizar los ensayos, el ajuste de las mordazas debía exigir un apriete externo, ya que el área principal presentaba grietas o desgaste en los cabezales debido al constante uso. Mientras que la segunda máquina que presentaban fallos en el cabezal central, ya que al momento de desplazarse para la ejecución del ensayo mostraba un retraso debido al desgaste que existía entre las roscas de las manzanas y los tornillos de potencia.

Razón por la cual se optó por cambiar el diseño y el material para evitar el desgaste, y en caso de presentar algún error o falla en los elementos de la estructura puedan ser reemplazados y evitar altos costos de reparación en la máquina.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad para la Universidad Técnica del Norte es necesario adquirir una herramienta de trabajo que aporte y fortalezca los conocimientos en el área de la mecánica de materiales para los distintos proyectos de investigación. En la Facultad de Ciencias Aplicadas se han propuesto diversas pruebas de ensayo de materiales para trabajos de tesis o investigaciones, las cuales se han ejecutado fuera de la institución generando altos costos a las actividades elaboradas.

Para propiciar una solución a las necesidades que se han presentado se ha propuesto el diseño y construcción de una máquina universal de ensayos que se ajuste a los parámetros de una UTM 30, la cual requiere de un sistema estático que permitirá obtener el espacio y la transferencia de carga necesaria para el proceso de los ensayos destructivos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir el sistema estático de la estructura de la máquina universal de ensayos de tracción y compresión.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diseño que permita cumplir con las normas y las especificaciones necesarias.
- Seleccionar el tipo de material de acuerdo con los requerimientos.
- Simulación de cargas al sistema estático para pruebas de ensayos de tracción, flexión y compresión en materiales metálicos y no metálicos.
- Construir del sistema estático acorde a las normas establecidas.
- Analizar la funcionalidad de la estructura.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los ensayos realizados diariamente para pruebas, estudios e investigaciones han aumentado debido al desarrollo académico y la necesidad de evidenciar la calidad del trabajo realizado. A causa del alto costo y la desventaja del sobrepeso al adquirir una herramienta de trabajo, la Universidad no cuenta con una máquina universal de ensayos.

De acuerdo con los estudios realizados es necesario obtener una máquina de ensayos para implementar en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ciencias Aplicadas como una herramienta de trabajo, que cuente con los requerimientos para realizar las pruebas de tracción, flexión y compresión aplicando la normativa vigente.

El trabajo de la presente investigación propone el diseño y construcción del sistema estático, que posteriormente al proceso de construcción se ensamblara con los diferentes sistemas para obtener una maquina universal de ensayos de flexión, tracción y compresión para materiales metales y no metales con una capacidad de 30 toneladas,

basados en las especificaciones UTM 30 y normas aplicadas a los ensayos de materiales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia de los materiales

El estudio de las propiedades de los materiales se orienta hacia la estructuración interna y las características que estos muestran al presentarse en un estado primo o al ser expuesto ante diferentes esfuerzos o cargas externas, en las cuales se consigue observar los cambios que pueden manifestarse, por ende es necesario el análisis mediante los ensayos de los probetas de metal y no metal, especialmente aquellas que se usan para cumplir alguna función, reconociendo si el proceso de mejoramiento de las propiedades físicas o mecánicas de ciertos elementos cumple con las especificaciones necesarias que debe presentar el material.

2.2 Propiedades mecánicas

Se presentan por medio de los diferentes ensayos realizados a los materiales, el desarrollo de los ensayos de tensión y compresión permiten establecer varias propiedades mecánicas importantes de un material; además, el resultado de estas pruebas puede determinar el comportamiento de los distintos materiales cuando se sujetan a cargas o esfuerzos externos, permitiendo al diseñador acogerse a un tipo de selección de material más preciso. (Hibbeler, 2011)

2.3 Ensayos destructivos

Ensayos que proporcionan las propiedades mecánicas de los materiales, estos pueden ser ensayos estáticos como de dureza, tracción, compresión, cizalladura, flexión, pandeo y dinámicos como resistencia al choque, desgaste, fatiga.

2.3.1 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es el más común y el completo al que se someten ciertos materiales para obtener sus propiedades, esta prueba se realiza aplicando cargas

uniaxiales crecientes a velocidades completamente bajas y constantes, provocando deformaciones transversales y longitudinales a las probetas.

En la *figura 2* se puede observar que el ensayo se ejecuta mediante el posicionamiento de los elementos, el primer paso lo realiza el cabezal central móvil desplazándose verticalmente hasta alinear y colocar la probeta en las mordazas del cabezal fijo superior. Mediante la acción del cilindro hidráulico se emplea una carga constante axial, la cual se transmite hacia los cabezales fijos y ejes lisos. Esta fuerza se calcula mediante la celda de carga que se encuentra en la parte superior del área de ensayo, a medida que la carga aumenta gradualmente el espécimen va sufriendo cambios longitudinales y transversales hasta llegar a la rotura, estos cambios se van representando en el diagrama de esfuerzo-deformación de la *figura 3*.

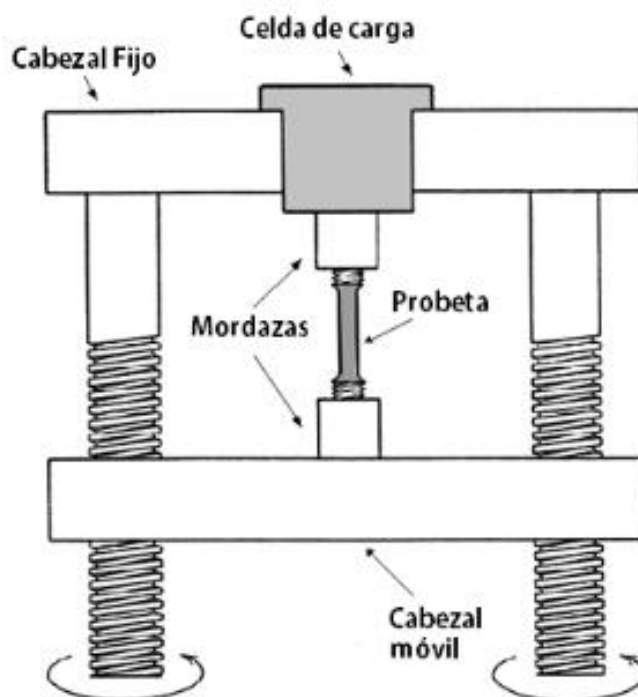


Figura 2. Ensayo de tracción

Fuente: (Luque, 2017)

Su desarrollo permite extraer las diferentes propiedades mecánicas de un material como la resistencia del material, que puede presentarse ante la acción de una carga o fuerza. Para este tipo de ensayos existen varias normas en las que se detallan las medidas,

formas y condiciones de las probetas y la máquina, además de presentar ciertas condiciones ambientales para efectuar el ensayo.

El siguiente diagrama de esfuerzo - deformación muestra cada una de las etapas que presenta el material, al exponerse a una carga gradual permitiendo observar los valores en donde se exhiben las propiedades mecánicas.

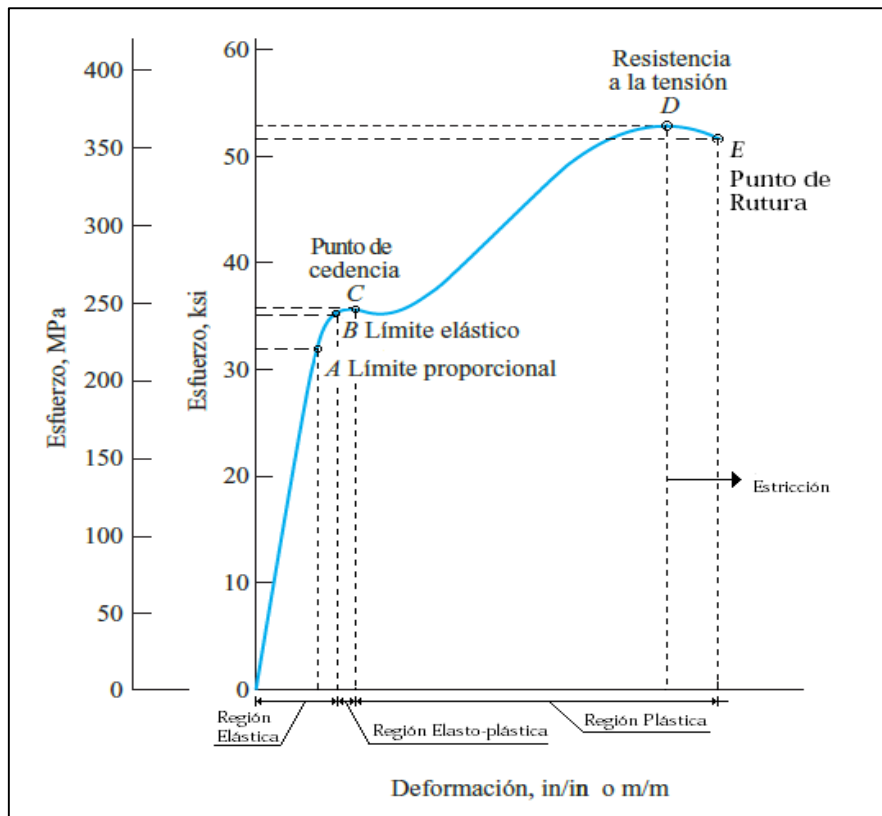


Figura 3. Diagrama de fluencia del ACERO

Fuente: (Mott, 2009)

2.3.1.1 Propiedades mecánicas que se presentan el diagrama de Esfuerzo-Deformación

Módulo de elasticidad

Primer proceso por el cual mediante la aplicación de la carga el material se deforma elásticamente en un porcentaje mínimo, para que al desprenderse de la carga aplicada el material retorne a su estado original.

$$E = \frac{\sigma \text{ (tensión)}}{\varepsilon \text{ (deformación)}} \quad (1)$$

Limite elástico

Etapa que se presenta luego de la pendiente del módulo de elasticidad donde se puede observar al material en su estado elástico y plástico. Esta característica es importante para la selección del diseño debido a que si un material presenta un límite de elasticidad muy alto el material difícilmente se deformara elásticamente.

Punto de cedencia

Es el punto entre el cambio de estado elástico a plástico, y presenta una rápida deformación si una aplicación de carga significativa.

Resistencia a la tensión

Presenta el valor máximo a la tracción, si el material muestra una ductilidad alta la estricción de este será mayor antes de que ocurra la fractura, esto permite al material mantenerse uniforme.

Porcentaje de alargamiento a la fractura

Antes que el material sufra o entre en fractura existe un porcentaje de deformación también conocido como el valor de ductilidad.

$$\% \text{ alargamiento} = \frac{L - L_0}{L_0} \times (100\%) \quad (2)$$

Porcentaje de estricción frente a la fractura

También denominado porcentaje de reducción de área, mediante este porcentaje también se puede calcular la ductilidad.

$$\% \text{ estricción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times (100\%) \quad (3)$$

2.3.2 Ensayo de compresión

Las pruebas que se realizan mediante los ensayos de compresión, se desarrollan ante la presencia de una carga axial uniforme en la probeta, la acción de la carga se da por medio del cilindro hidráulico y los cabezales, que consiste en la aplicación de una fuerza externa creciente a través de una velocidad constante, la ejecución de este ensayo se produce en el zona inferior de la máquina de ensayos como se muestra en la *figura 4*, al igual que en el ensayo de tracción se aplica la carga uniforme mediante las mordazas hasta que la probeta sufra algún agrietamiento o deformación plástica en el material, la fuerza aplicada es medida a través de una celda de carga que se ubica entre el cabezal central y la mordaza superior.

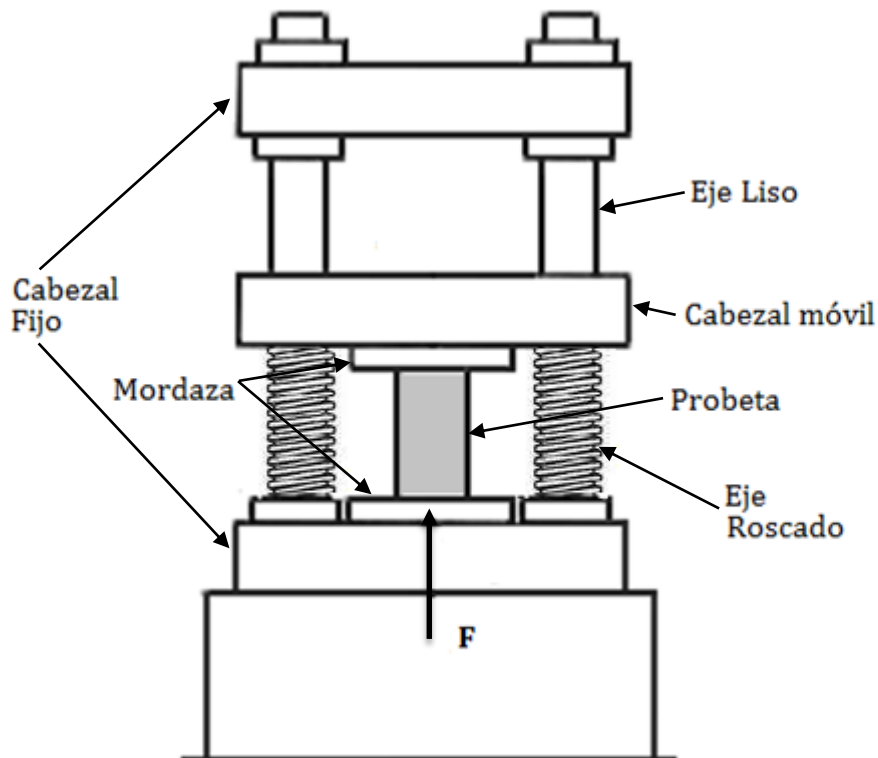


Figura 4. Ensayo de compresión

El ensayo de compresión se realiza exclusivamente para concreto o material que se encuentre sometido a grandes cargas constantemente, este tipo de materiales suelen denominarse frágiles o no uniformes. El comportamiento de estos materiales presenta una resistencia muy alta ante la compresión.

En la *figura 5* se muestra el diagrama de esfuerzo - deformación para el ensayo de compresión, el diagrama representa varias propiedades mecánicas permitiendo comprimir la probeta hasta causar la ruptura, a pesar de no realizarse comúnmente este tipo de ensayos, representa propiedades importantes para los materiales que se encuentran expuestas a cargas constantes.

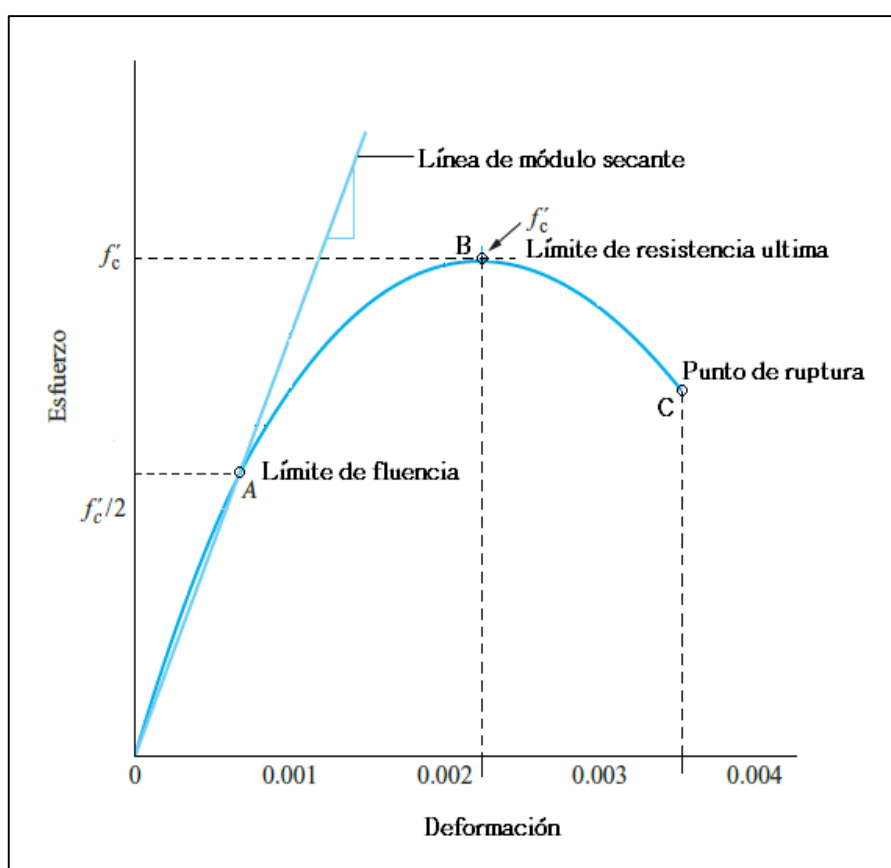


Figura 5. Diagrama Esfuerzo-Deformación Compresión

Fuente: (Mott, 2009)

2.3.2.1 Propiedades mecánicas que se presentan el diagrama de Esfuerzo-Deformación

Límite de fluencia

Acortamiento que presenta un material ante una carga aplicada a compresión uniforme. También representa el límite donde la carga puede cesar y volver el material a su estado original.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4)$$

$$E \cdot \frac{du(x)}{dx} \quad (5)$$

Límite de resistencia última

Límite donde se presenta la plasticidad del material debido a la magnitud de la carga aplicada, en esta etapa el material ya no vuelve a su estado inicial por los cambios internos que se producen mostrando al material en un estado de deformación permanente.

Punto de ruptura

Al aumentar la carga axial gradualmente en la probeta esta experimenta una ruptura debido a que excede la tensión máxima de compresión, este tipo de ruptura puede ser por fisura o cizallamiento.

2.3.3 Ensayo de flexión

El ensayo de flexión es importante en el área de construcción estructural ya que analiza la ductilidad que presentan ciertos materiales, hoy en la actualidad se exigen varias pruebas de tipo de ensayos a correas, vigas o tiras de acero.

La prueba se realiza en el área inferior al igual que el ensayo de compresión, el uso de las mordazas depende del tipo de prueba que se desee efectuar, la probeta se mide con anticipación para colocar en el centro de la mordaza inferior, alineando su centro con el de la mordaza superior, véase en la *figura 6*.

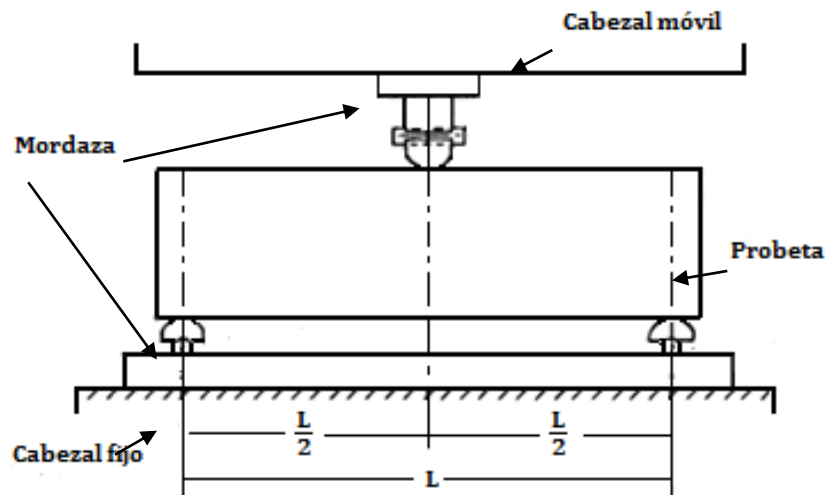


Figura 6. Ensayo de flexión a tres puntos

La aplicación de la carga y su representación se desarrolla de la misma manera que en los anteriores ensayos., además el objetivo de someter las probetas a los ensayos es observar el comportamiento de un material mediante la aplicación de fuerzas transversales o concéntricas al eje longitudinal de la probeta para obtener un esfuerzo de deflexión ya sea puro o simple.

Las pruebas pueden realizarse a tres o cuatro puntos como se observa en la *figura 7*, en el cual actúan las cargas de la misma manera que en el ensayo de compresión; sin embargo, en este tipo de ensayo la mayoría de las probetas sufren solo deformaciones, sin la necesidad de que ocurra fractura para obtener sus propiedades mediante dispositivos como sensores y celdas de cargas.

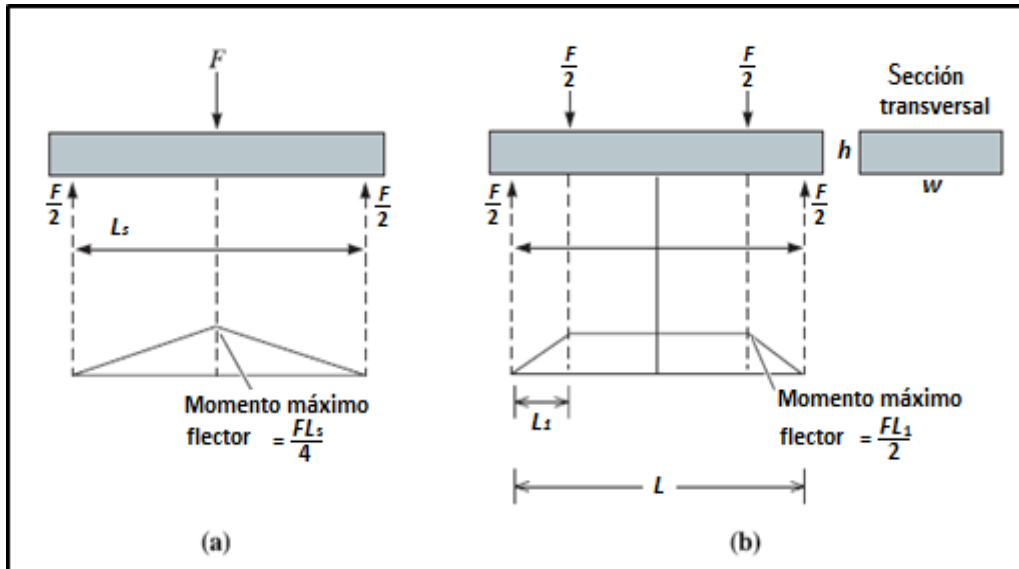


Figura 7. Ensayo de flexión (a) Esquema de carga en tres puntos, (b) Esquema de carga en cuatro puntos

Fuente: (Vidal, 2015)

En el diagrama de la *figura 8*, se puede observar como el material al exponerse a una carga gradualmente constante sus propiedades mecánicas van observándose y cambiando su condición inicial, estos cambios que sufre el material presenta la resistencia de flexión o módulo de ruptura donde el esfuerzo y la deflexión o alargamiento son proporcionales hasta llegar al punto de módulo de flexión en los materiales dúctiles, mientras que en los frágiles llega hasta el punto de fractura.

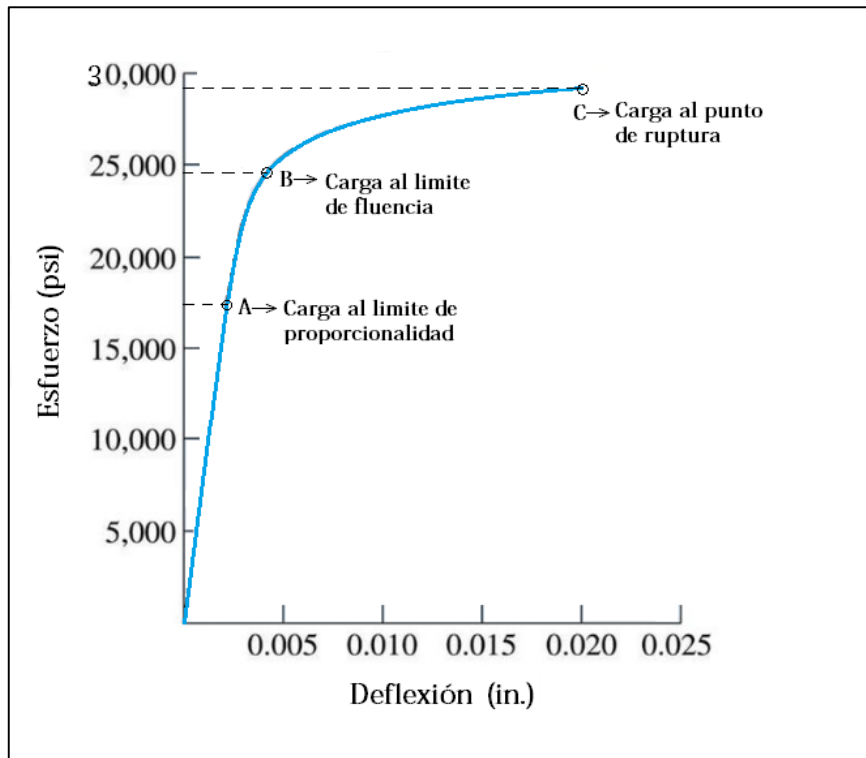


Figura 8. Diagrama esfuerzo-desplazamiento (Flexión)

Fuente: (Vidal, 2015)

2.3.3.1 Propiedades mecánicas que se presentan el diagrama de esfuerzo-deflexión con respecto al ensayo de tres puntos.

Módulo de flexión

Es la medida de la rigidez que presenta el material durante el ensayo

$$E_{flex} = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot w \cdot h^3 \cdot \delta} \quad (6)$$

Resistencia de flexión o módulo de ruptura

Es el esfuerzo necesario para que ocasionar en un material rotura, describe la resistencia del material

$$\sigma_{flex} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot L}{w \cdot h^2} \quad (7)$$

2.4 Máquina universal de ensayos

En la ingeniería una máquina universal de ensayos es denominada como una máquina herramienta, en la cual se puede examinar a un elemento mediante la aplicación de cargas estáticas, dinámicas o cíclicas para lograr obtener las propiedades mecánicas y verificar la característica que ofrece el material hacia distintas aplicaciones. Las máquinas de ensayos se han creado a fin de contribuir con el análisis de elementos o componentes mediante la participación de los diferentes tipos de ensayos y así lograr una mayor calidad y evitar daños ante la funcionalidad o trabajo al que se encuentran sometidos.

