



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON
CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.**

Diego Felipe Garzón Cagüño

Cesar David Mosquera Salazar

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2021

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON
CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.**

Diego Felipe Garzón Cagüño

Cesar David Mosquera Salazar

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Director (a):

PhD. Hernando Augusto Jiménez Forero

Línea de Investigación:

Tecnología de materiales

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2021

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios quien es la fuente de fuerza y sabiduría para lograr este objetivo, a nuestros padres Danilo Mosquera, Luz Marina Salazar, Berenice Cagüño, Rosendo Garzón quienes, con amor y disciplina nos formaron y nos dieron aliento para terminar culminar esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos a la Universidad por la aceptación y el apoyo durante el proceso de formación. A todos los amigos y compañeros de clase en los cuales nos pudimos apoyar y vivir experiencias inolvidables.

Ingeniero Hernando Jiménez un gran agradecimiento por acompañarnos en el desarrollo de este proyecto, compartiendo sus conocimientos con paciencia y dedicación. A cada maestro que día tras día se esmeraron en aportarnos conocimiento y perfeccionarnos en el campo.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract.....	10
Simbología.....	11
1 Introducción y antecedentes	12
2 Planteamiento del problema	15
3 Alcance	16
4 Justificación	16
5 Objetivos.....	17
5.1 Objetivo general.	17
5.2 Objetivos específicos:.....	17
6 Glosario de términos.....	18
7 Marco teórico.....	20
7.1 Inducción electromagnética	29
8 Desarrollo metodológico	37
8.1 Fase 1. Revisión bibliográfica.	37
8.2 Fase 2. Diseño.	38
8.3 Fase 3. Construcción y verificación de operación.....	38
8.4 Fase 4. Documentación.....	38
9 Comprobación experimental y resultados	39
9.1 Simulación programa consol	39
9.2 Diseño y construcción de la máquina	44
Maquina construida para el ensayo de jominy	64
10 Conclusiones.....	68

Anexos.....	77
-------------	----

Lista de tablas

Tabla 1: Simbología.	11
Tabla 2: Temperaturas de normalización y austenización.....	21
Tabla 3: Medida de Dureza Rockwell.	22
Tabla 4: Severidad de Temple.....	24
Tabla 5: velocidad de enfriamiento en función del diámetro de la probeta.	27

Lista de figuras

Figura 1: Imagen ilustrativa de la probeta utilizada en el ensayo de Jominy.	12
Figura 2: Esquema general Ensayo de Jominy.	20
Figura 3: Curvas de templabilidad.	22
Figura 4: Diagrama TTT.	23
Figura 5: Diámetro crítico.	25
Figura 6: Grafica de velocidad de enfriamiento en función del diámetro de la probeta.	26
Figura 7: Grafica del proceso de enfriamiento.	29
Figura 8: Esquema de la inducción electromagnética.	31
Figura 9: Esquema de las corrientes de Foucault generadas por un campo magnético.	32
Figura 10: Esquema del calentamiento generado por inducción electromagnética.	33
Figura 11: Sistema de calentamiento generado por inducción electromagnética.....	34
Figura 12: Representación efecto piel.	35
Figura 13: Curva de profundidad de penetración.	36
Figura 14: Datos de ingreso para la simulación en el programa Comsol.	39
Figura 15: Simulación de operación del módulo a 700 grados centígrados.	40
Figura 16: Simulación de operación del módulo a 800 grados centígrados.....	41
Figura 17: Simulación de campo magnético generado.....	41
Figura 18: Simulación de flujo magnético generado.	42
Figura 19: Ilustración del diseño tanque soporte de la probeta.	46

Figura 20: Ilustración del diseño tanque de suministro.....	46
Figura 21: Ilustración de la bomba para el sistema de recirculación.....	49
Figura 22: Simulación SolidWorks del sistema de recirculación.....	49