Este tipo de herramientas se encuentra constituido por diferentes elementos que conforman varios sistemas de acuerdo con el tipo de aplicación de carga. En la *figura 9(a)*, se puede apreciar una máquina de ensayos hidráulica que presenta en la parte superior un cilindro hidráulico de doble efecto (1) que se encarga de aplicar la fuerza y permite el desplazamiento vertical del cabezal superior móvil (4). En la parte superior e inferior se puede observar dos placas fijas (2 y 8), que contienen los cabezales un móvil y una fijo (6), en los que se encuentran insertadas las mordazas; además, posee cuatro columnas fijas (3) que aseguran el reparto uniforme de la carga. En la parte inferior del cabezal fijo se encuentra una celda de carga (7) para obtener los datos de la fuerza aplicada y un mando remoto (5), para la ubicación de las probetas. (S.A.E. IBERTEST)

En la *figura 9(b)* se puede visualizar los marcos o áreas para la realización de los ensayos, en la parte superior en el área o espacio entre los cabezales superior fijo y central móvil se presenta el ensayo de tracción, mientras que en la parte inferior de la máquina se puede visualizar el área para el ensayo de compresión o flexión entre el cabezal central móvil y la base. Constituyendo en conjunto los elementos del sistema estático, dinámico e hidráulico.

2.5 Sistema mecánico (Estático)

El tipo de sistema y posicionamiento de los elementos depende del estado en el que se encuentren los componentes operando, es decir, pueden ser estáticos o moverse a una velocidad muy baja y constante, o a su vez pueden ser dinámicos y variar la velocidad dependiendo de la aplicación de la carga, de esta forma la estructura de la máquina se encuentra configurada por un sistema estático y un móvil que al acoplarse logran la

estructura ideal para la obtención del estudio final, sin descartar que la principal característica en su diseño es la capacidad y transferencia de carga.

2.6 Sistema estático

El sistema estático de la máquina universal de ensayos consiste en los cabezales o módulos de carga que se desplazan mediante la acción del motor y la carga aplicada del cilindro hidráulico, transmitiendo el movimiento a través de los tornillos, permitiendo la posición y alineamiento exacto para realizar los diferentes ensayos. La carga que se transmite a través de los cabezales depende de la posición en donde se encuentre el sistema hidráulico, que podría presentarse ya sea en la parte superior como se muestra en la *figura 9(a)*, o puede situarse en la parte inferior *figura 9(b)*, dependiendo de las características externas.

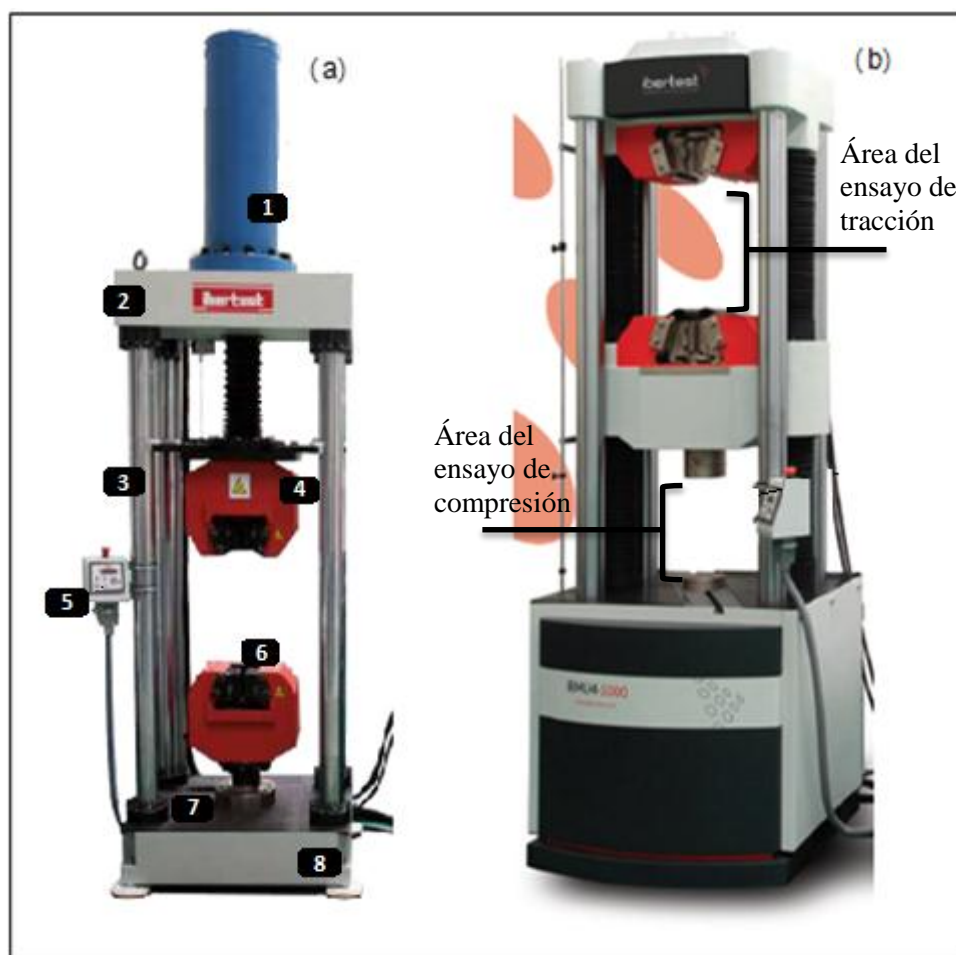


Figura 9. Máquina universal de ensayos servo hidráulicas (a) Serie IBTM4, (b) Serie IBMU4

Fuente: (S.A.E. IBERTEST)

Las empresas que fabrican este tipo de máquinas se basan en tablas de especificaciones para realizar el diseño de la estructura, las cuales presentan distintos parámetros en función de la capacidad de carga.

En la *tabla 1* se puede observar las características más importantes, mediante las cuales se realiza el estudio y análisis para alcanzar los parámetros necesarios y obtener el nuevo diseño, este modelo se caracteriza por que presenta la participación de dos ejes móviles o tornillos de potencia para el desplazamiento del módulo central de cargas en cada ensayo., además, presenta una sola área de ensayo para las pruebas.

Tabla 1. *Especificaciones Técnicas de una máquina universal de ensayos Instron*

Especificaciones Técnicas		
Capacidad de Carga	kN	300
Velocidades Máxima de Ensayo	mm/min	500
Velocidades Mínima de Ensayo	mm/min	0,005
Velocidades de Retorno por Ensayo	mm/min	500
Curso Máximo de Ensayo	Mm	1200
Espacio entre Columnas	Mm	650
Altura	Mm	2300
Longitud	Mm	1340
Profundidad	Mm	1000
Peso	Kg	1900
Potencia Máxima	VA	1800

Fuente: (INSTRON EMIC, 2015)

2.7 Cabezales o módulos de carga


Los cabezales son conocidos como 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

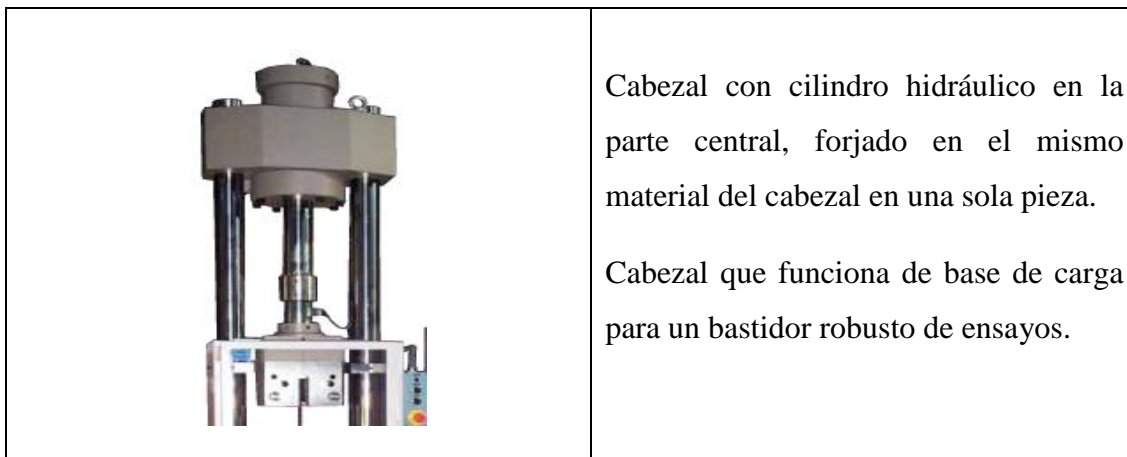
apoyo firme o realizar recorridos de manera axial o angular, presentando un sin número de aplicaciones y construidos de materiales con alta resistencia mecánica. (Rosales , 2006)

En la implementación de las máquinas de ensayos destructivos existen diferentes tipos de cabezales que se presentan de acuerdo con el sistema de funcionamiento y a los ensayos que realizará cada máquina.

Tabla 2. *Tipos de cabezales de una máquina de ensayos destructivos*

TIPOS DE DISEÑOS DE CABEZALES	
Modelos	Características
	<p>Cabezal hidráulico para ensayos de tracción</p> <p>El modelo incluye sección de mordazas</p> <p>El cabezal superior presenta cuatro agujeros en cada uno de sus extremos para el ajuste con las columnas fijas.</p> <p>Además, cuenta con un servo motor en el interior del cabezal para realizar el ensayo de torsión.</p>
	<p>Cabezal fijo en forma de travesaño o viga uniforme que presenta dos agujeros con ajuste roscado para la celda de carga.</p> <p>Debido a la baja capacidad de carga, el cabezal central se muestra como una placa rectangular, con bocines para el deslizamiento que debe realizar en las columnas.</p>

	<p>Cabezal de forma rectangular que funciona como base del cilindro hidráulico.</p> <p>Presenta orificios para el ajuste de las columnas y el cabezal.</p>
	<p>Cabezal superior con cuatro agujeros para la sujeción de las columnas fijas.</p> <p>Cabezal central con un torillo sin fin en el interior y un motor externo en la parte lateral del cabezal para el acople del sistema móvil</p>
	<p>Cabezal superior con acople para el cilindro hidráulico, para el ensayo de compresión.</p> <p>Cabezal central con agujeros para conectar los ejes fijos y las mordazas.</p>
	<p>Cabezal de hierro fundido</p> <p>Travesaño con dos agujeros para ajuste de las columnas.</p> <p>Ajuste del cabezal mediante tuerca y contra tuerca para lograr una fijación precisa.</p> <p>Ajuste roscado para mordaza</p>



El resultado de la investigación de los diversos modelos de cabezales presenta el desarrollo de cada uno de los elementos en un proceso de construcción mediante hierro fundido y un molde que permita lograr una pieza uniforme., además, los cabezales presentan proceso de endurecimiento para la aplicación de altas cargas puntuales o de precisión.

2.8 Condiciones de operación del sistema

El objetivo principal de los cabezales es disminuir al máximo su flecha o deflexión al momento de realizar ensayos destructivos de acuerdo con normas universales, en las que se han establecido condiciones de operación que debe presentar el sistema para realizar las distintas pruebas y obtener los datos necesarios para cumplir con las especificaciones de cada tipo de ensayo.

Entre las diferentes normas existentes se encuentran parámetros de ensayo como la carga, velocidades, espacio de ensayo, potencia y desplazamiento, que se presentan para cada uno de los ensayos, a los cuales las probetas van a someterse. Además de existir información ya proporcionada por los distintos materiales comercializables para verificar la funcionalidad y condiciones de operación de la máquina, con el fin de cumplir con las normas determinadas.

2.9 Análisis de elementos finitos

Se denomina análisis de elementos finitos (FEA) al estudio que realiza mediante el método de elementos finitos (FEM), técnica numérica para la solución de problemas de ingeniería que permite efectuar la evaluación de un elemento simple o complejo sometido a esfuerzos, cargas axiales y transversales. El FEM detallada de las

características más simples y complejas del análisis de cada pieza o elemento como: desplazamientos, deformaciones y tensiones mediante las diferentes simulaciones que ofrecen el software. (SolidWorks, 2010)

Esta técnica permite visualizar al elemento en su totalidad, las partes críticas, las que muestran mejor estabilidad o funcionalidad ante las cargas estáticas o dinámicas que se encuentre sometidas. La variación se representa mediante niveles de colores en una escala de rango establecido como se puede apreciar en la *figura 10*.

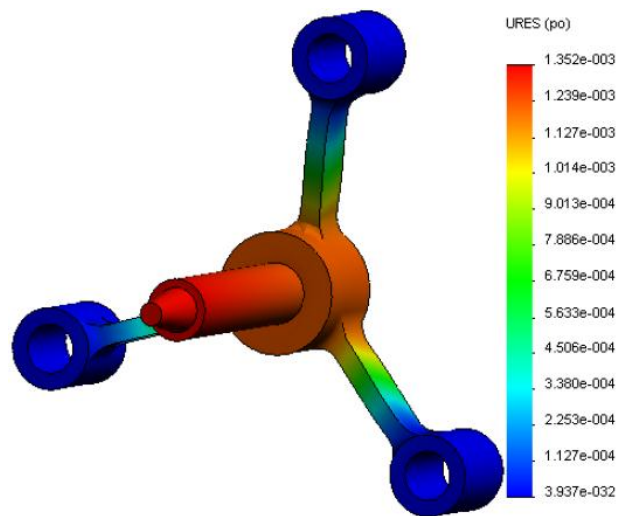


Figura 10. Análisis de tensión

Fuente: (SolidWorks, 2010)

El FEM reemplaza un problema complejo por muchos problemas simples, subdivide al modelo en fracciones muy pequeñas denominadas elementos que comparten puntos comunes denominados nodos, el conjunto de estos nodos se denomina mallas, que se encargan de analizar el comportamiento de estos elementos en todas las posibles situaciones de apoyo y carga. (SolidWorks, 2010).

La malla representa el grado de aproximación que tiene el modelo del con un elemento real, ya que mientras más densa sea la malla el error será menor. Este tipo de análisis de malla permite realizar aplicar el control de malla dependiendo de las entidades de la pieza o elemento diseñado. (Grupo Carman, 2014)

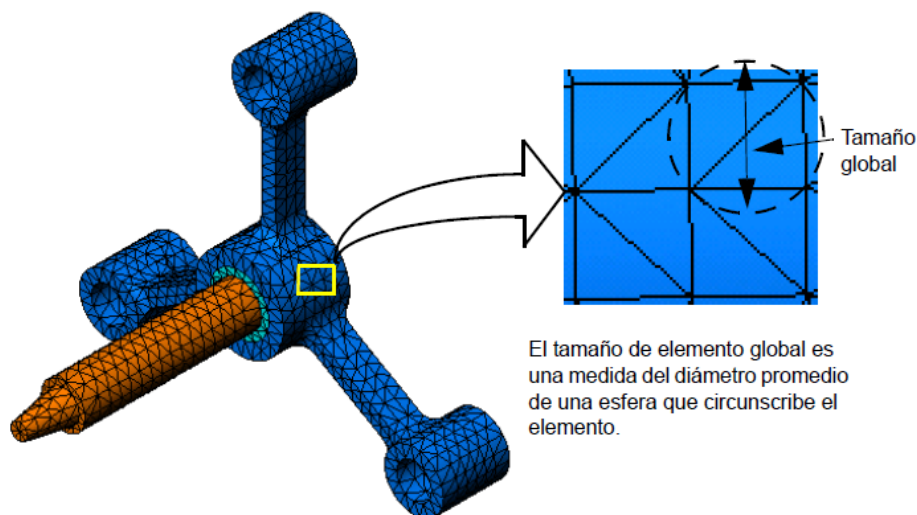


Figura 11. Mallado o análisis nodal

Fuente: (SolidWorks, 2010)

2.10 Normas

La máquina universal de ensayos se denomina universal cuando en ella se pueden realizar dos o más de los diferentes tipos de pruebas mecánicas, para analizar los resultados y verificar si las propiedades mecánicas que presentan las probetas son iguales o muestran un rango de aceptación, por tal motivo existen normas en las cuales se describe la revisión que se debe presentar para cumplir con ciertas especificaciones.

2.10.1 Normativas generales de inspección

NTC ISO 7500-1

En la norma NTC ISO 7500-1 en el Anexo A de la Norma Técnica Colombiana se presentan las pautas que se debe cumplir. En la guía calibración de máquinas de ensayo una maquina universal de ensayos de tracción y compresión debe contar para encontrarse en su óptimo funcionamiento con respecto al estado de la estructura. (ICONTEC, 2007)

ANEXO A (normativo) Inspección general de la máquina de ensayos

- A.1 Generalidades
- A.2 Inspección visual
- A.3 Inspección general de la estructura de la máquina

Este tipo de inspección se realiza con respecto al estado de la estructura de las máquinas de ensayo uniaxiales para verificar si se encuentra en condiciones adecuadas para operar.

A.4 Inspección del mecanismo de manejo

Mientras que el anexo A.4 se lo realiza mediante el mecanismo de accionamiento para verificar los valores de la fuerza que se emplea.

2.10.2 Normas para ensayos

ASTM E8 E8M-16a Método de ensayo normalizado para pruebas de tensión de materiales metálicos.

La norma especifica los siguientes tipos de probetas que se pueden emplear en la realización del ensayo de tensión o tracción. Las dimensiones o tamaños se deben presentar según el material y las características del espécimen, y la ubicación que presentan todas las probetas en los ensayos se debe encontrar debidamente centrada en el marco de ensayo.

Las probetas rectangulares

La probeta de tipo placa estándar como se muestra en la *figura 12*, se usa para realizar pruebas de materiales metálicos en forma de placa y plana con un grosor nominal de 5 mm [0.188 in] o mayores. Sin embargo, si las especificaciones del producto lo permiten, pueden utilizarse otros tipos de muestra en forma y tamaño como se indica en los agregados de la norma para ensayo de tensión. (ASTM-E8/E8M-16a, 2015)

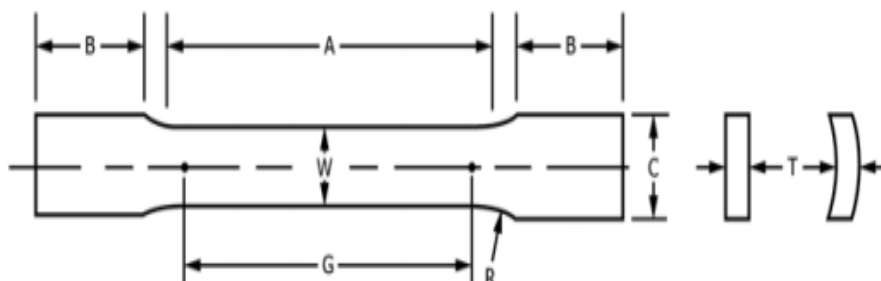


Figura 12. Especímenes rectangulares estándar para muestras en materiales metálicos

En la *tabla 3*, se puede observar las dimensiones asignadas de acuerdo con la norma especificada presentando las medidas necesarias para realizar el ensayo de tracción.

Tabla 3. Dimensiones para probetas metálicas según ASTM E8-/E8M-16a

	Dimensiones		
	Muestras normalizadas		Submedida de muestras
	Tipo placa 40mm [1.5 in]	Tipo hoja 12.5mm [0.5 in]	6mm [0.25 in]
	mm [in]	mm [in]	mm [in]
G - Longitud calibrada	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.00 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W - Ancho	40.0 ± 2.0 [1.50 ± 0.125, - 0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	60.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T - Espesor		Espesor del material	
R - Radio de filete	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L - Longitud total	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A - Longitud de sección reducida	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B - Longitud de sección de agarre	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C - Ancho de la sección de agarre	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Especímenes rectangulares con agujeros

Existen probetas que presentan con agujeros como se muestra en la *figura 13*, donde se puede usar pasadores para evitar pandeos al momento de realizar la prueba de materiales delgados y de alta resistencia. (ASTM-E8/E8M-16a, 2015)

Según la norma ASTM E8-E8M, las dimensiones presentan en particular un solo tipo de probeta estándar para la realización de ensayos en placas con agujeros, como se puede apreciar en el contenido de la *tabla 4*.

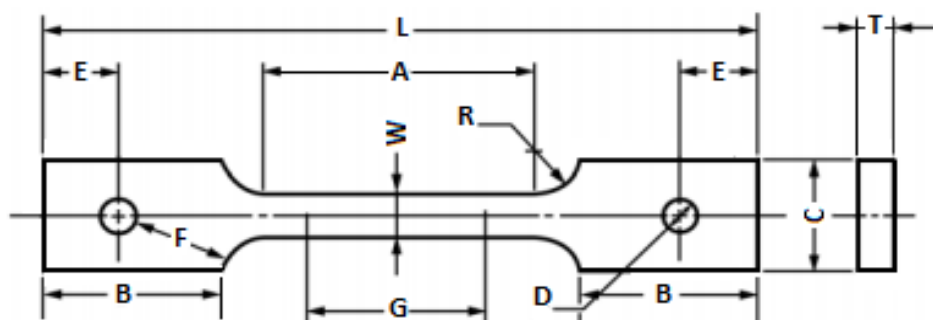


Figura 13. Especímenes rectangulares con agujeros para muestras en materiales metálicos

Tabla 4. Dimensiones para probetas metálicas con agujero según ASTM E8-E8M

Dimensiones, mm [in]	
G - Longitud calibrada	50.0 ± 0.1 [2.00 ± 0.005]
W - Ancho	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
T - Espesor	Espesor del material
R - Radio de filete	12.5 [0.500]
L - Longitud total	200 [8]
A - Longitud de sección reducida	57 [2.25]
B - Longitud de sección de agarre	50 [2]
C - Ancho de la sección de agarre	50 [2]
D - Diámetro del agujero (Probetas con agujero)	13 [0.5]
E - Distancia del borde al pasador (Probetas con agujero)	40 [1.5]
F - Distancia del agujero al filete (Probetas con agujero)	13 [0.5]

Especímenes cilíndricos

Para los ensayos de tensión la norma también especifica los tipos de probetas cilíndricas para diferentes muestras de materiales por lo cual representa las los distintos extremos, (véase en la *figura 14*), que pueden presentarse en las muestras al momento de realizar el ensayo. En la *tabla 5*, se especifican las medidas de las probetas de acuerdo con la norma ASTM E8.

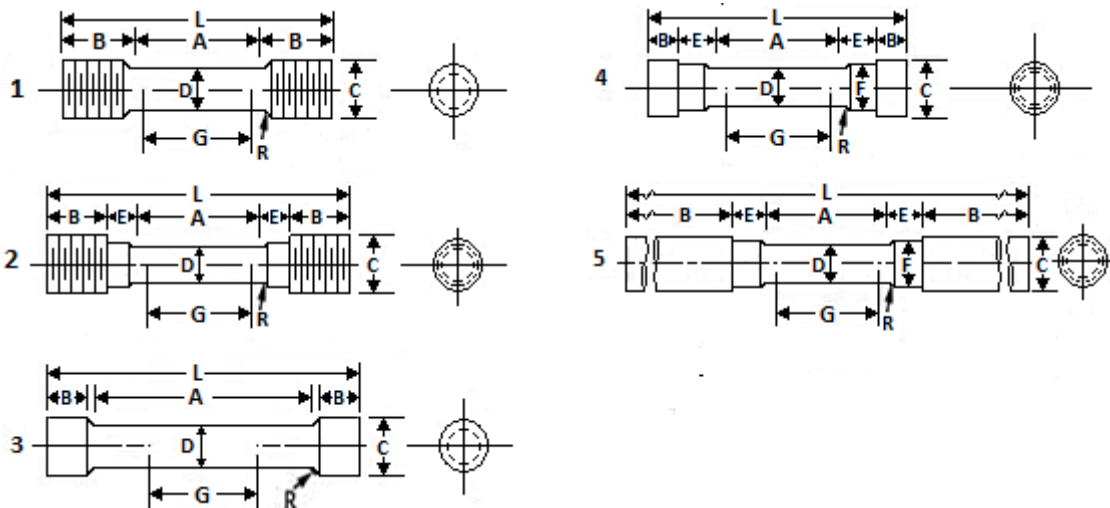


Figura 14. Especímenes cilíndricos estándar según ASTM E8

Tabla 5. Dimensiones para cinco tipos de probetas cilíndricas metálicas según ASTM E8

	Dimensiones, mm [in]				
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5
G - Longitud calibrada	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D - Diámetro	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R - Radio de filete	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A - Longitud de sección paralela reducida	56 [2.25]	56 [2.25]	100 [4]	56 [2.25]	56 [2.25]
L - Longitud total	145 [5]	155 [5.5]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B - Longitud de sección final	35 [1.375]	25 [1]	20 [0.75]	15 [0.5]	75 [3]
C - Diámetro de la sección final	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
E - Longitud del desnivel de la sección		15 [0.625]		20 [0.75]	15 [0.625]
F - Diámetro del desnivel		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

ASTM C39 Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

La realización del ensayo de compresión debe efectuarse a dos o tres probetas cilíndricas mínimo, las cuales no deben diferir el diámetro del mismo cilindro en más del 2%. En caso de que las probetas muestren cierto grado de deformación, es decir, sus caras no sean planas dentro del 0.05 deberán ser rectificadas para cumplir con la tolerancia. (ASTM-C39, 2009).

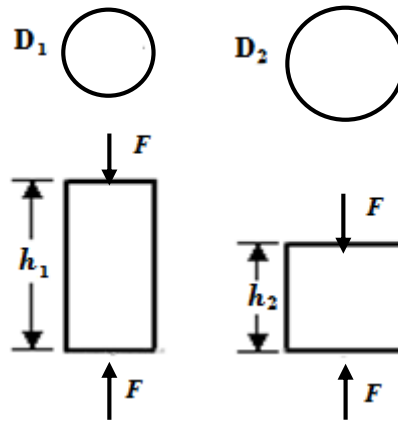


Figura 15. Especímenes de dimensiones $h=2D$

Los especímenes se presentan en cuatro distintos tamaños según especifica la norma, pero de acuerdo con las pruebas realizadas las dimensiones más usadas y de mayor precisión son las que se muestran en la *tabla 6*, estas muestras presentan una relación entre el diámetro y la altura, $h=2D$ como se observa en la *figura 15*, sin embargo, se pueden realizar ensayos de probetas que tengan una correlación de medida con las especificaciones dadas.

Tabla 6. Dimensiones de probetas cilíndricas de concreto según ASTM C39

Dimensiones de probetas, mm [in]		
Diámetro nominal (D)	Altura (h)	Coefficiente de variación
150 [6.00]	300 [12.00]	2,40%
100 [4.00]	200 [8.00]	3,20%

Fuente: (ASTM-C39, 2009)

Tabla 7. Requerimientos de velocidades para ensayos de compresión

VARIOS REQUERIMIENTOS DE LA ASTM SOBRE LA VELOCIDAD DE ENSAYO DE COMPRESIÓN				
MATERIAL PROBADO	REFERENCIA	MÁXIMA VELOCIDAD DEL PUENTE PDG POR MIN	VELOCIDAD DE CARGA LB/PLG2/S	TIEMPO PARA APLICAR LA SEGUNDA MITAD DE LA CARGA, S
Materiales Metálicos de 1 a 3 ple de largo de 3 in o mas	E9-331*	0.05	20-50	20-80+
		0.01		
Concreto	C39	0.05		
Mortero	C109			
Madera	D143			
paralelamente a la fibra		0.024		

perpendicular a la fibra		0.012	
Ladrillo	C67		60-120
Plásticos	C112	0.05	
		0.05 HASTA EL PUNTO DE DECENDENCIA	
	D1695	ENTONCES 0.20 A	
		0.25	
	D953	0.05	

Fuente: (HARMER E. DAVIS)

ASTM E-190 Método de Ensayo Normalizado de doblez para determinar la ductilidad de probetas metálicas.

Los tipos de especímenes que se utilizan generalmente para las pruebas de flexión son placas rectangulares y tuberías. Los ensayos que se efectúan dependen de la posición y superficies de la soldadura.

Lateral transversal

Se presenta cuando la soldadura es perpendicular al eje longitudinal de la placa, esta se dobla de modo que la superficie lateral se convierte en la superficie convexa, como se muestra en la *figura 16*.

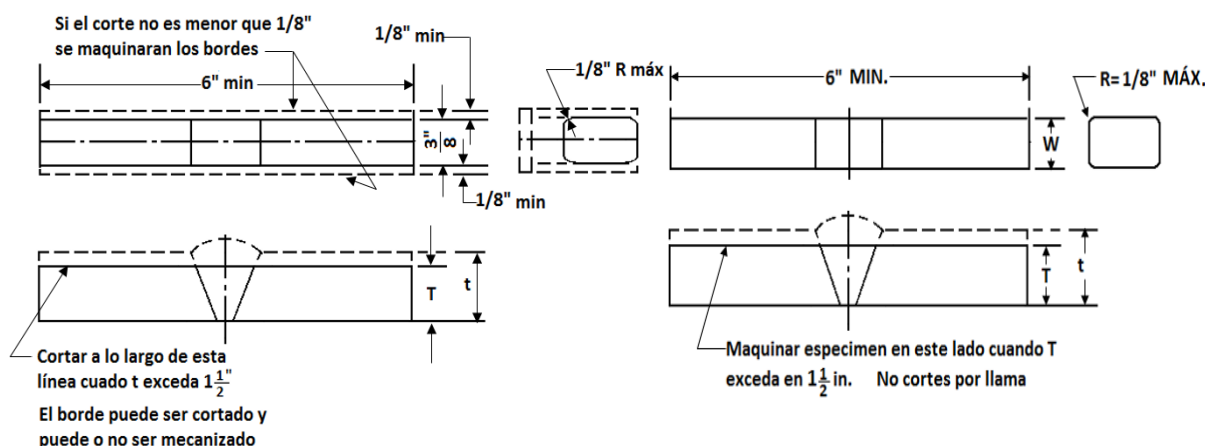


Figura 16. Especímenes placas soldadas de lado según ASTM E190

Fuente: (ASTM-E190, 1997)

Tabla 8. Dimensiones de probetas soldadas según ASTM E-190

<i>t</i> , in. (mm)	<i>T</i> , in.
$\frac{3}{8}$ a $1\frac{1}{2}$ (9.5 a 38)	<i>t</i>
$> 1\frac{1}{2}$	Ver en Nota 1

Nota 1- Para placas de más de $1\frac{1}{2}$ pulgada de espesor, corte la muestra en tiras aproximadamente iguales entre $\frac{3}{4}$ y $1\frac{1}{2}$ pulgadas de ancho y pruebe cada tira

Fuente: (ASTM-E190, 1997)

Trasversal de cara y raíz

La soldadura se presenta de forma transversal al eje longitudinal de la probeta como se observa en *figura 17*, de manera que la superficie de la cara se dobla y se convierte en la superficie convexa. Se denomina cara si en una probeta se observa el mayor ancho del material de soldadura como se observa a la izquierda de la *figura 17*. (ASTM-E190, 1997)

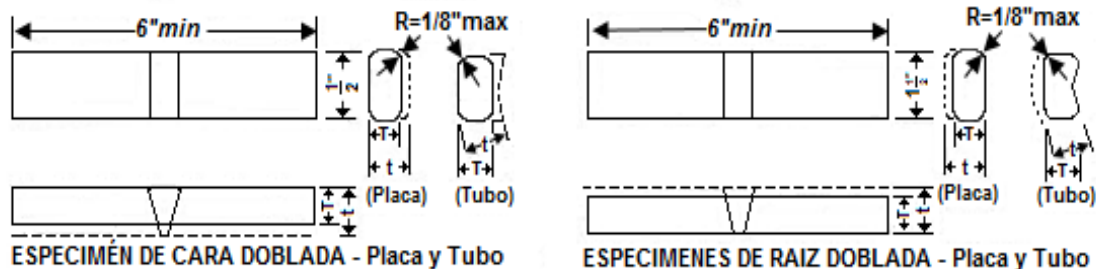


Figura 17. Especímenes placas soldadas de lado según ASTM 4

Fuente: (ASTM-E190, 1997)

De la misma manera cuando la soldadura se encuentra de forma transversal al eje longitudinal el doblado ocurre en la superficie de la raíz volviéndose la superficie convexa. La superficie que contiene el menor espesor de la soldadura se denomina raíz, como se muestra a la derecha de la *figura 17*. (ASTM-E190, 1997)

Longitudinal de cara y raíz

En este tipo de ensayo la probeta debe presentar una soldadura paralela al eje longitudinal de la placa, de manera que el doblado se presentara en la superficie de cara volviendo a esta superficie convexa. (ASTM-E190, 1997)

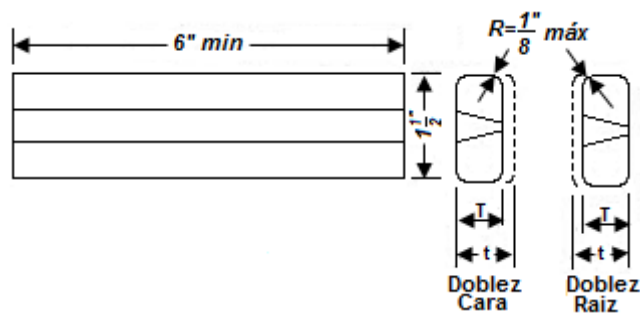


Figura 18. Especímenes placas soldadas de lado según ASTM E190

Fuente: (ASTM-E190, 1997)

Mientras que el lado opuesto que presenta la superficie de la muestra con menor material se denomina superficie de raíz, y si la soldadura es paralela al eje longitudinal del espécimen que se dobla, la superficie de la raíz se convierte en la superficie convexa del espécimen doblado, como se ve en la *figura 18*. (ASTM-E190, 1997)

2.10.3 Normas de tolerancias, ajustes y desviación (ISO 286-1, 286-2)

2.10.3.1 Tolerancias de fabricación

Debido a que la fabricación de elementos no presenta una exactitud de dimensiones, formas geométricas o de posición, existe la necesidad de emplear tolerancias que permita un rango de mínimo de error para lograr que el sistema o ensamblaje pueda funcionar en condiciones adecuadas sin verse afectado por las cotas o dimensiones iniciales. (GTM Grupo Tecnología Mecánica)

Factores de tolerancia

1. Intervalo de tolerancia
2. Signo de convención para las desviaciones
 - a Medida nominal.
 - b Límite superior de tamaño
 - c Límite inferior de tamaño
 - d Desviación del límite superior.
 - e Desviación del límite inferior (en este caso también desviación fundamental).
 - f Tolerancia.

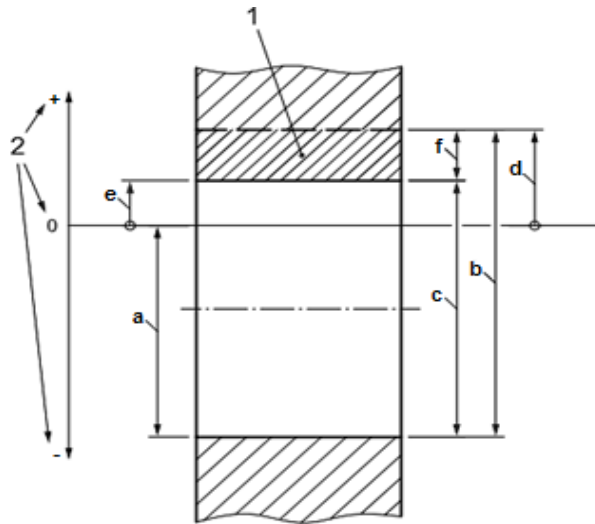


Figura 19. Ilustración de definiciones según ISO

Fuente: (International Standar ISO 286-1, 2010)

El *anexo 2* presenta una tabla de las tolerancias agujero – eje, donde se puede seleccionar el tipo de las tolerancias para el montaje de los sistemas de máquina de ensayos, además se puede observar la clase de ajuste, calidad y características. En la *figura 19* se presentan los factores que se deben tomar en cuenta para la selección del tipo de tolerancia necesario para cada uno de los elementos a ensamblarse.

2.10.3.2 Ajustes en construcciones mecánicas

En un ensamblaje debe existir el acople de elementos que permitan que el sistema se vuelva móvil o estático, ante lo cual es necesario la intervención de dos tipos de ajuste ya sea ajuste con juego cuando el eje es menor que el agujero o ajuste con apriete cuando el eje es mayor que el agujero antes de ser montado de acuerdo con la función que realice el conjunto o mecanismo. (GTM Grupo Tecnología Mecánica)

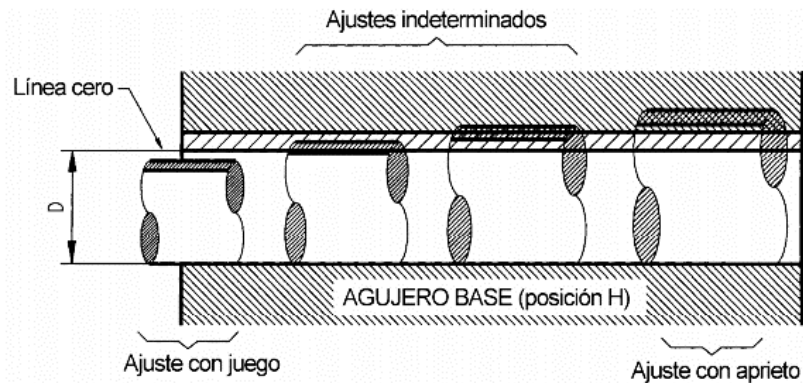


Figura 20. Tipos de ajuste de agujero base

Fuente: (International Standar ISO 286-2, 1988)

2.10.3.3 Desviaciones límites superiores e inferiores con respecto a agujeros.

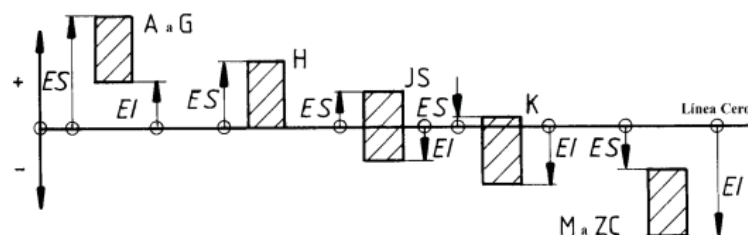


Figura 21. Desviaciones de agujeros (elementos internos)

Fuente: (International Standar ISO 286-2, 1988)

2.10.3.4 Notación normalizada ISO

En la notación de las dimensiones y/o designaciones de tolerancias se puede expresar mediante números y letras como se ve en la *figura 8 (a)*, o específicamente solo números como se observa en la *figura 8 (b)* para el ajuste que deben presentar los elementos.

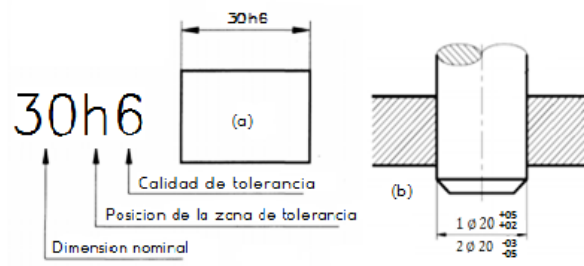


Figura 22. Notación de tolerancias

Fuente: (Higinio Rubio , 2011)

(compresión, tracción y flexión) y el tipo de materiales que se usan para construir este tipo de máquinas, definiendo así un modelo que se ajuste a los parámetros dados.

3.2 Consideraciones para el diseño de los cabezales

La funcionalidad de la máquina consiste en realizar tres tipos de ensayos, de tracción, compresión y flexión, de acuerdo con la metodología de las pruebas se requiere una deformación mínima en los cabezales al momento de aplicar la carga, para obtener resultados con la mayor precisión y adquirir las características mecánicas de los elementos a prueba.

Como se observa en la *figura 9* del segundo capítulo, el sistema estático depende directamente de la posición del cilindro hidráulico, para lo cual se opta por ubicar al actuador en la posición inferior para obtener mayor estabilidad en el sistema estático de la máquina. El cilindro hidráulico como se observa en la *figura 24*, aplica la carga directamente al sistema estático, que consiste en el cabezal inferior el cual se encuentra montado y alineado mediante columnas al cabezal superior, transmitiendo uniformemente el esfuerzo máximo para la ejecución de las pruebas.

Para que la estructura resista es necesario que el modelo del cabezal sea compacto y que permita la transmisión de carga con una deformación mínima de $L/2000$, permitiendo que la estructura no presente falla alguna al momento de producirse el ensayo. En la *tabla 9* se puede apreciar las características o parámetros que el cilindro hidráulico presenta.



Figura 24. Cilindro Hidráulico Yg-50200s

Fuente: (Lanchimba, R.)

Tabla 9. Parámetros del cilindro hidráulico

Parámetros Técnicos:	
Modelo:	YG-50200S
Tonelaje(tons):	50
Carrera(in):	7,87
Capacidad de aceite(in'3):	86,53
Altura(in):	14,72
Diámetro exterior(in):	4,72
Diámetro del pistón(in):	2,76
Bomba recomendada:	B-700S
Peso(lbs):	63,9

Fuente: (Lanchimba, R.)

3.2.1 Tipos de cargas para los diferentes tipos de ensayos

Para realizar las pruebas a las probetas se aplican cargas de acuerdo al tipo de ensayo a realizarse, en el ensayo de compresión se presentan cargas axiales y como su nombre lo dice comprime a la probeta como se muestra en la *figura 25(a)*, para el ensayo de tracción también se aplican cargas axiales pero en dirección contraria a la del ensayo de compresión, que someten a la probeta a un estiramiento como puede observarse en la

figura 25(b), mientras que en el ensayo de flexión se emplean cargas transversales a los especímenes y se presenta de dos tipos, el primero flexión a tres puntos figura 25(c) y el segundo flexión a cuatro puntos figura 25(d) presentando un doblez a lo largo de la probeta.

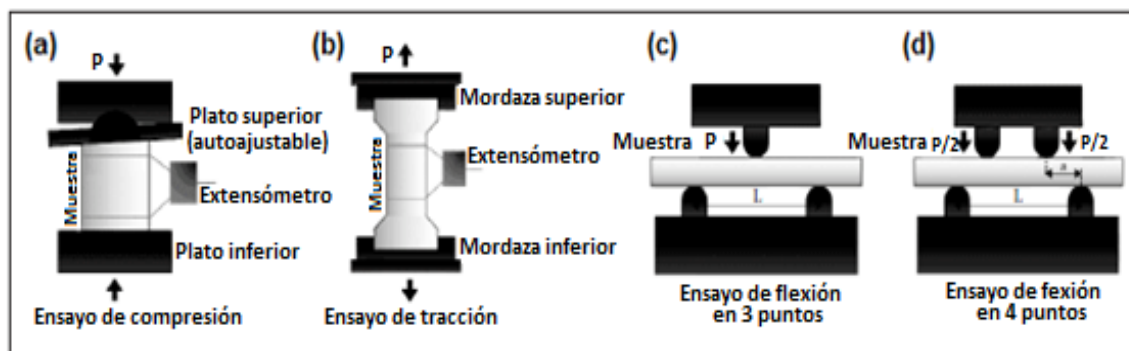


Figura 25. Representación esquemática de los ensayos destructivos

Fuente: (Guede , Gonzáles , & Caeiro, 2013)

3.2.2 Clase de carga (CLASE 1)

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. En la tabla 10 se puede observar los cuatro tipos de cargas que se describen acorde con la aplicación o funcionalidad de las máquinas.

La clase de carga que presenta del sistema estático de la maquina universal de ensayos es de clase 1 y establece que el sistema está sometido a cargas estáticas es decir que es un sistema estacionario con cargas constantes. (Norton, 2011)

Tabla 10. Clases de carga

	Cargas constantes	Cargas variables con el tiempo
Elementos estacionarios	Clase 1	Clase 2
Elementos móviles	Clase 3	Clase 4

Fuente: (Norton, 2011)

3.2.3 Deformación máxima

La deformación máxima en vigas se considerada que se presenta para los diferentes casos, en los cuales soporta maquinaria delicada y de precisión es de $L/1\ 500$, $L/2\ 000$, donde L es la longitud de claro entre los ejes de apoyo o sujeción. (McCormac & Csernak, 2012)

De acuerdo con la investigación realizada de varios modelos existentes, se consideraron los siguientes parámetros para la obtención del diseño a construirse, manteniendo en cuenta ciertos criterios y especificaciones de las máquinas universales de ensayo comerciales.

Los parámetros que se presentan en la *tabla 11* de especificaciones técnicas son lo que se deben emplear para obtener el modelo necesario de los cabezales o módulos de carga del sistema estático, para lograr acoplar a los distintos sistemas que presenta una maquina universal de ensayos.

Tabla 11. *Especificaciones técnicas de una UTM 30*

ESPECIFICACIONES	
Capacidad	300KN
DIMENSIONES	
Longitud	800 mm
Profundidad	500 mm
Altura	1200 mm
Luz entre columnas	500 x 200 mm
CONDICIONES OPERACIONALES	
Prueba de temperatura	N. A
Prueba de humedad	N.A.

SISTEMA DE MEDICIONES	
Exactitud	-----
Repetitividad	-----
NORMAS	
ASTM E8 E8M-16a	Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
ASTM C-39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
ASTM E-190	Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility

3.3 Selección del diseño

Para la selección del modelo es necesario establecer el tipo de sistema, las cargas externas, el material y la funcionalidad de cada uno de los elementos.

3.3.1 Diseño del sistema estático

El diseño de la estructura de la máquina está elaborado por placas de acero ASTM A36 y ejes y bocines del acero AISI 4140, como se puede observar en la *figura 26* la máquina de ensayos se conforma por tres sistemas.

El sistema hidráulico que presenta el cilindro (5) y la base (4), el sistema móvil que se encuentra compuesto por dos tornillos de potencia (6) y dos ejes lisos (7), y el sistema estático el cual consiste en tres cabezales, dos de ellos se denominan cabezales fijos (1), (3) debido al marco que forman para realizar los ensayo y el cabezal central se denomina cabezal móvil (2), ya que mediante el sistema móvil se desplaza en dirección vertical para la ubicación de la probeta para la preparación de los ensayos.

Tabla 12. *Maquina universal de ensayos UTM 30*

Ítem	SISTEMA ESTÁTICO
-------------	-------------------------

(1) Cabezal superior

(2) Cabezal central

(3) Cabezal inferior

(4) Base

SISTEMA HIDRÁULICO

(5) Cilindro hidráulico

SISTEMA DINÁMICO

(6) Eje roscado

(7) Eje liso

(8) Manzanas

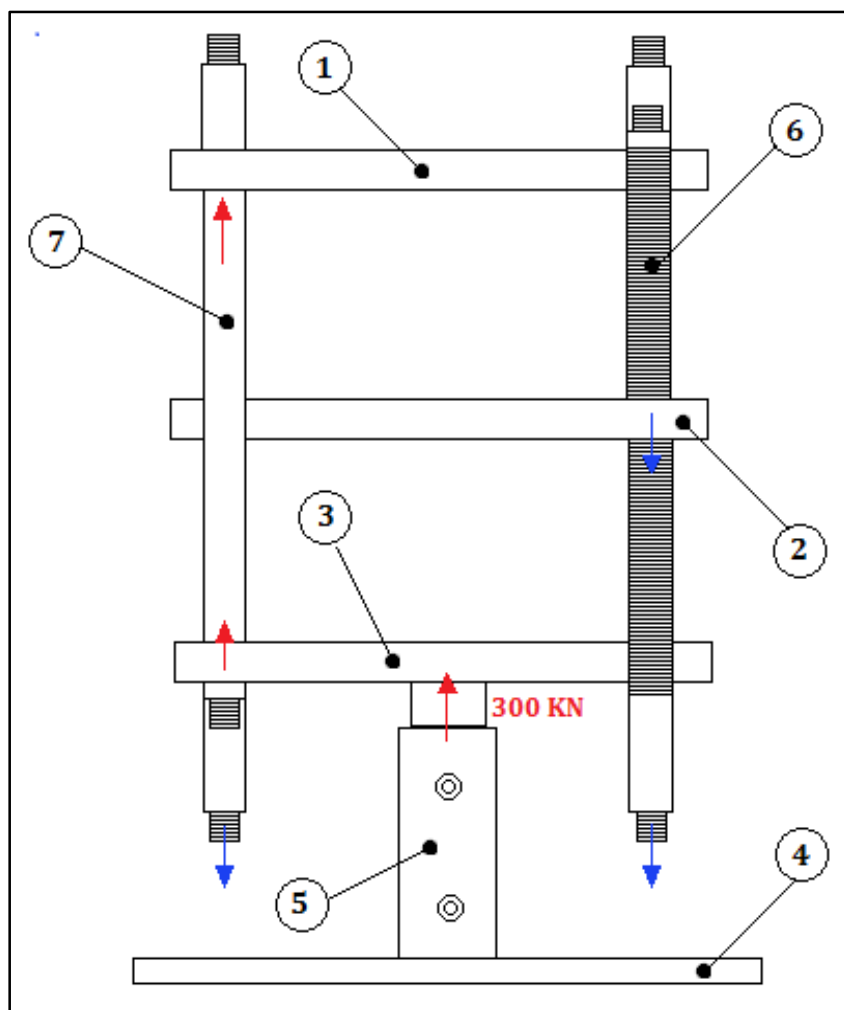


Figura 26. Sistemas de una máquina universal de ensayos

3.3.2 Diseño de cabezales

Para el diseño individual de cada cabezal es necesario el estudio de la deformación máxima que se puede presentar, el tipo de carga y las condiciones de flexión en barras para obtener un modelo que cumpla o se acondicione a los parámetros requeridos. El diseño de un modelo compuesto se presenta con el objetivo de obtener el área suficiente para desarrollar los ensayos y la rigidez necesaria para evitar deflexiones que posteriormente deban considerarse en el análisis de las características de los materiales volviéndose así más compleja la obtención de resultados de estos.

A continuación, se describe las características fundamentales y partes críticas de los elementos del cada uno de los cabezales; además de hacer una breve descripción de cómo se encuentran compuestos y la función que realizan.

3.3.2.1 Cabezal superior (1)

Ventajas del diseño El diseño del cabezal superior *figura 27*, presenta cavidades circulares en la parte superior de cabezal con el fin de ubicar la placa central, en la cual se insertan las mordazas o celdas de carga para la ejecución de los ensayos.

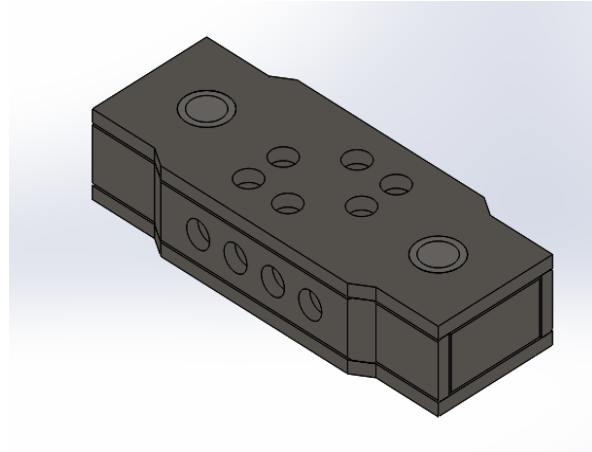
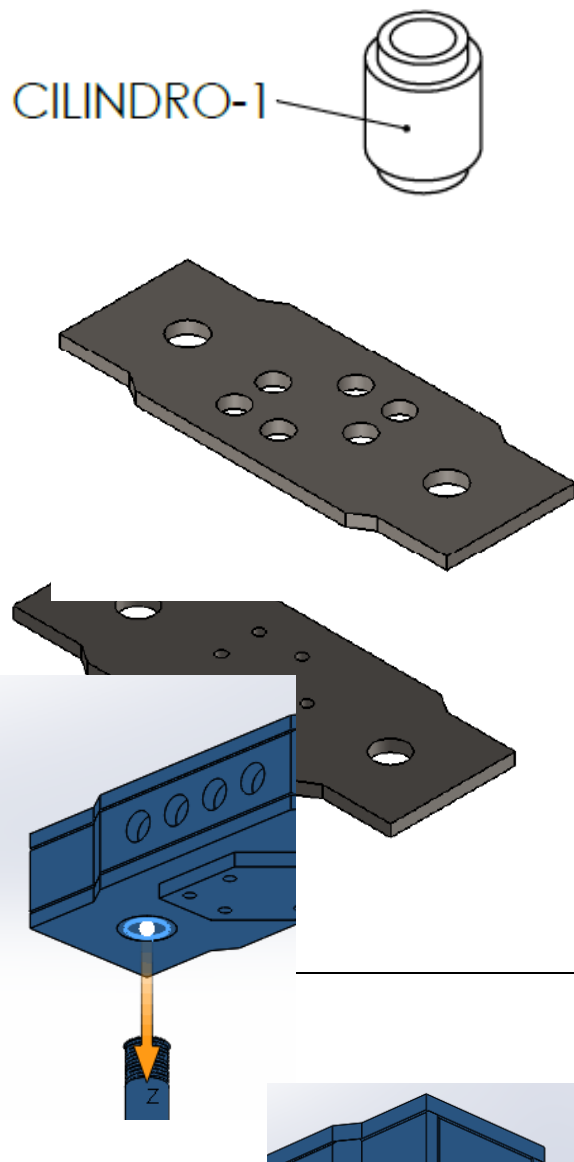


Figura 27. Diseño cabezal superior

Elementos Los bocines se diseñaron en un modelo general para obtener un cabezal más compacto, al momento de ensamblar cada uno de estos elementos a las placas base superior e inferior del cabezal.

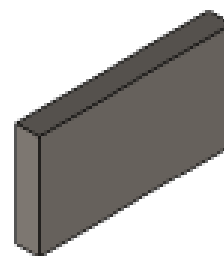
Además, el diseño permite el ajuste, necesario (H7/k6) entre los bocines del cabezal y los ejes lisos, a fin de que no exista juego durante la aplicación de cargas externas.



Las placas laterales presentan mayor deflexión en la parte lateral, que los cabezales inferior y superior, debido a la distribución de carga mediante los ejes lisos hacia el cabezal superior

A fin de reducir el punto crítico que presenta el cabezal se optó por usar nervios o placas de apoyo, además de contar con las placas centrales (PLACA-4, véase en el anexo de planos, lamina *UTM30-CS-PL-04*), para reducir la deflexión.

Partes	Placas laterales
Críticas	PLACA-3 (<i>Véase en el anexo de planos, lamina UTM30-CS-PL-03</i>)



3.3.2.2 Cabezal central (2)

Ventajas del diseño El siguiente diseño presenta cavidades circulares de mayor diámetro $130mm$, donde se ensamblan las manzanas que se muestran en la parte superior de la *figura 28*.

Este modelo presenta un diseño simple debido a que su función principal consiste en un marco fijo de anclaje para los ensayos.

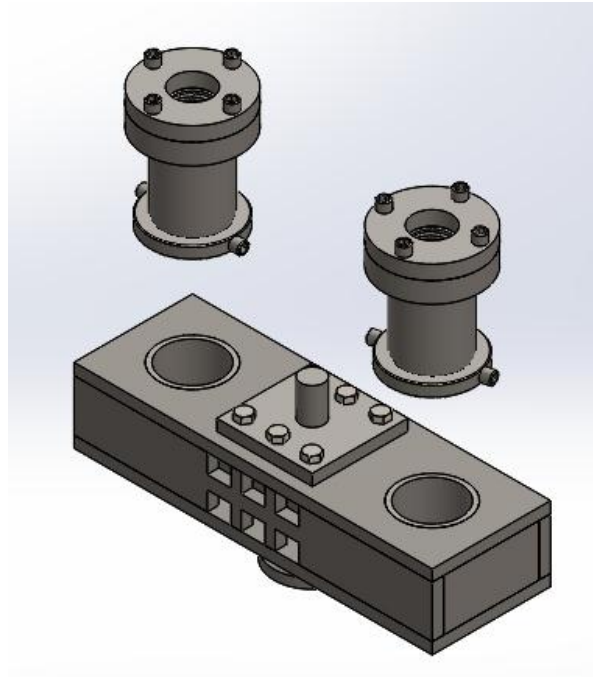
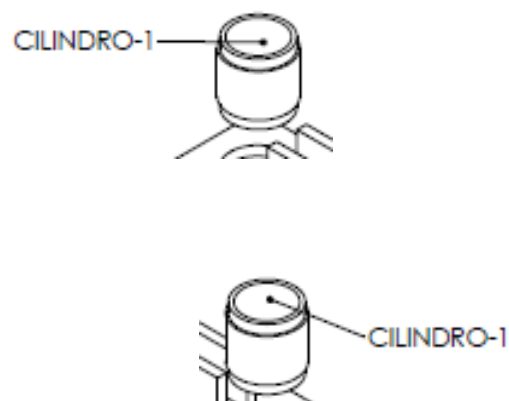


Figura 28. Diseño cabezal central

Elementos El diseño de los bocines presenta las mediciones indicadas para el acople de las manzanas.

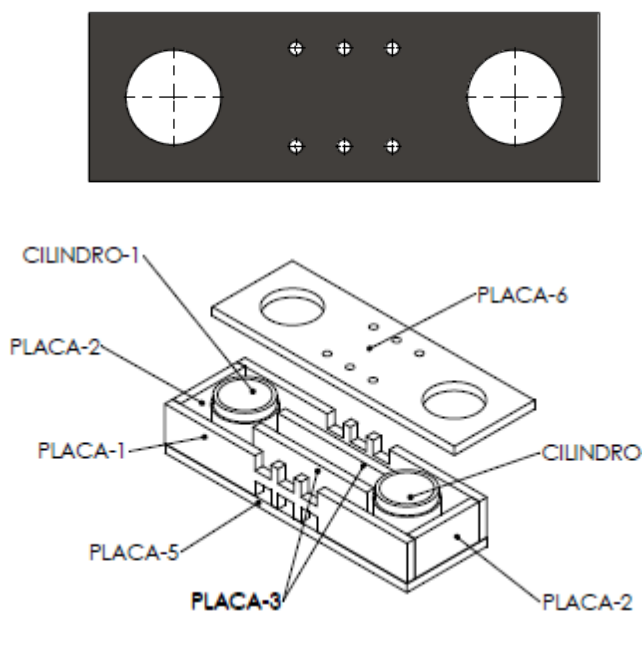
En los bocines se insertarán las manzanas que presentan cavidades centrales roscadas donde se insertan los tornillos de potencia con las tolerancias necesarias para lograr un ajuste adecuado.

En este caso el cabezal

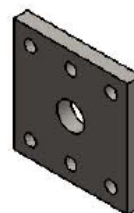


presenta agujeros para acoplar la placa donde se insertan las mordazas y la celda de carga, (PLACA-6, véase en el anexo de planos, lamina *UTM30-CC-PL-05*).

Además, el diseño presenta perforaciones rectangulares en la PLACA-1, (véase en el anexo de planos en la lámina *UTM30-CC-PL-01*), que permiten el ingreso de las herramientas de ajuste para la ubicación de las placas superior e inferior.



Partes	Placa Superior Mordaza
Críticas	PLACA-8 (Véase en el anexo de planos, lamina <i>UTM30-CS-PL-04</i>)



3.3.2.3 Cabezal inferior (3)

Ventajas del diseño	El diseño presenta un acople en la parte inferior mediante el cual
---------------------	--

se transmite la carga; además las cavidades en sus extremos permiten el acople de los ejes lisos logrando el marco de estático con el cabezal superior para los ensayos.

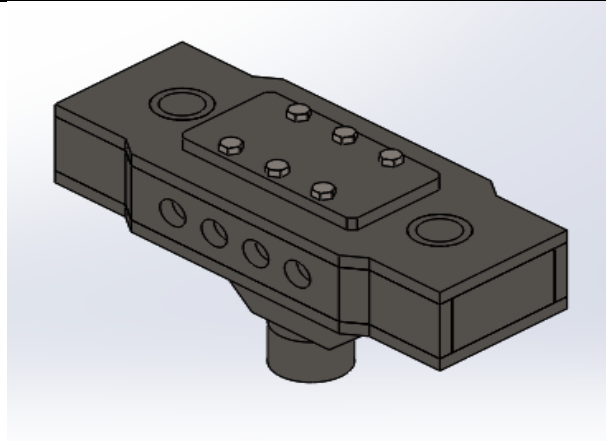
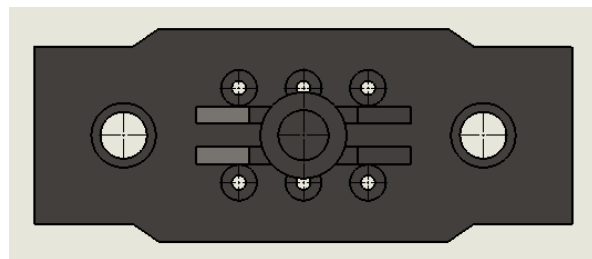


Figura 29. Diseño cabezal inferior

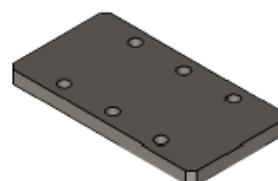
Partes Los bocines presentan un ajuste de H7 que ofrece un acople adecuado a los ejes lisos, los cuales deben presentar alineación con los bocines del cabezal superior.



Los agujeros de diámetro de 20 mm se los realizan con el fin de ingresar la herramienta para ubicar adecuadamente la placa porta mordazas.



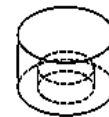
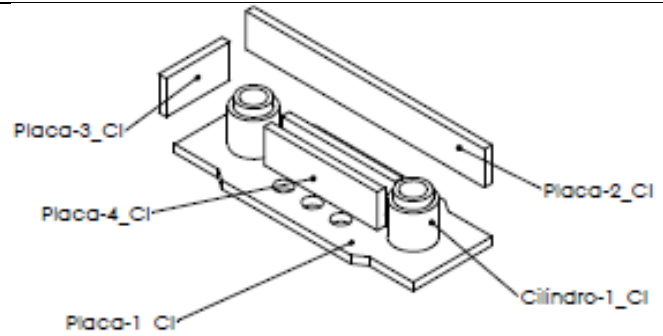
El diseño de la placa porta mordazas se limitó en las condiciones de ajuste hacia el cabezal, debido a que no se contó con las mordazas para realizar el diseño de roscado de ajuste



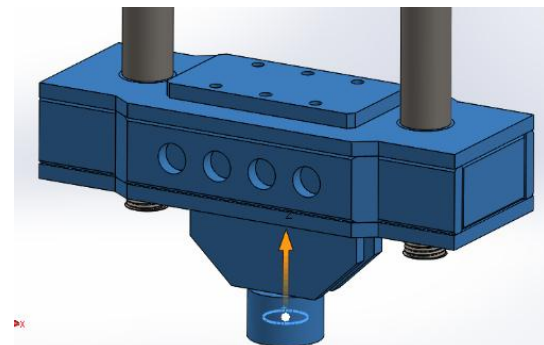
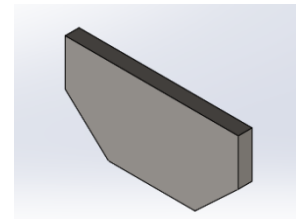
pertinente.

Las demás placas del cabezal conforman el bloque, compuesto con dos placas en la parte interior del cabezal para obtener un diseño compacto ante los esfuerzos aplicados.

El acople del cilindro hidráulico presenta un biselado y una holgura de +4mm permitiendo acoplarse al pistón del cilindro y no exista algún choque o rozadura.



Partes	Placa Superior Mordaza
Críticas	PLACA-8 (Véase en el anexo de planos, lamina UTM30-CI-PL-08)
	CILINDRO-2 (Véase en el anexo de planos, lamina UTM30-CI-CIL-02)



3.3.3 Selección del material

La selección del material Acero ASTM A36 y ANSIS 4130 se establece debido a la disponibilidad y costo en el medio. El material presenta las características necesarias en peso y maquinabilidad. En la *tabla 13* y la *tabla 14* se pueden apreciar las características que presenta cada material.

Tabla 13. *Propiedades del Acero A36*

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Nombre:	ASTM A36 Acero
Tipo de material:	Isotrópico Elástico Lineal
Resistencia a la fluencia (Sy):	250 MPa
Resistencia ultima (Su):	400 MPa
Módulo de elasticidad (E):	200 GPa
Coefficiente de Poisson:	0.26
Densidad:	7850 kg/m ³
Módulo de corte:	79,3 GPa

Fuente: (SolidWorks, 2010)

Tabla 14. *Propiedades del Acero AISI 4140*

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Nombre:	AISI 4140 Acero
Tipo de material:	Isotrópico Elástico Lineal
Resistencia a la fluencia (Sy):	417 MPa
Resistencia ultima (Su):	655 MPa
Módulo de elasticidad (E):	1900 GPa
Coefficiente de Poisson:	0.27
Densidad:	7700 kg/m ³
Módulo de corte:	80 GPa

Fuente: (SolidWorks, 2010)

3.4 Análisis del modelo del cabezal como una placa uniforme

Para el análisis del diseño del cabezal o módulo de carga como un elemento compuesto, se realiza el estudio como una viga compuesta uniforme de (750 x 200) mm, para obtener el esfuerzo máximo, la deflexión máxima que se presenta ante una carga puntual.

En cada ensayo existe la participación de dos de los tres cabezales, por esta razón se consideró efectuar el estudio de la viga compuesta referencia del cabezal central, el cual participa en la ejecución de los tres ensayos. Debido a ciertas diferencias que existen en las condiciones del diseño es necesario analizar el porcentaje de error que se presenta entre el estudio analítico y el modelo simulado.

3.4.1 Estudio del diseño uniforme

La solución de una placa uniforme ante un sistema compuesto debe presentar resultados equivalentes en el análisis de elementos finitos mediante software, para lo cual se efectúa la comparación del este análisis.

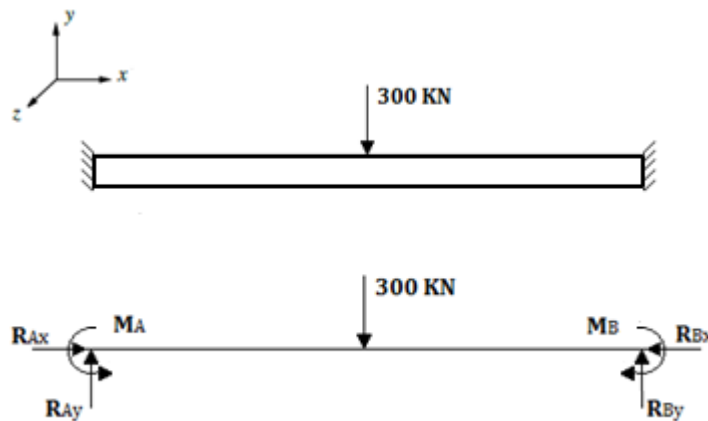


Figura 30. Diagrama de cuerpo libre

Condiciones de diseño

Con base en esfuerzos y desplazamientos:

$$\sigma_1 \leq S_y$$

$$\sigma_d \leq S_u$$

$$\delta \leq \delta_R$$

$$N \geq 1;$$

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma} ; N_u = \frac{S_u}{\sigma} ; N_R = \frac{\delta_R}{\delta_s}$$

Reacciones

Ecuación de compatibilidad

$$\delta_{total} = \delta_{AB} + \delta_{BC}$$

$$\delta_{AB} + \delta_{BC} = 0$$

$$\frac{P * L_{AB}}{E * A} + \frac{P * L_{BC}}{E * A} = 0$$

$$P * L_{AB} + P * L_{BC} = 0$$

$$((300kN + R_C) * 0.375) + (R_C * 0.375) = 0$$

$$R_C = 150kN$$

$$R_A = R_C$$

$$R_A = R_C = 150kN$$

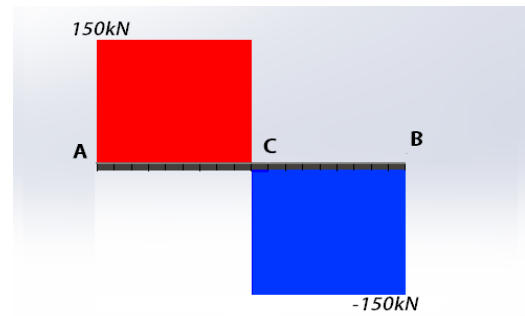


Diagrama de esfuerzos cortantes

$$V_{AC} = \frac{P}{2}; \quad V_{CB} = \frac{P}{2}$$

Momento flector

Se presenta al aplicar la carga axial de 300KN, el cual se obtiene mediante el diagrama de cuerpo libre (véase en la figura 30), debido a que se considera como una viga doblemente empotrada, al ser un sistema hiperestático es necesario hacer uso del método de superposición mediante el cual se obtienen las fórmulas de acuerdo con el sistema de carga puntual. (Budynas & Nisbett, 2008)

$$M_{AC} = 0; \text{ cuando } x = \frac{L}{4}; \quad y \quad x = \frac{3L}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = -|M_A| = -|M_B| = |M_C|$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{PL}{8}$$

$$M_{(x)} = \frac{300000 * 0.75}{8}$$

$$M_{max} = 28\,125 \text{ N/m}$$

Además, es necesario el área y el momento de inercia para obtener los esfuerzos y desplazamientos

$$A = A_p + A_c$$

$$A = 0.002227 \text{ m}^2$$

Cuando la sección es simétrica al eje x:

$$I_x = b * \frac{h^3}{12}$$

$$I_x = 4.73172^{-5} \text{ m}^4$$

Esfuerzo flector máximo

Se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$\sigma_1 = \frac{M * c}{I_x}$$

$$\sigma_1 = 46.36 \text{ MPa}$$

Después de verificar si las condiciones de diseño se cumplen en el análisis del cabezal central se debe obtener el factor de seguridad

$$N = \frac{S_y}{\sigma_1}$$

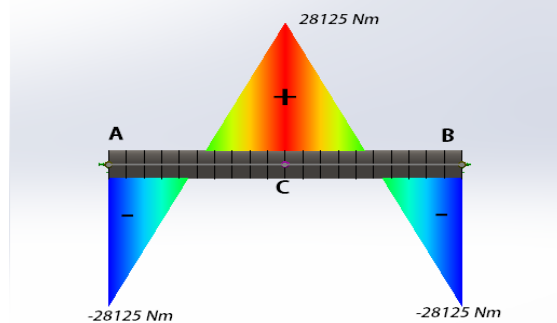
$$N = 5.39$$

$$N \approx 5$$

Para el análisis de la deflexión y flecha que presenta el cabezal debido a la carga transversal se lo realiza mediante las siguientes condiciones

Condiciones de borde

$$x = 0; y = 0$$



$$x = L; y = 0$$

$$x = \frac{L}{2}; \theta_1 = \theta_2$$

Ecuación de la elástica

$$EI = \frac{d^2y}{dx^2} M_{(x)}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M_{(x)}}{EI}$$

$$Y_A = \frac{P * x^2}{48EI} (4x - 3L) = \theta_A ; \text{para } x = \frac{L}{2}$$

$$\theta_A = 6.965^{-5}$$

Condiciones de flecha máxima

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{P * L^3}{192EI} = \delta ; \text{para } x = \frac{L}{2}$$

$$\delta = -2.786^{-4} \text{ mm ;}$$

Tabla 15. Resultados de comparación del esfuerzo máximo

Análisis	Calculado	Simulado	Porcentaje de error
Diseño uniforme viga compuesta	46362586 N/m ²	46362588 N/m ²	(4.313 ⁻⁶)

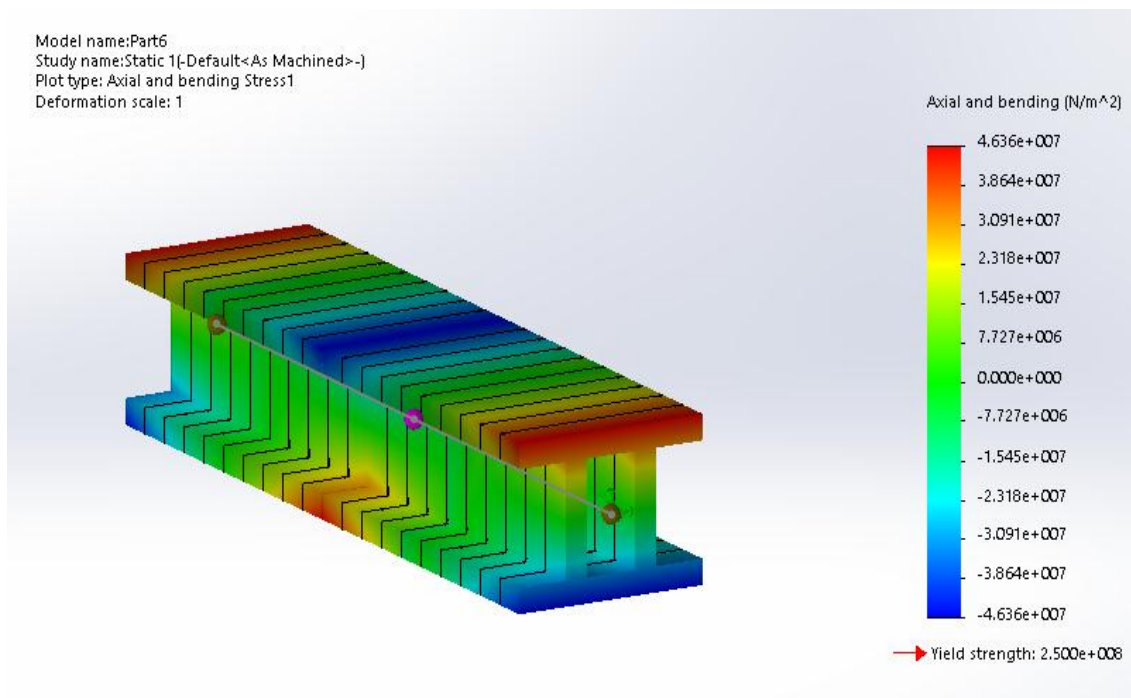


Figura 31. Análisis de comparación del esfuerzo máximo de una viga compuesta

De acuerdo con los datos en el modelo analítico y de simulación los resultados permiten visualizar que el porcentaje de error es lo suficientemente bajo (4.313^{-6} %), considerándose aceptable para realizar los estudio de elementos compuestos por uno o varios elementos mediante el uso del análisis de elementos finitos en SolidWorks.

3.5 Parámetros de simulación

Los parámetros de simulación más importantes que se presentan en el análisis de elementos finitos son las cargas externas, conexiones y ajustes, material y relación de elementos.

3.5.1 Cabezal superior

Las cargas externas que se presentan en el cabezal superior se transmiten a través de ejes lizos, los cuales se ubican en las cavidades circulares del cabezal superior, con un ajuste especificado agujero (H7), de acuerdo con la tabla de tolerancias *anexo 2*. La conexión desmontable que existe en el cabezal radica en la placa 8 véase en el plano *UTM30-CS-PL-08*, donde se debe acoplar el extensómetro y la mordaza para obtener los datos de las pruebas a realizarse, esta unión se realiza mediante el uso de pernos, con la finalidad de ofrecer un reemplazo inmediato en caso de presentar averías.

Como se puede observar en la *figura 32*, para desarrollar la simulación del ensayo de tracción se aplican las cargas externas directamente en los bocines distribuidas en 150 kN por elemento y el empotramiento o carga de fijación se ubica en la placa central.

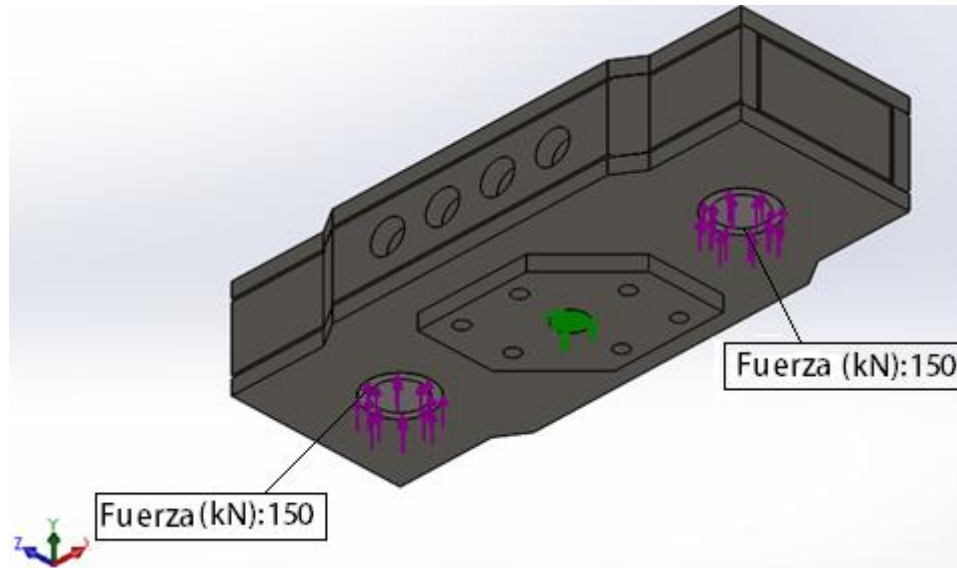


Figura 32. Cargas externas - Cabezal superior

El análisis de malla del cabezal superior es muy denso, *figura 33*, debido al diseño compuesto que este presenta y a la ubicación de las cargas. Los datos obtenidos al realizar el análisis de varias mallas como se muestra en la *tabla 16*, dan como resultado un esfuerzo máximo entre 189,4 y 189,5 MPa/m², con un error porcentual de 0,05, de acuerdo con las simulaciones realizadas.

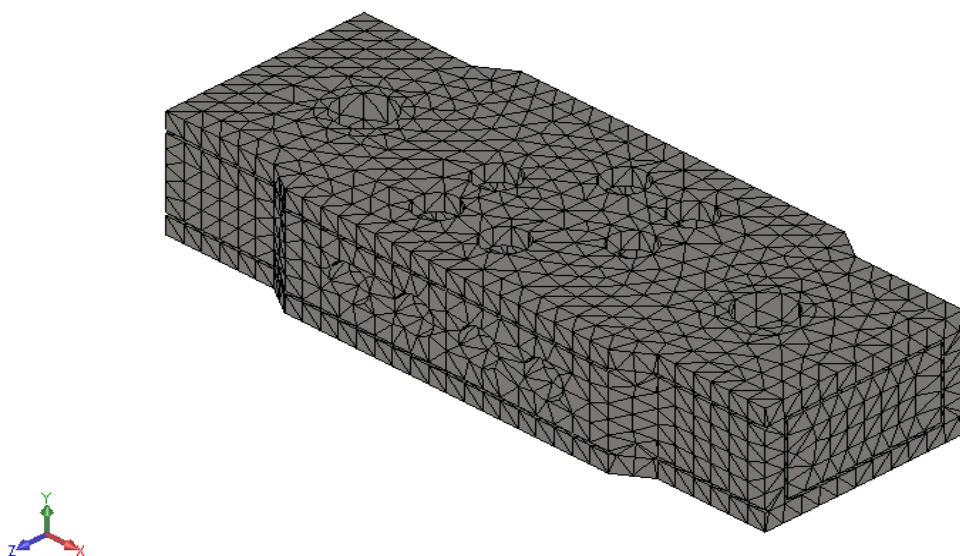


Figura 33. Análisis de mallado cabezal superior

Tabla 16. *Análisis de convergencia 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
9	96408	170,9	0,53
10	128021	193,1	12,99

3.5.2 Cabezal central

El diseño de este cabezal compuesto es menos robusto que los demás cabezales, presenta cavidades circulares más grandes donde se localizan las cargas de empotramiento o fijas, mediante el acople de manzanas; además se puede observar en la *figura 34* la placa cuadrada en la parte inferior del cabezal donde se sitúan las fuerzas axiales tanto de tracción para la placa superior como de compresión para la placa inferior.

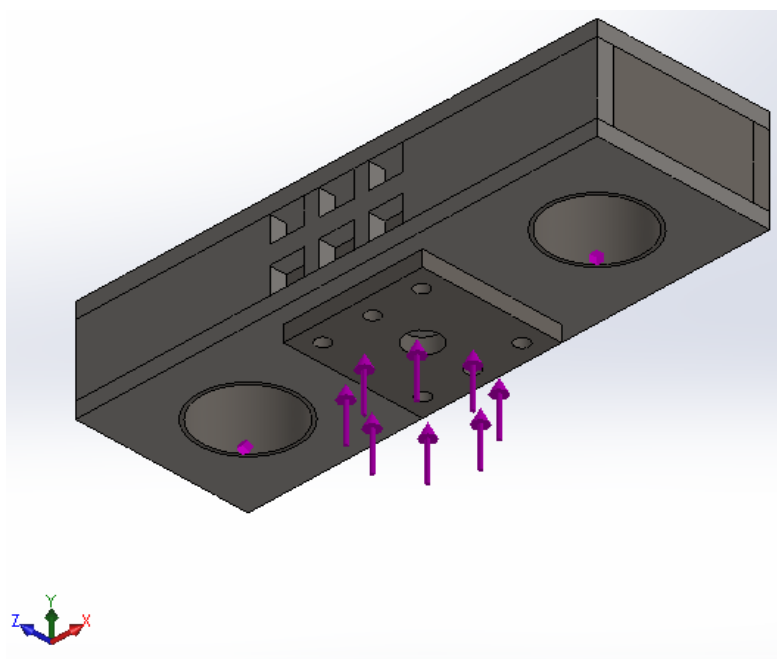


Figura 34. Cargas externas - Cabezal central

Debido a que presenta un número menor de elementos y secciones circulares, el diseño es más sencillo para la ejecución del análisis de malla, sin embargo, es necesario realizar varias simulaciones de mallado para lograr obtener un resultado óptimo. En la *tabla 17*, se puede observar que el esfuerzo máximo que se presenta con menor error de correlación se encuentra entre 146,82 y 146,85 MPa/m², ante las diferentes mallas realizadas.

Tabla 17. *Análisis de convergencia del cabezal central - Tracción*

Malla	Número de elementos	Esfuerzo máximo MPa	Porcentaje de error %
1	25806	146,5	
2	28173	146,8	0,19
3	30706	146,8	0,03
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

Las pruebas que se realizan para obtener los resultados de las mallas permiten conseguir diferentes parámetros que muestra las condiciones, y la calidad de la simulación mediante los esfuerzos y número de elementos obtenidos

Model name: Compression
 Study name: Static 2 (-Default-)
 Mesh type: Solid Mesh

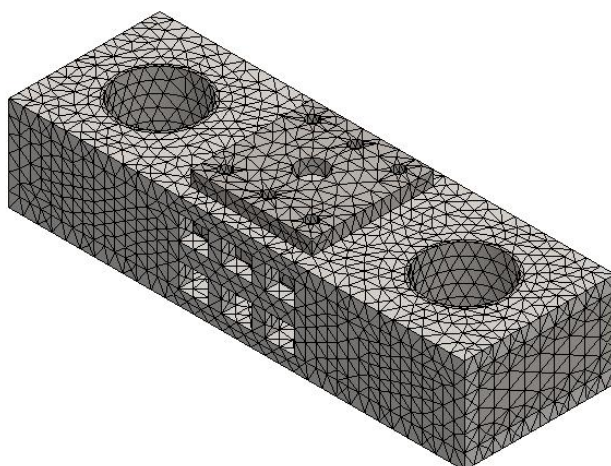


Figura 35. Análisis de mallado cabezal central

Tabla 18. Análisis de convergencia del cabezal central - Compresión

Malla	Número de elementos	Esfuerzo máximo MPa	Porcentaje de error %
1	14357	124,6	0,80
2	15167	127,8	2,57
3	16358	136,8	7,04
4	18291	134,3	1,83
5	18255	127,1	5,36
6	20820	127,5	0,31
7	23874	132,1	3,61
8	25806	137,9	4,39
9	28173	146,6	6,31
10	30706	150,4	2,59

Para el ensayo de compresión se realizaron simulaciones con diferente número de elementos, mediante las cuales se obtuvieron los datos que se representan en la *tabla 18*, presentando un porcentaje de error del 0.31% entre los valores del esfuerzo máximo que presenta el cabezal central de 127,4y 127,1 MPa/m²

3.5.3 Cabezal inferior

La aplicación de la carga externa principal se transfiere del pistón del cilindro directamente hacia el acople que presenta el cabezal en la parte inferior del diseño, esta carga se transmite axialmente hacia las mordazas y por ende 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 (véase en la *figura 36*).

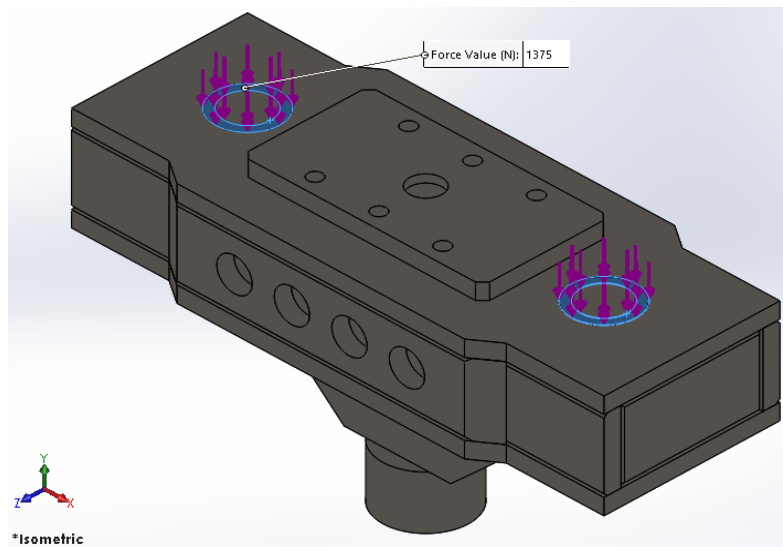


Figura 36. Cargas externas – Cabezal Inferior

El análisis presenta un mallado triangular ya que el cabezal tiene un diseño compuesto en el cual se puede observar un rango de longitudes extenso. Por lo tanto, es necesario un control de malla de alta calidad para obtener estabilidad y mayor exactitud de los resultados.

Los resultados que presenta el cabezal inferior mediante las simulaciones muestra un porcentaje de error 0.1%, a partir de un número de elementos y el esfuerzo sin efectuarse cambio alguno, por esta razón se selecciona el primer resultado cercano a una variación de error mínima que se presenta entre los valores de esfuerzo máximo 148,5 y 148,6 MPa/m², datos que se pueden observar en la siguiente *tabla 19*.

Tabla 19. *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	69391	148,5	0,10
8	81779	146,4	1,41

9	106146	151,9	3,82
10	139608	169,8	11,77

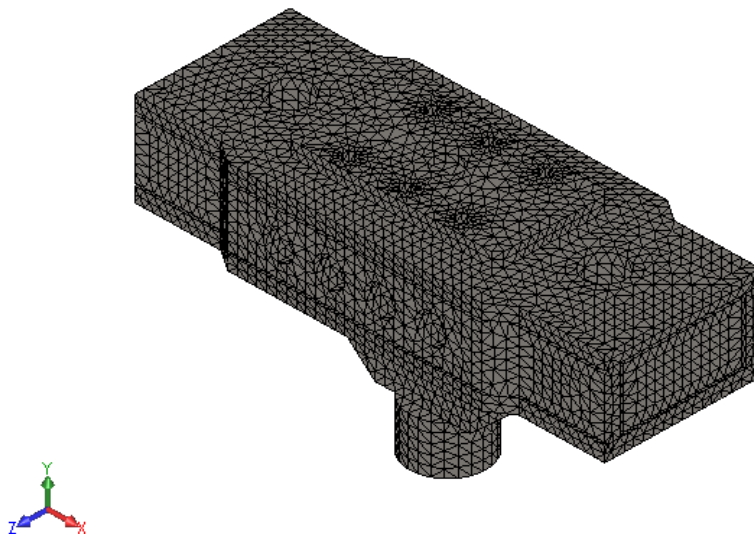


Figura 37. Análisis de mallado cabezal inferior

3.6 Simulación del sistema estático como conjunto - Ensayo de tracción

En la simulación del ensayo de tracción se analiza directamente el comportamiento del marco móvil debido a la aplicación de carga, esta carga se transfiere del cilindro hidráulico hacia el cabezal inferior y por ende hacia los ejes fijos, presentándose el mayor punto crítico de los módulos de carga en el cabezal superior.

3.6.1 Cabezal superior

Esfuerzo Máximo

El estudio presenta un esfuerzo máximo de 180MPa, el cual se presenta en la placa portadora de las mordazas como se aprecia en la *figura 38*, el módulo de carga como se lo menciona anteriormente es el que presenta el mayor esfuerzo debido a que la carga aplicada que se transfiere hacia este es mediante los ejes lisos en los extremos del cabezal.

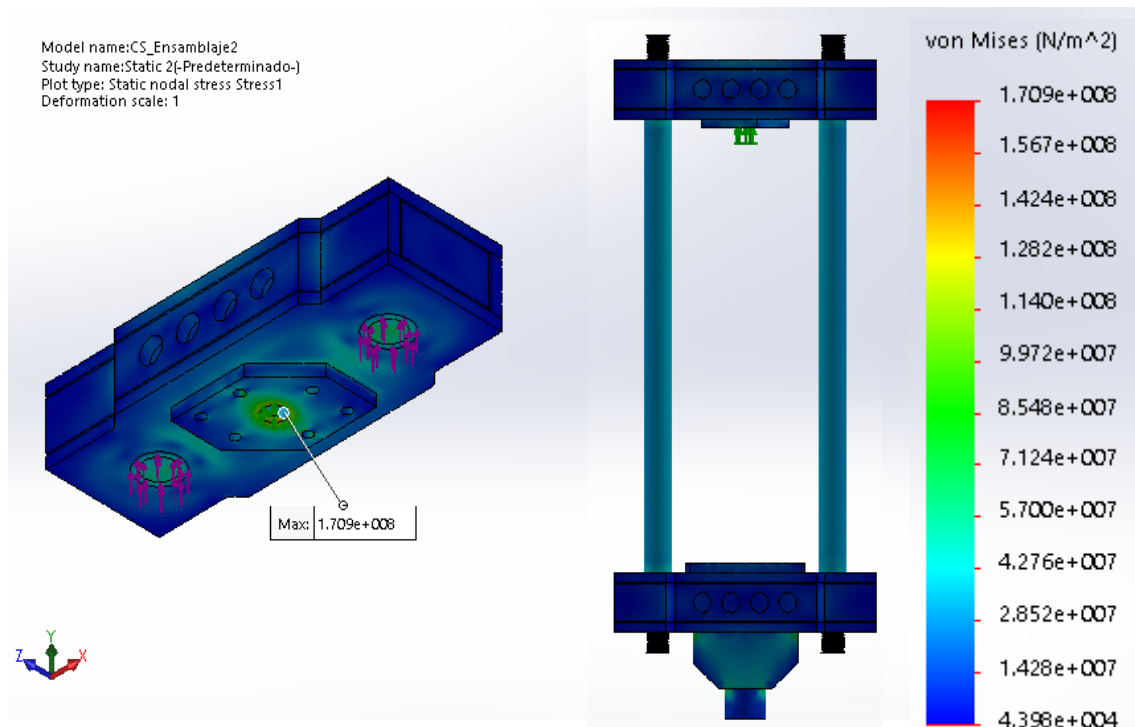


Figura 38. Esfuerzo máximo en el ensayo de tracción - Cabezal superior

Desplazamiento

El análisis principal para el diseño de los cabezales se basa en el desplazamiento que estos presentan ante la carga externa. En este tipo de ensayo la carga de 300 kN se transmite directamente hacia el cabezal inferior, el cual transfiere a los ejes lisos y hacia el cabezal superior al que se encuentra ensamblado. En el análisis se puede visualizar las condiciones del diseño de los cabezales, que permiten que la deflexión disminuya, como se muestra en la *figura 39*, mediante las simulaciones realizadas a los cabezales de manera individual y en conjunto.

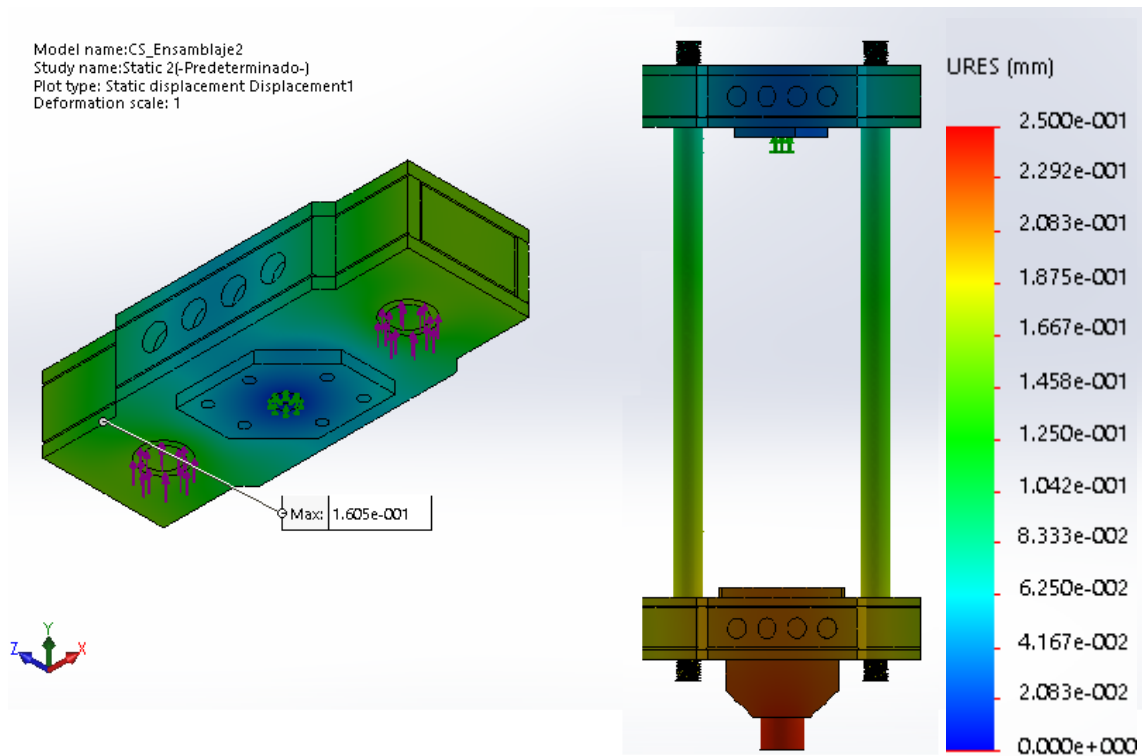


Figura 39. Desplazamiento en el ensayo de tracción - Cabezal superior

El desplazamiento mayoritario de 0.1605mm ocurre en el cabezal inferior donde se transmite la carga directamente, esto se debe a la carga externa del cilindro hidráulico y a la carga muerta del sistema o de la máquina en sí.

Estas fuerzas representan mayor esfuerzo y desplazamiento, sin embargo, en el marco de ensayo se necesita de una deflexión en los cabezales central y superior no mayor a 0.251mm .

Factor de Seguridad

El factor de seguridad tomado mediante el estudio realizado es de $FS=4$, debido al tipo de cargas que se presenta en el sistema que se caracterizan por ser cargas de golpe suaves, y en una sola dirección., además, también se debe al material usado para la construcción (acero ASTM36, AISI 4130). Pese a representar cargas con velocidades relativamente bajas existe la necesidad de tomar este factor de seguridad, a fin de mantener un modelo conservador ante la ejecución de los ensayos y la alta capacidad para la que se encuentra diseñada la máquina. En la *figura 40* se muestra el rango de valores que presenta en el cabezal y el marco del ensayo.

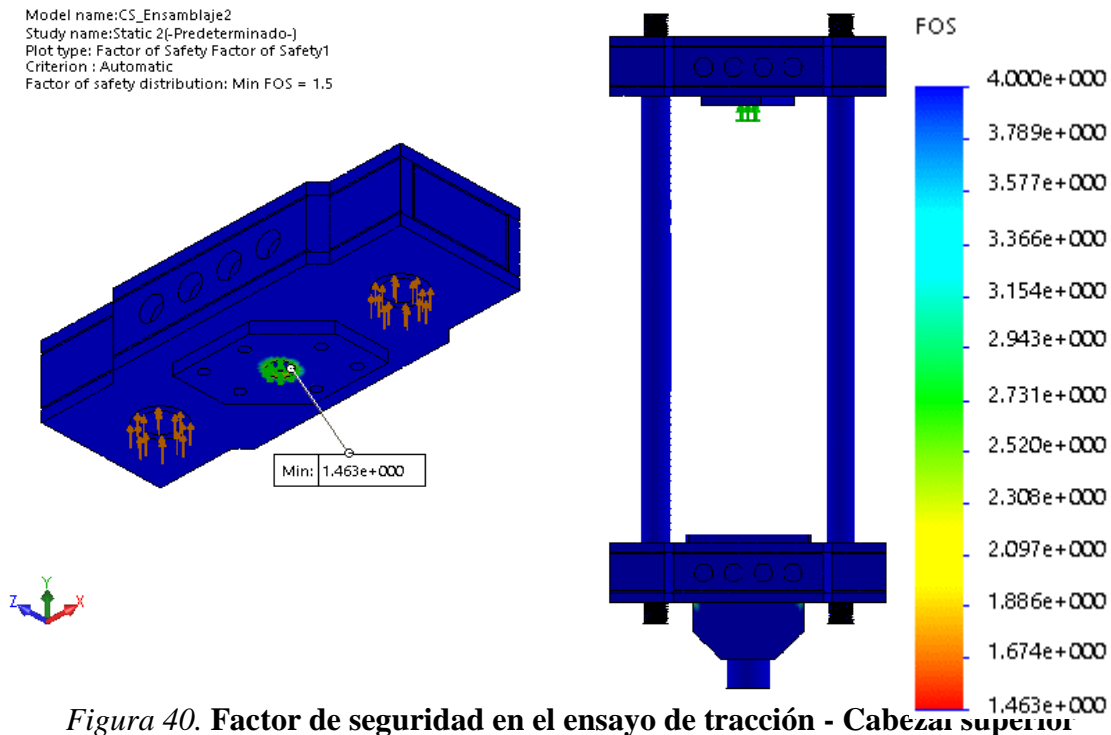


Figura 40. Factor de seguridad en el ensayo de tracción - Cabezal superior

3.6.2 Cabezal central

Esfuerzo máximo

El cabezal central es el módulo de carga que realiza doble función debido a que participa en la realización de los tres tipos de ensayos. Debido a la ubicación de la carga y las fijaciones de mayor diámetro permite una deformación similar a la que presenta el cabezal inferior, además de presentar un diseño más simple y uniforme que los cabezales superior e inferior.

El diseño del sistema móvil que se acopla al cabezal central consiste en los elementos cilíndricos que se muestran en la *figura 41*, de la derecha denominadas manzanas, que presentan un ajuste H7 agujero necesario para evitar juego entre los sistemas. Las manzanas del sistema móvil se presentan como anclas para la ejecución de los ensayos de tracción, compresión y flexión, además aporta un sistema de desplazamiento para el posicionamiento de las mordazas y sujeción de probetas mediante el movimiento de los tornillos de potencia.

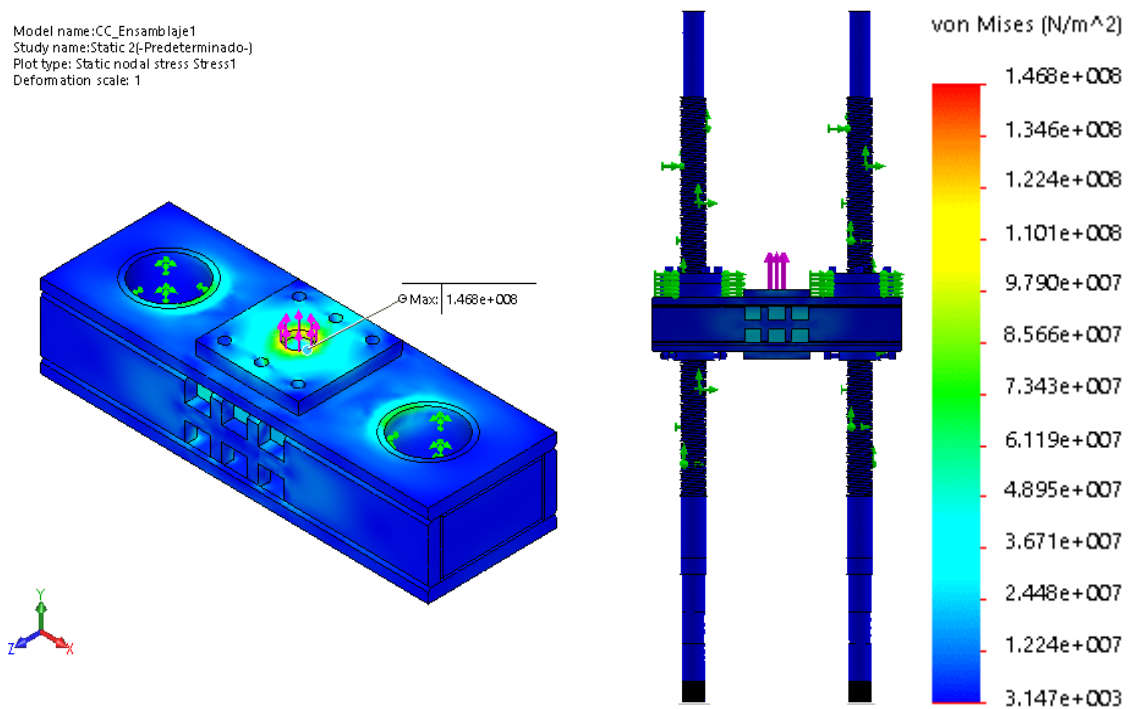


Figura 41. Esfuerzo máximo en el ensayo de tracción - Cabezal central

Desplazamiento

El estudio representa un desplazamiento mayoritario en la parte central del cabezal debido a que en el ensayo de tracción, la fuerza axial se ejerce sobre la placa donde se insertan las mordazas, esta placa se sujeta al cabezal mediante tornillos o elementos roscados para mayor fijación, la placa puede desmontarse y reemplazarse en caso de ser necesario.

Model name:CC_Ensamblaje1
Study name:Static 2(-Predeterminado-)
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 1

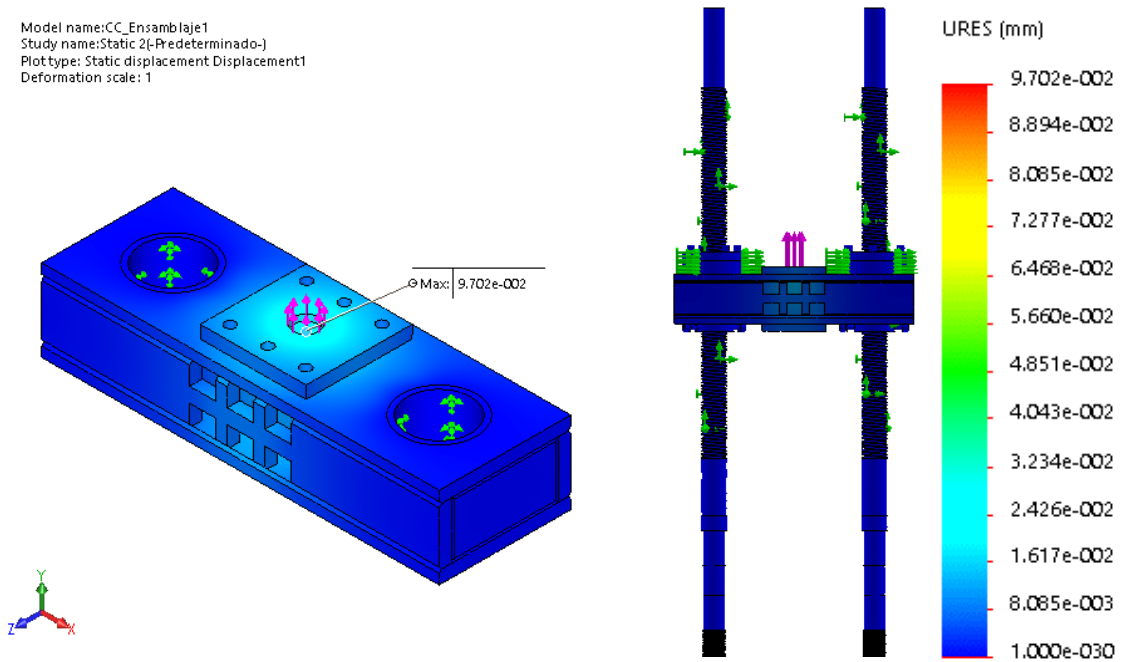


Figura 42. Desplazamiento en el ensayo de tracción - Cabezal central

Debido a las cavidades rectangulares ubicadas en la parte frontal del cabezal (*figura 42*) para el montaje de la placa central, el diseño presenta menor rigidez en la parte lateral del cabezal y mantiene un desplazamiento aceptable.

Las manzanas y los tornillos de potencia roscados que se ensamblan directamente a los bocines del módulo de carga exhiben una zona más amplia como anclajes, permitiendo mayor rigidez en la parte lateral derecha e izquierda y al mismo tiempo reduciendo la flecha permisible a un valor de $0.07mm$.

Factor de Seguridad

El factor de seguridad que se presenta en el cabeza central de acuerdo con ensayo de tracción que se analiza, depende de la aplicación de las cargas externas ya 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 como se puede apreciar a la izquierda de la *figura 43*, la placa del cabezal central.

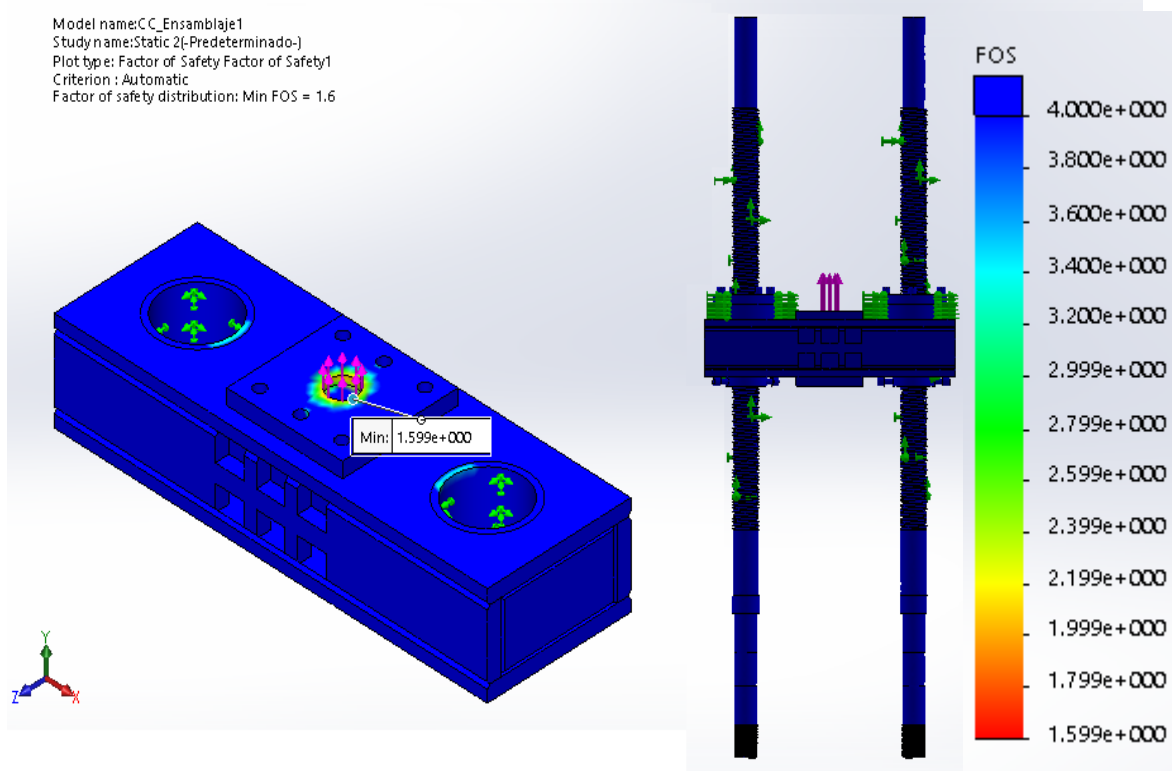


Figura 43. Factor de seguridad en el ensayo de tracción - Cabezal central

3.7 Simulación del sistema estático como conjunto - Ensayo de compresión

En el proceso de simulación del ensayo de compresión es necesario analizar el ensamblaje de trabajo, en este caso el marco entre el cabezal superior, inferior y los ejes lisos que mediante la aplicación de carga del cilindro hidráulico se transferirá la carga hacia los cabezales.

3.7.1 Cabezal inferior

Esfuerzo máximo

El estudio presenta un esfuerzo máximo de $148,5\text{MPa}$, el cual se presenta en la placa donde se insertarán las mordazas como se aprecia en la figura 44, a pesar de ser un resultado conservador, el lugar donde se existe mayor deformación el diseño presenta una placa desmontable la cual puede reemplazarse en caso de presentar falla o fractura.

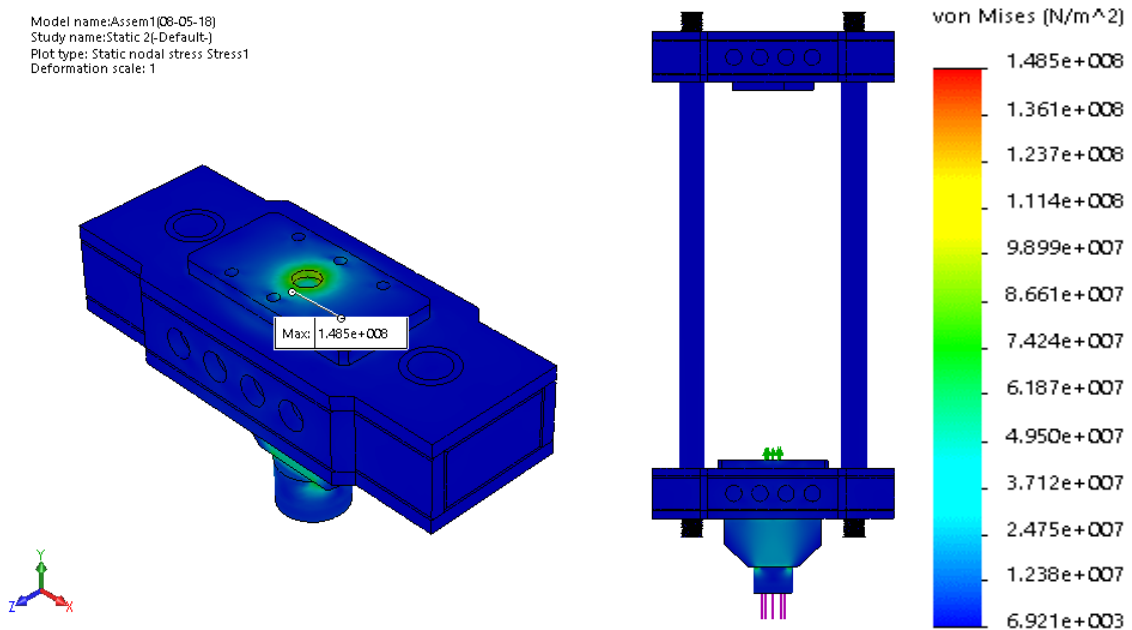


Figura 44. Esfuerzo máximo en el ensayo de compresión - Cabezal inferior

Desplazamiento

La deflexión que presenta el cabezal inferior se mantiene en el rango establecido como se muestra en la *figura 45*, donde el desplazamiento máximo para cada ensayo es de *0.0905mm* en el acople del cilindro hidráulico en la parte inferior del cabezal.

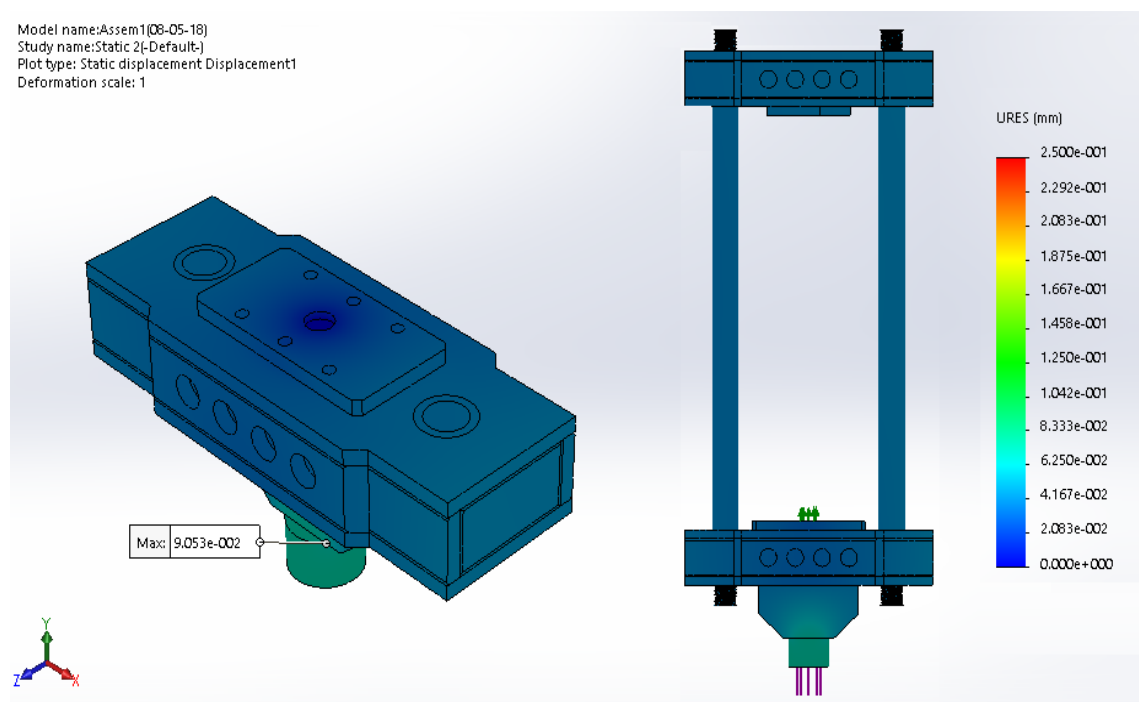


Figura 45. Desplazamiento en el ensayo de compresión - Cabezal inferior

Factor de seguridad

En la *figura 46* el factor de seguridad es conservador en cuanto al marco del ensayo de compresión, sin embargo, existe una depreciación considerable en el punto crítico del diseño de *1.814* presentándose en la placa portadora de las mordazas.

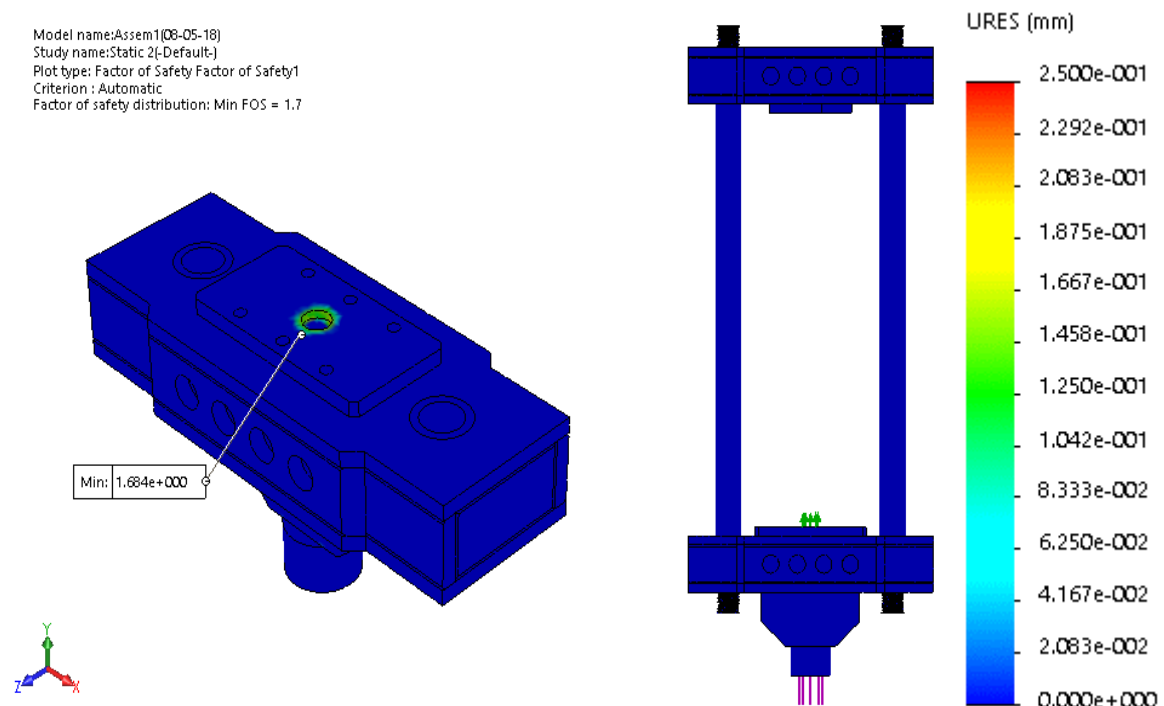


Figura 46. Factor de seguridad en el ensayo de compresión - Cabezal inferior

3.7.2 Cabezal central

Esfuerzo máximo

En la *figura 47* se observa el valor máximo del esfuerzo analizado de von Mises que presenta el cabezal central con respecto al límite de fluencia del material $S_y=250MN$, es suficientemente adecuado, Presenta una valor de $127,5MPa$, el cual permitirá que no presente fallas con respecto a la capacidad de la máquina.

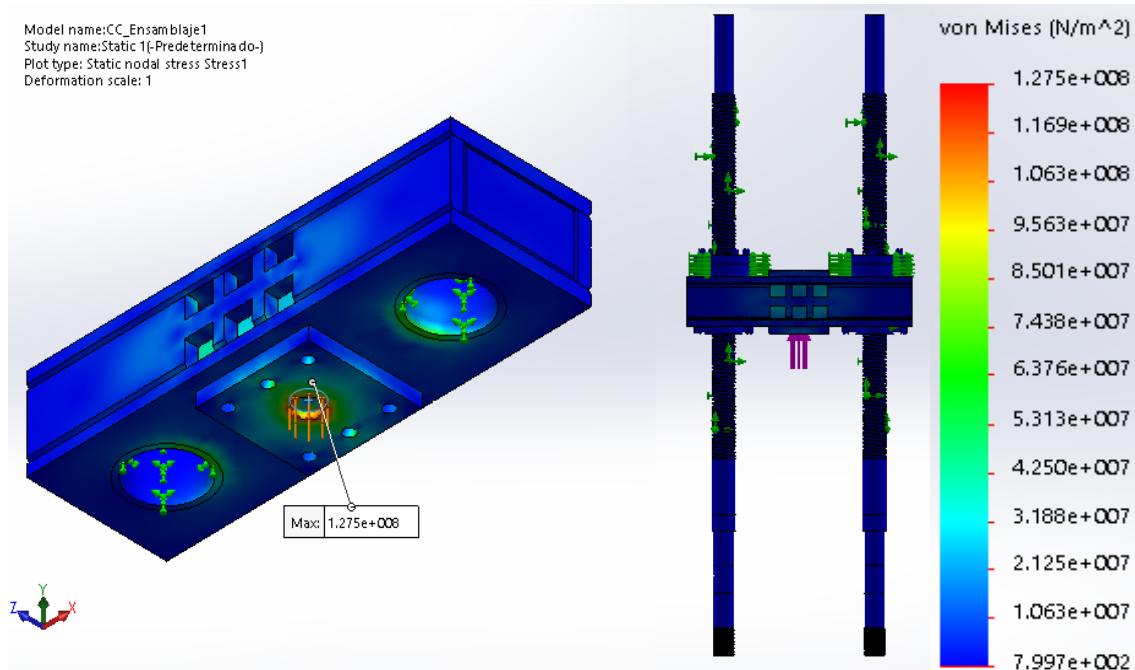


Figura 47. Esfuerzo máximo en el ensayo de compresión - Cabezal central

Desplazamiento

De acuerdo con el diseño que presenta el cabezal central en la *figura 48*, y a los elementos que se acoplan al mismo, como las manzanas y los tornillos de potencia para ofrecer el anclaje o desplazamiento necesario, permite que el desplazamiento o flecha que muestra el cabezal sea despreciable ante el porcentaje de deflexión que se necesita para la ejecución de los ensayos.

Factor de seguridad

De acuerdo con las condiciones de carga para la simulación realizada en el ensayo de compresión, el modelo de la *figura 49* presenta un factor de seguridad óptimo en el marco central, a pesar de ser un diseño más simple ante los cabezales superior e inferior.

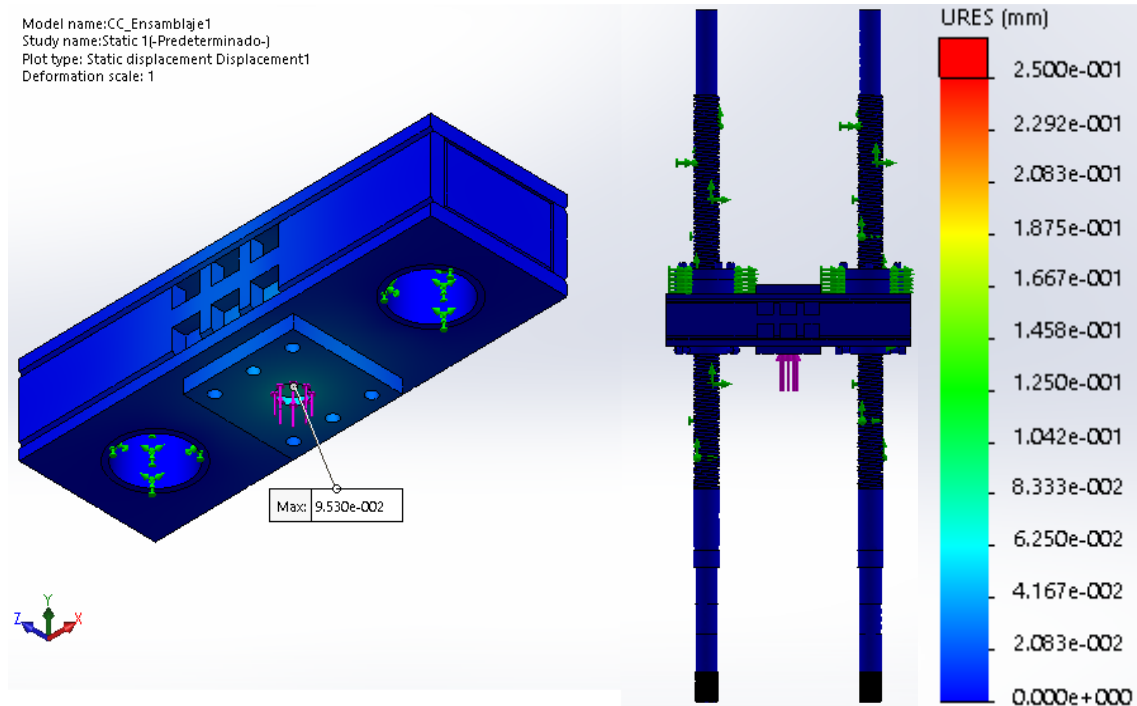


Figura 48. Desplazamiento en el ensayo de compresión - Cabezal central

El material del cual se encuentra simulado cumple con las condiciones necesarias para el análisis, sin embargo, es necesario verificar el material de la mordaza que vaya a emplearse ya que en el ensayo de compresión se emplea una carga de $300kN$ axial y directamente a la probeta y por ende a la mordaza, que deberá servir como anclaje.

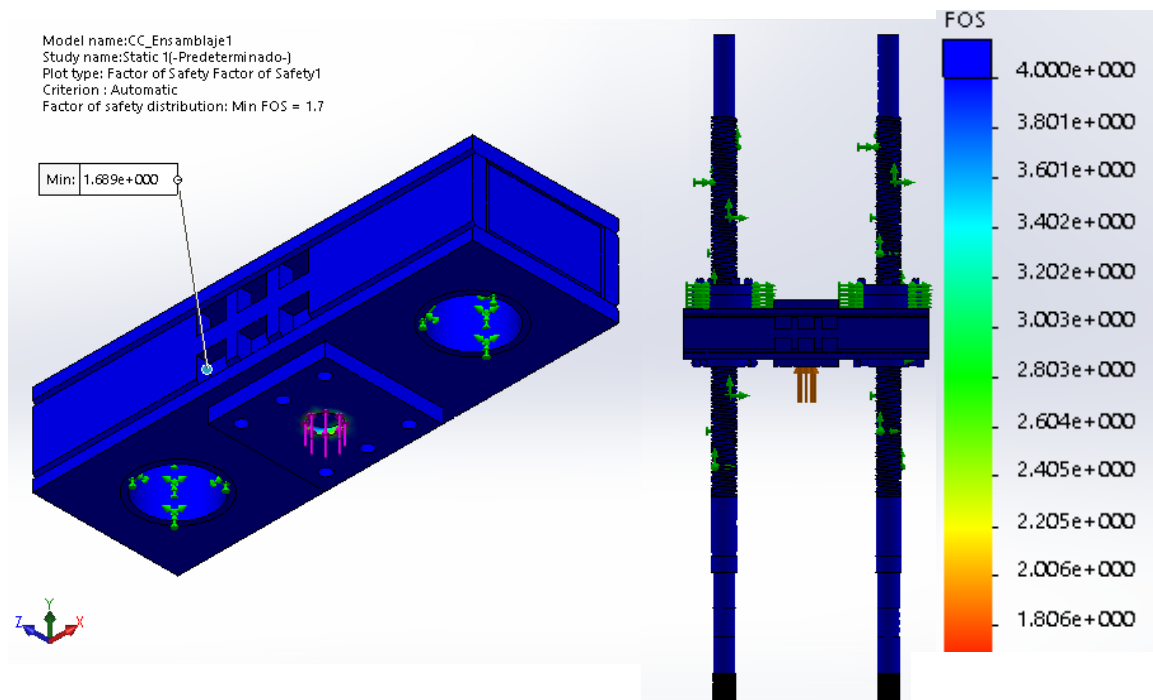


Figura 49. Factor de seguridad en el ensayo de compresión - C

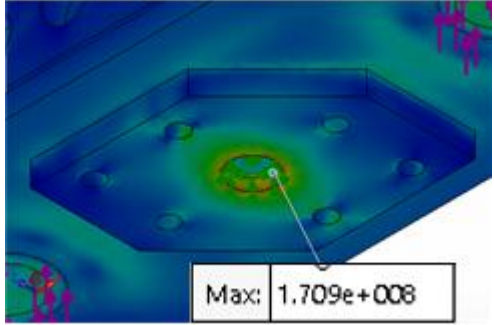
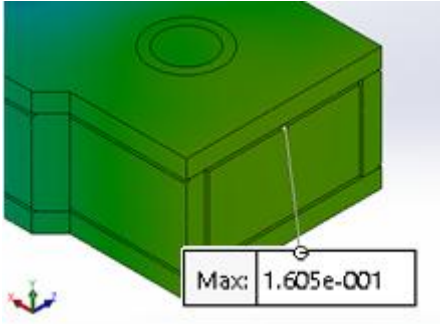
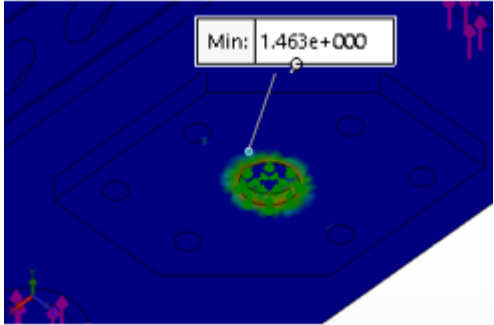
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y CONSTRUCCIÓN

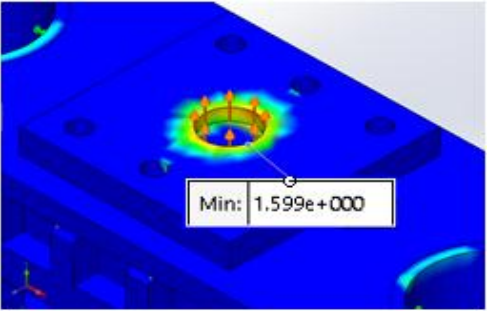
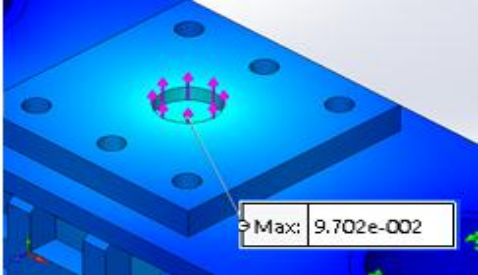
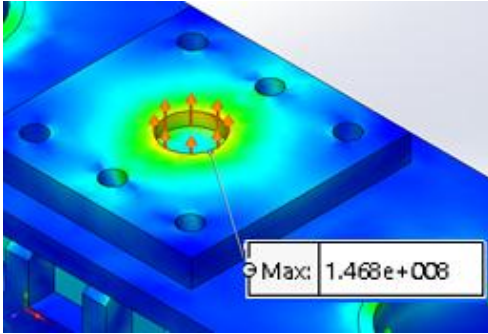
4.1 Resultados

De acuerdo con los ensayos que presenta la máquina universal UTM30, los cabezales exhiben cierto comportamiento ante la aplicación de las cargas externas, a fin de obtener el mejor diseño posible, los resultados obtenidos se ajustan a las especificaciones necesarias de una maquina universal serie Instron.

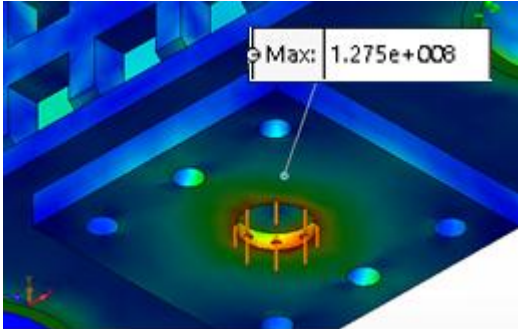
4.1.1 Resultados - cabezal superior

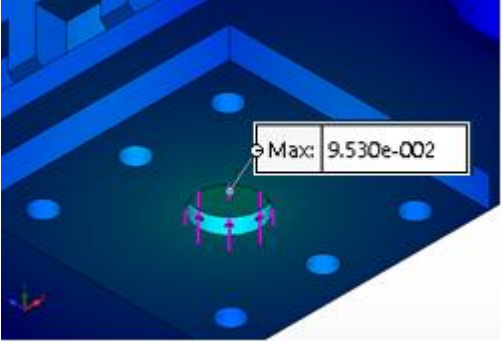
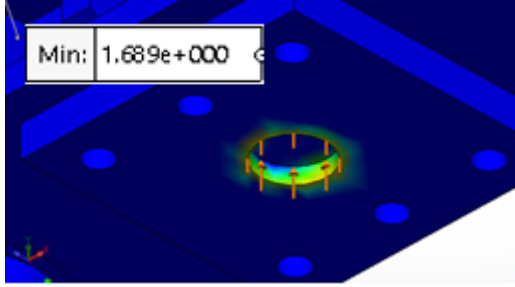
<p style="text-align: center;">Esfuerzo máximo</p> <p>El esfuerzo que presenta es de 170.9 MPa siendo así el cabezal que presenta mayor esfuerzo, sin embargo, es aceptable ante el límite a la fluencia del acero $S_y=250 \text{ MPa}$</p>	 <p>Max: 1.709e+008</p>
<p style="text-align: center;">Desplazamiento</p> <p>El desplazamiento se muestra en las partes laterales del cabezal es de 0.1605 mm, a pesar de ser la mayor deflexión que se presenta en los cabezales sigue siendo aceptable el resultado.</p>	 <p>Max: 1.605e-001</p>
<p style="text-align: center;">Factor de Seguridad</p> <p>Presenta un factor de seguridad de 1.463 en la placa donde se insertarán las mordazas, al igual que en el cabezal central debido a las condiciones de cargas que se presentan en el ensayo de tracción.</p>	 <p>Min: 1.463e+000</p>

4.1.2 Resultados parte 1 - cabezal central

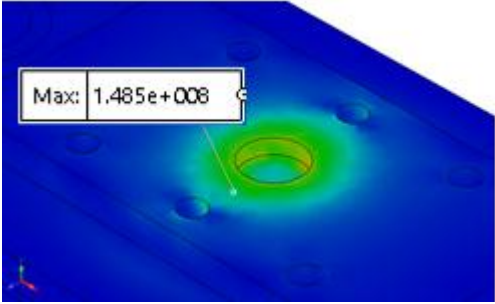
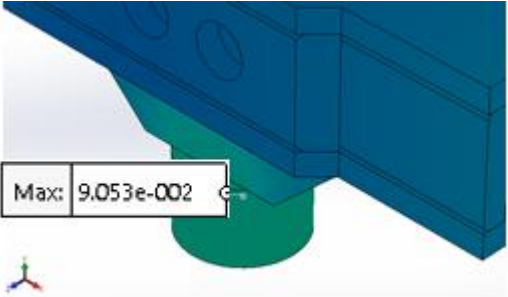
<p style="text-align: center;">Esfuerzo máximo</p> <p>El resultado que esta vez presenta el cabezal central es de $159,9MPa$ debido al ensayo que se realiza, sin embargo, el resultado es aceptable con respecto al límite de fluencia de $S_y=250MPa$</p>	 <p>Min: 1.599e+000</p>
<p style="text-align: center;">Desplazamiento</p> <p>El resultado de la flecha máxima o deflexión del cabezal en el ensayo de tracción es de $0.097mm$ el cual aún se mantiene en el rango dado.</p>	 <p>Max: 9.702e-002</p>
<p style="text-align: center;">Factor de Seguridad</p> <p>El cabezal presenta el más bajo $FS=1.468$ en la superficie de la cavidad circular de la placa, debido a este factor es necesario un ajuste considerable entre la placa y mordaza que permita un menor esfuerzo.</p>	 <p>Max: 1.468e+000</p>

4.1.3 Resultados parte 2 - cabezal central

<p style="text-align: center;">Esfuerzo máximo</p> <p>Se presenta un esfuerzo de Von Mises de $1.275MPa$ ante un límite de fluencia del material de la placa de $250MPa$, presentando suficiente resistencia hacia la carga aplicada.</p>	 <p>Max: 1.275e+000</p>
--	---

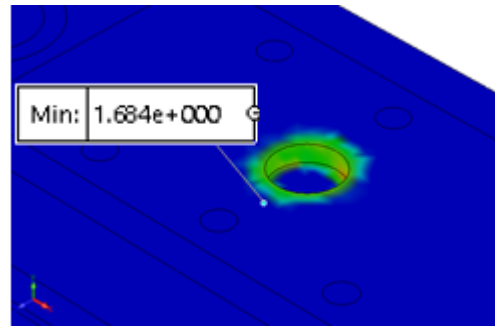
<p style="text-align: center;">Desplazamiento</p> <p>En el rango de desplazamiento que debe presenta el cabezal es ideal debido al resultado de $0.0953mm$ que se presenta en la mordaza, mientras que en la placa presenta $2.56e^{-7}mm$.</p>	
<p style="text-align: center;">Factor de Seguridad</p> <p>Debido a las condiciones de carga el cabezal central presenta un factor de seguridad de 1.689 en la placa desmontable con respecto al que se presenta en el resto del cabezal de FS=4.</p>	

4.1.4 Resultados - cabezal inferior

<p style="text-align: center;">Esfuerzo máximo</p> <p>El resultado que se observa en la placa desmontable presenta un esfuerzo de $148,5MN$ con respecto al esfuerzo del material de la placa de $250MPa$, ante una carga aplicada de $300kN$.</p>	
<p style="text-align: center;">Desplazamiento</p> <p>El desplazamiento que se presenta es de $0.0905 mm$ en el cilindro de la parte inferior del cabezal, logrando el porcentaje de deflexión adecuada ante la carga dada</p>	

Factor de Seguridad

Presenta un factor de 1.684 en la placa de la mordaza, sin embargo, si el análisis se realiza con la mordaza comercial ubicada, el factor de seguridad presenta una mayor estabilidad en la placa sin presentar fallas.



4.2 Construcción

Luego de realizar el diseño y simulación con la aplicación de la carga del sistema hidráulico y elementos del sistema móvil en los distintos ensayos, en el presente capítulo se describe el proceso de manufactura que se realiza para llevar a cabo la construcción de cada de los cabezales.

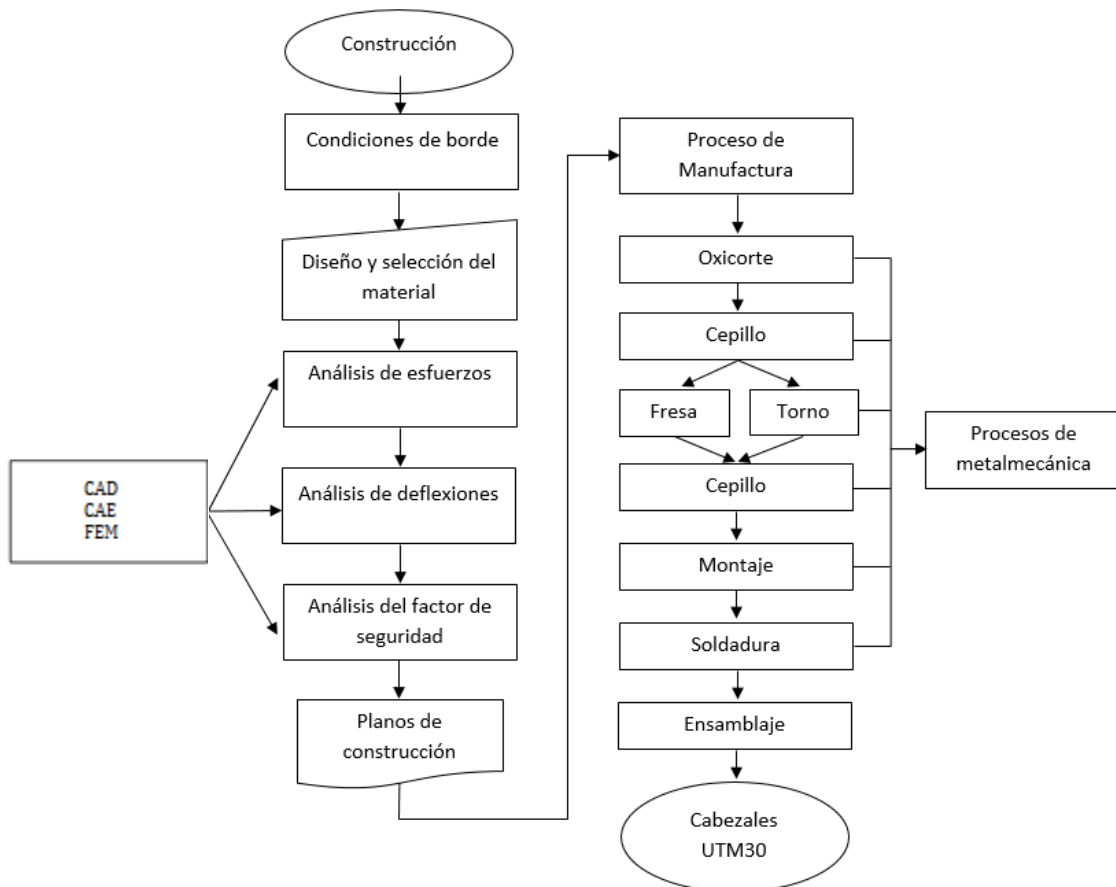


Figura 50. Diagrama de flujo del proceso de construcción

4.2.1 Procesos de manufactura

Para obtener el modelo final de los cabezales, mediante la obtención de la materia prima (Acero ASTM 36, AISI 4130), se procede a realizar diferentes procesos de manufactura para conseguir las piezas necesarias para el montaje y construcción de los cabezales, la mayoría de las piezas presentan procesos comunes por ser elementos rectangulares y cilindricos como se puede apreciar en el diseño obtenido.

4.2.1.1 Oxicorte

Es el proceso primario que se realiza a cada una de las piezas de los diferentes cabezales mediante un pantógrafo con funcionamiento manual y seguidor de plantilla, mediante la presentación de planos de corte, el material, la disponibilidad y el costo. En la *tabla 20*, se puede ver los parámetros principales para la ejecución de este tipo de corte.

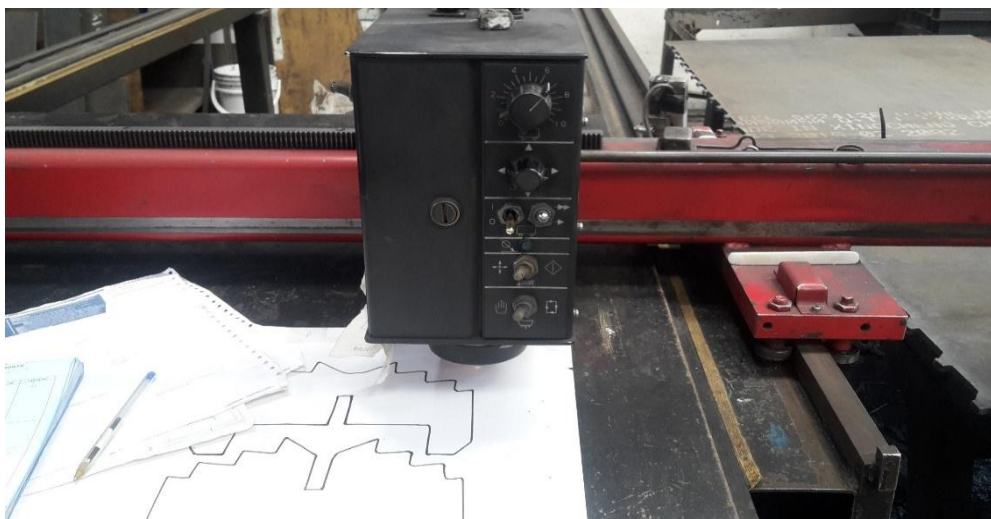


Figura 51. Pantógrafo óptico industrial - SILHOUETTE 500

Tabla 20. *Valores recomendados para oxicorte*

Características para el proceso de oxicorte					
Espesor (mm)	Diámetro de la boquilla (mm)	Presión del O₂ (bar)	Velocidad de corte recta/curva (mm/min)	Tipo de soplete	
20	1	2,5	190	SIMPLE	
25	1,5	2,5	170	SIMPLE	
30	1,5	2,5	160	SIMPLE	
40	2	3	140	SIMPLE	

Fuente: (ESAN S.A., 2002)

4.2.1.2 Cepilladura

Después de realizar la fase de corte de las placas se realizó el proceso de cepilladura para rectificar las medidas, logrando así obtener las piezas de acuerdo con los planos de construcción establecidos. En la *tabla 21*, se puede apreciar ciertos parámetros para realizar este tipo de proceso.



Figura 52. Cepillo limador Sacia para metales

Tabla 21. *Velocidades de corte y avance en el cepillado*

Características para el proceso de cepillo o limadora			
Material a trabajar	Material de la herramienta	Velocidad de corte (m/min)	Avance en (mm)
Acero de construcción	Acero al carbono	6 a 12	0,1 a 8
	Acero rápido	10 a 30	0,2 a 12
Acero moldeado	Acero al carbono	5 a 10	0,1 a 8
	Acero rápido	10 a 25	0,2 a 12

Fuente: (Guillermo, 2016)

4.2.1.3 Fresa

Debido a que las piezas a maquinarse son externamente rectangulares el desbastado circular se realiza con este tipo de herramienta, siendo así, el proceso que ocupó mayor precisión y tiempo en la manufactura de las distintas piezas. La hoja de proceso de este proceso se puede observar en la *tabla 22*.



Figura 53. Fresadora

Tabla 22. *Valores recomendados para el proceso de acabado y desgaste*

Hoja de proceso fresa					
Material a trabajar	Pieza	Herramienta de corte	Velocidad de corte (m/min)		Velocidad de avance (mm/min)
			Desbaste	Acabado	
ASTM A36	Perforación en placas	Cuchilla de acero rápido (HSS)	20-24	30-36	60

Fuente: (IBCA S.A., 2016)

4.2.1.4 Torno

El torno es una máquina herramienta que se encarga del proceso de manufactura de piezas cilíndricas con gran precisión, en este caso se realizó el desbastado y rectificado de los bocines de cada uno de los cabezales los cuales se ensamblan con los ejes del sistema móvil, a fin de presentar las medidas y tolerancias exigida en los planos.

Tabla 23. *Herramienta de corte para proceso de cilindrado*

Hoja de proceso torno					
Herramienta de corte	Fase	Material a trabajar	Velocidad de corte (m/min)		Velocidad de avance (mm/rev)
			Desbaste	Acabado	
Cuchilla de widia (Carburo de tungsteno)	Cilindrado	AISI 4140	22	30	0.4

Fuente: (DeMáquinasyHerramientas, 2014)



Figura 54. Torno

4.2.1.5 Acabado de las piezas

El acabado final de las piezas consistió en realizar un biselado o chaflanado mediante el uso del cepillo mencionado anteriormente, para lograr el proceso de soldadura permitiendo realizar el montaje y de cada uno de los elementos de los diferentes cabezales



Figura 55. Acabado de las piezas del cabezal inferior

4.2.1.6 Soldadura

Mediante el uso de los planos y al verificar mediante el montaje las dimensiones de cada una de las piezas se continuó con el proceso de soldadura. El proceso de soldadura que se emplea es el MIG/MAG, alambre E 71T-1C. Mediante el cual se realiza el

ensamblaje, además de exigir pruebas de soldadura mediante el método de tintas penetrantes dando como resultado un proceso de buena calidad.

Los tipos de unión que se presentan en el ensamble de los cabezales se establecen de acuerdo con la posición de las placas y facilidad de operación de soldadura.

- Unión a Tope
- Unión en T
- Unión por solapado

Mientras que el tamaño de la soldadura y su geometría radican en triángulos rectángulos de catetos iguales, la dimensión del cateto del cordón es del tamaño de la soldadura como se visualiza en la siguiente *figura 56*. (Budynas & Nisbett, 2008)

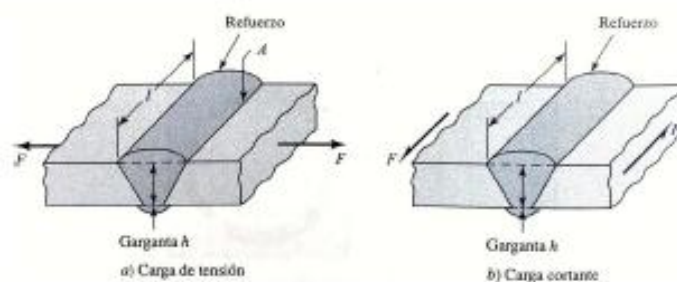


Figura 56. Soldadura de cordón

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)



Figura 57. Proceso de soldadura - Cabezal Central

4.2.1.7 Ensayos no destructivos

Tintas Penetrantes

El uso de tintas penetrante (TP), se basa en un método sencillo en el que se puede detectar si el proceso de soldadura presenta imperfecciones mediante la aplicación de líquidos. Este tipo de ensayo consiste en realizar los siguientes pasos, a fin de localizar las fallas existentes la soldadura de la pieza o máquina, y puedan repararse de inmediato.

- Limpieza del área
- Aplicar un líquido humectante (efecto de capilaridad)
- Secar la superficie a ensayar (tiempo de penetración)
- Aplicar el revelador (muestra las áreas discontinuas)
- Inspección de estado de la soldadura
- Limpieza del área o pieza

Esta prueba ofrece ciertas características con respecto a otros tipos de ensayos no destructivos, ya que fácil de emplear, no se limita a cierto tipo de materiales, bajo en costos, puede realizarse en grandes tamaños de muestras y ofrece resultados inmediatos. En la *figura 58* se puede apreciar al cabezal expuesto al proceso de tintas penetrantes y se puede visualizar la calidad de soldadura que este presenta.



Figura 58. Proceso de soldadura - Cabezal Central

4.2.1.8 Montaje y ensamblaje

Una vez manufacturadas todas las piezas de acuerdo con los planos de construcción se procede a realizar un montaje de todos los elementos del cabezal para verificar si no existe sobre dimensionamiento de alguna de estas.

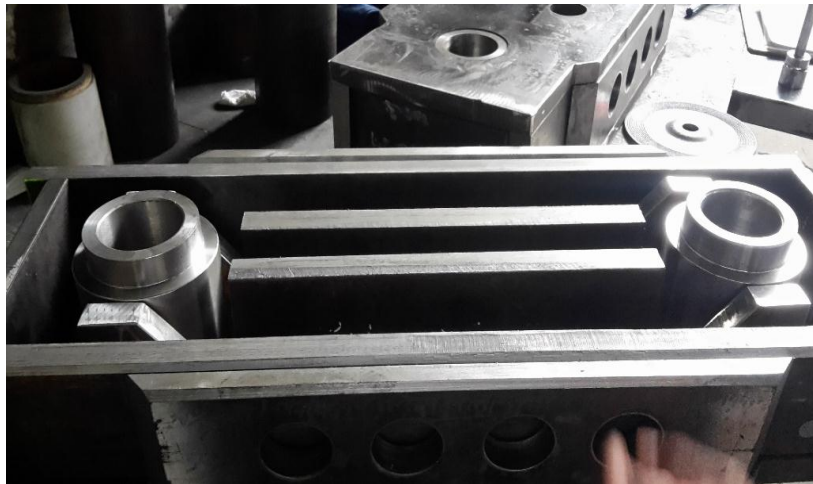


Figura 59. Montaje del cabezal superior

4.2.2 Ensamble de la estructura



Figura 60. Ensamble de la máquina universal de ensa

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los cabezales exhiben cierto comportamiento ante la aplicación de las cargas externas, a fin de obtener el mejor diseño posible, los resultados obtenidos se ajustan a las especificaciones necesarias de una maquina universal serie Instron.

El material seleccionado para la construcción de cada cabezal logro obtener un sistema capaz de soportar una capacidad de 30Ton si presentar fallas, presentando una construcción en planchas de acero ASTM 36, y acero ANSI 4130 para los bocines laterales del modelo compuesto de los cabezales, cumpliendo con los requisitos de una máquina universal de ensayos.

El diseño de los cabezales compuestos o módulos de carga se realizó con el análisis de elementos finitos, presentando un modelo estándar que cumpliera con los resultados necesarios ante la aplicación de la carga externa mediante el cilindro hidráulico para obtener un sistema estático con capacidad de 30 toneladas a fin de cumplir con 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.

Las placas desmontables o porta mordazas deberán ser intercambiadas por placas que se adapten al tipo de mordazas necesarios para realizar los debidos ensayos, sin embargo, las placas actualmente diseñadas pueden modificarse para realizar las pruebas en materiales metales y no metales de ser necesario.

La construcción cada módulo de carga se realizó mediante el montaje de placas de acero soldadas para su estructura o carcasa externa y además presentando dos placas de apoyo interno para evitar mayor flexión ante la carga aplicada, utilizando ensayos no destructivos (PT), se analizó la calidad de la soldadura en los elementos críticos para garantizar la integridad del sistema.

El funcionamiento de los módulos de carga consiste específicamente en el tipo de ensayo a realizarse debido a que dos de los tres cabezales participan directamente en el espacio de prueba para las probetas o elementos de pruebas. Para el ensayo de tracción

se hace uso de los cabezales superior y central, lo cual el diseño permite que estos se acoplen a las celdas de carga y mordazas, mientras que en el ensayo de compresión actuar directamente el cabezal donde se encuentra acoplado el cilindro hidráulico presentando mayor precisión en la aplicación de la carga.

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. Con respecto al diseño algunos cabezales son básicos diseñados en base a un modelo uniforme como una barra o bastidor mientras que otros presentan un modelo interno para distintos elementos y externo haciendo más compleja su construcción y/o restauración.

Los costos de fabricación son regularmente son menores en cuanto a la construcción de un sistema estático actual, además de ofrecer ciertas ventajas de acople a los diferentes sistemas.

5.2 Recomendaciones

Debido a la falta de información del diseño de los cabezales se recomienda realizar una investigación a maquinas comerciales que cumplan la misma función y adecuar los parámetros y características siempre y cuando se cumpla con las normas establecidas.

Se puede obtener un modelo más compacto con la utilización de otros materiales con respecto al acero ASTM A36 y AISI 4130, como lo es el acero A588 y AISI 4143, sin embargo, es necesario reconocer que los costos de fabricación aumentarían debido a la calidad y características que presenta para maquinarse el material al diseño deseado.

Debido al factor de falla bajo que presenta la placa donde se insertaran las mordazas se recomienda ubicar una placa de mayor espesor que permitirá la ubicación adecuada de la celda de carga y mordazas.

Se recomienda la obtención de los accesorios como las células de carga y mordazas para la implementación y realización de los ensayos para adquirir la certificación necesaria y cumplir con las normas establecidas ISO 7500-1.

El primer proceso de mecanizado que debe realizarse es el de fresado, ya que requiere un rango de tiempo extenso debido a que en la construcción tomo varios días lograr el devastado y acabado de las cavidades circulares de la placa.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM-C39. (2009). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*.

ASTM-E190. (1997). *Método de Ensayo Normalizado de doblez para determinar la ductilidad de probetas metálicas*.

ASTM-E8/E8M-16a. (2015). Método de ensayo normalizado para pruebas de tensión de materiales metálicos. *ASTM Internacional*.

Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Interamericana.

De Máquinas y Herramientas. (2014). Obtenido de Insertos para tornos: <https://www.demaquinasyherramientas.com/category/mecanizado>

ESAN S.A. (2002). *MACHINE TOOLS*. Obtenido de <https://www.machinetools.com>

Gonzales Pacheco, G. S. (2013). Maquina Universal Digital H011. +*Ciencia. Revista de la Facultad de Ingeniería*, 2, 38.

Grupo Carman. (30 de Octubre de 2014). *GRUPO CARMAN*. Obtenido de <http://grupocarman.com/blog/mallado-por-elementos-finitos/>

GTM Grupo Tecnología Mecánica. (s.f.). *Proceso de Fabricación*. Obtenido de Ajustes y Tolerancias: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/11.pdf>

Guede, D., Gonzáles, P., & Caeiro, J. (2013). Conceptos básicos y ensayos mecánicos. *Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 43-50.

Guillermo, B. (2016). *Docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/3475085-Limadora-cepilladora.html>

- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de Materiales* (8va ed.). México: Pearson Educación.
- Higinio Rubio , A. (2011). *Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de Departamento de Ingeniería Mecánica: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_tol_dim
- IBCA S.A. (2016). Herramientas de corte. *Catalogo general de productos*.
- ICONTEC. (2007). *NTC-ISO 7500-1*.
- INSTRON EMIC. (2015). Modelos y Especificaciones . *Series 23 EMIC*, 10.
- International Standar ISO 286-1. (2010). *Geometrical products especifications (GPS), ISO code system for tolerances or linear sizes*.
- International Standar ISO 286-2. (1988). *Sistema Iso de tolerancias y ajustes*.
- Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*.
- Luque, J. (2017). *Tecnología*. Obtenido de Ciencia de los materiales: <https://www.areatecnologia.com>
- McCormac, J., & Csernak, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. Mexico: PEARSON EDUCATION.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas* . México: Pearson Education.
- Rosales , E. (2006). *monografías.com*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos36/investigacion-tornos/investigacion-tornos2.shtml>
- S.A.E. IBERTEST. (s.f.). Series IBTM4, IBMU4. *Máquinas univelsales de ensayo, servohidráulicas*.
- SolidWorks. (2010). *SolidWorks Education*. Obtenido de Guia del instructor para la enseñanza del software SolidWorks: https://www.solidworks.com/sw/docs/instructor_WB_2011_ESP.pdf

TENSON. (20 de Junio de 2018). *Máquinas de ensayos de materiales, Equipos para procesamiento de puertas y ventanas*. Obtenido de <http://tensontester.com/product-1-2-1-dial-type-testing-machine-es/132654/>

Vidal, A. (2 de Agosto de 2015). *Mecatrónica SI*. Obtenido de <http://mcatronica-ipn-s1.blogspot.com/2015/08/ensayo-de-flexion.html>

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones de la maquina universal de ensayos FIE

SPECIFICATIONS :

MODEL		UTN-10	UTN-20	UTN-40	UTN-60	UTN-100	UTN-200	UTN-300
Maximum Capacity	kN	100	200	400	600	1000	2000	3000
1st measuring range	kN	0-100	0-200	0-400	0-600	0-1000	0-2000	0-3000
Minimum Graduations	kN	0.2	0.4	1	1	2	4	5
2nd measuring range	kN	0-50	0-100	0-200	0-300	0-500	0-1000	0-1500
Minimum Graduations	kN	0.1	0.2	0.5	0.5	1	2	2.5
3rd measuring range	kN	0-25	0-50	0-100	0-120	0-250	0-500	0-600
Minimum Graduations	kN	0.05	0.1	0.25	0.2	0.5	1	1
4th measuring range	kN	0-10	0-20	0-40	0-60	0-100	0-200	0-300
Minimum Graduations	kN	0.02	0.04	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5
Clearance for Tensile test at fully descended working piston	mm	50-700	50-700	50-700	50-800	50-850	50-900	50-900
Clearance for Compression test at fully descended working piston	mm	0-700	0-700	0-700	0-800	0-850	0-900	0-900
Clearance between columns	mm	500	500	500	600	750	850	850
Ram Strokes	mm	150	200	200	250	250	300	300
Straining/piston speeds (at no load)	mm/min	0-300	0-150	0-150	0-100	0-80	0-45	0-50
CONNECTED LOAD								
HP		1.3	1.3	2.3	2.5	3.5	6.5	8.5
V		400-440	400-440	400-440	400-440	400-440	400-440	400-440
O		3	3	3	3	3	3	3
DIMENSIONS								
L x W x H (approx.)	mm	2032 x 750 x 1960	2032 x 750 x 1960	2060 x 750 x 2180	2265 x 750 x 2534	2415 x 815 x 2900	3000 x 1200 x 3600	3500 x 1900 x 4550
Weight (approx.)	kg	1500	1500	2500	3500	5500	12 500	22 000
STANDARD ACCESSORIES								
FOR TENSION TEST								
Clamping jaws for round specimens diameter	mm	10-20 20-30	10-20 20-30	10-25 25-40	10-25 25-40 40-55	10-25 25-45 45-70	20-40 40-60 60-80	25-50 50-70 70-90
Clamping jaws for flat specimens thickness	mm	0-10 10-20	0-10 10-20	0-15 15-3-	0-15 15-3-	0-22 22-44 44-65 70	0-22 20-45 45-70 90	0-25 25-50 50-75 100
Width	mm	50	50	65	70			
FOR COMPRESSION TEST								
Pair of compression plates of diameter	mm	120	120	120	120	160	220	220
FOR TRANSVERSE TEST								
Table with adjustable rollers	mm	160	160	160	160	160	200	200
Width of rollers	mm							
Diameter of rollers	mm	30	30	30	50	50	70	70
Maximum clearance between supports	mm	500	500	500	600	800	900	1000
Radius of punch tops	mm	6, 12	6, 12	12, 16	16, 22	16, 22	30, 40	50, 75

Special Accessories : These include load stabilizer, Brinell test attachment, Bend test attachment, Shear test attachment and a wide range accessories offered on request at additional cost.

Installation : It is recommended that machines be erected on a foundation. Details on foundation can be given on request.

Due to constant, R&D, specifications and features are subject to change without notice. The dimensions given above are approximate.



Manufactured by :

Fuel Instruments & Engineers Pvt. Ltd.

Plot No. 68 & 89, Parvati Co-op. Ind. Estate, Yadav-416 145 (Ichalkaranji), Tal : Shirol, Dist : Kolhapur, Maharashtra State (INDIA)

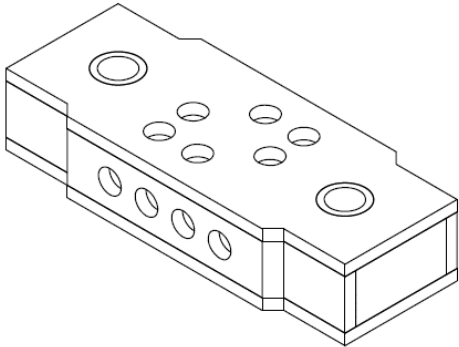
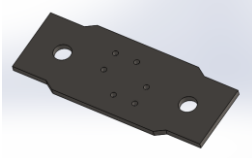
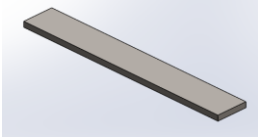

Tel : +91-2322-252137, Fax : +91-2322-252397, Cell : +91 98223 94981

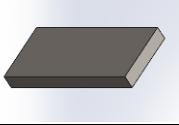
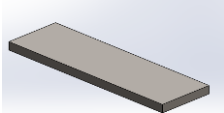
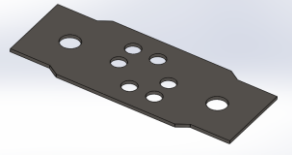
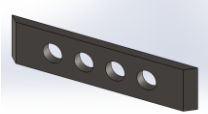
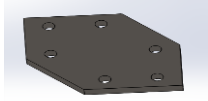
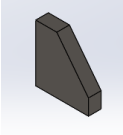

E-mail : mrk@fietest.com, Web : www.fietest.com / www.fuelinstrument.com

Anexo 2. Tabla de selección de tolerancias

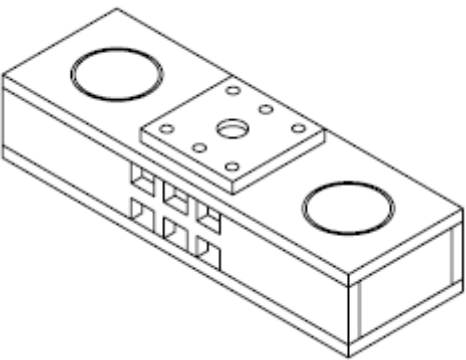
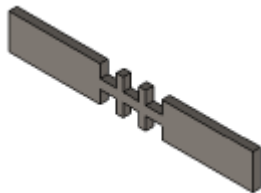
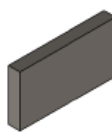

AGUJERO BASE						
TIPO	AGUJERO	EJE	CLASE	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	ACABADO
Fino	H7	s6/r6	Prensado	Montaje a prensa , necesita seguro de giro para pares muy fuertes, gran adherencia sobre hierro fundido	Casquillos y coronas de bronce, acoplamiento de piñones y engranajes en ejes no desmontables, no utilizar sobre piezas de paredes finas	N6/N7
		n6	Forzado duro	Montaje a martillo, de empleo cuando se requieren posicionamientos precisos con interferencia	Casquillos de bronce, manguitos en cubos, fijas para posicionado, casquillos guías de broca	N6/N7
		k6	Forzado medio	Montaje a martillo, posicionado de precisión con un compromiso entre juego e interferencia	Rodamientos de bolas, discos de levas, poleas y volantes, manivelas	N6/N7
		j6	Forzado ligero	Montaje ligero	Rodamientos de bolas, piezas de maquinas desmontables con frecuencia	N6/N7
		h6	Deslizante con lubricación	Proporciona un acoplamiento ajustado para la situación de piezas estacionarias con montaje y desmontaje libre	Engranajes, piezas importantes de maquinas herramientas, ejes de lira	
		g6	Giratorio	Juego pequeño, no para girar con velocidad, pero si para giros libres y deslizamiento con posicionado preciso	Embolos, bridas, anillos de rodamientos	N6/N7
		f7	Holgado	Juego mediano, para giros con velocidad en máquinas de precisión y para posicionamiento preciso con velocidades moderadas y presiones de apoyos de ejes	Cojinetes de bielas, ruedas dentadas, cajas de cambio	N6/N7
Medio	H8	h9	Deslizante		Poleas fijas, manivelas y acoplamiento deslizantes sobre el eje, ejes de contrapuntos	N7/N8
		e8	Giratorio	Juego mediano	Piezas de motores, bombas ventiladores	N7/N8
		d9	Holgado	Juego amplio, no de uso cuando es esencial la precisión pero bueno para grandes de variaciones de temperaturas con gran velocidad de giro y presión de apoyo de los ejes	Soportes de ejes, poleas locas	N7/N8
Basto	H11	h11	Deslizante		Piezas de maquinaria agrícola	N9/N10
		d9	Giratorio	Juego mediano	Ejes de movimiento longitudinal, aros, palancas, manivelas desmontables	N9/N10
		e11	Holgado	Juego amplio	Cojinetes de máquinas domésticas, pasadores, ejes.	N9/N10
		a11	Muy holgado	Ajustes muy amplios para tolerancias de miembros externos	Locomotoras, cojinetes de cajas de freno, alojamientos de cabezas de tornillos	N9/N10



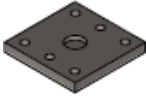

Anexo 3. Hojas de proceso de fabricación

HOJA DE PROCESO N°1			
Sistema:	ESTÁTICO		
Nombre:	Cabezal Superior		
Material	ASTM A36, AISI 4340	Tolerancia	H7, G6
DISEÑO			
PROCESO	HERRAMIENTA	PIEZA	DETALLE
1. Corte de Piezas 2. Cepillado 3. Devastado 4. Maquinado 5. Acabado de las piezas	1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	PLACA-01-CS 	#1 Plancha de 750x248x24 (mm)
	1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	PLACA-02-CS 	#2 Plancha de 750x108x24 (mm)
	1. Disco de corte 2. Torno	CILINDRO-01-CS 	#2 Bocín Ø(165x75) x108 mm

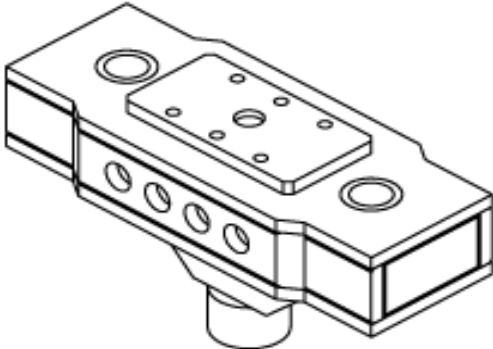

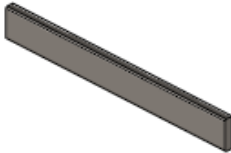

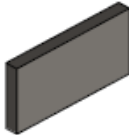
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-03-CS</p> 	<p>#2</p>	<p>Plancha de 200x108x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-04-CS</p> 	<p>#2</p>	<p>Plancha de 356x108x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-05-CS</p> 	<p>#1</p>	<p>Plancha de 750x248x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-04-CS</p> 	<p>#2</p>	<p>Plancha de 200x108x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-04-CS</p> 	<p>#1</p>	<p>Plancha de 250x250x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-04-CS</p> 	<p>#4</p>	<p>medidas: (100x100) mm</p>
<p>CONSTRUCCIÓN</p>				

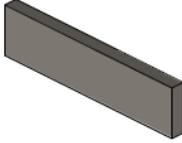

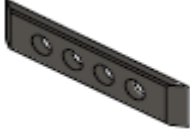




HOJA DE PROCESO N°2

Sistema:	ESTÁTICO		
Nombre:	Cabezal Central		
Material	ASTM A36, AISI 4340	Tolerancia	H7, G6
DISEÑO			
PROCESO	HERRAMIENTA	PIEZA	DETALLE
1. Corte de Piezas 2. Cepillado 3. Devastado 4. Maquinado 5. Acabado de las piezas	1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	PLACA-01-CC 	#2 Plancha de 750x108x24 (mm)
	1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	PLACA-02-CC 	#2 Plancha de 200x108x24 (mm)
	1. Disco de corte 2. Torno	CILINDRO-01-CC 	#2 Bocín Ø(150x130) x108 mm

	<p style="text-align: center;">PLACA-03-CC</p> <p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">#2 Plancha de 352x108x24 (mm)</p>
	<p style="text-align: center;">PLACA-05-CC</p> <p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">#2 Plancha de 750x200x24 (mm)</p>
	<p style="text-align: center;">PLACA-08-CC</p> <p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">#2 Plancha de 200x200x24 (mm)</p>
<p>CONSTRUCCIÓN</p>	<div style="text-align: center;">  </div>

HOJA DE PROCESO N°3

Sistema:	ESTÁTICO		
Nombre:	Cabezal Inferior		
Material	ASTM A36, AISI 4340	Tolerancia	H7, G6
DISEÑO			
PROCESO	HERRAMIENTA	PIEZA	DETALLE
1. Corte de Piezas 2. Cepillado 3. Devastado 4. Maquinado 5. Acabado de las piezas		PLACA-01-CI 1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	 #1 Plancha de 750x248x24 (mm)
		PLACA-02-CI 1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	 #2 Plancha de 750x108x24 (mm)
		CILINDRO-01-CI 1. Disco de corte 2. Torno	 #2 Bocín Ø(165x75) x108 mm
		PLACA-03-CI 1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa	 #2 Plancha de 200x108x24 (mm)

	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-04-CI</p> 	<p>Plancha de #2 356x108x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-05-CI</p> 	<p>Plancha de #1 750x108x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-06-CI</p> 	<p>Plancha de #2 480x108x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-07-CI</p> 	<p>Plancha de #1 250x200x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>PLACA-08-CI</p> 	<p>Plancha de #2 300x150x24 (mm)</p>
	<p>1. Oxicorte 2. Cepillo 3. Fresa</p>	<p>CILINDRO-02-CI</p> 	<p>Bocín Ø(165x75) x100 mm</p>
<p>CONSTRUCCIÓN</p>			

Anexo 4. Planos de construcción

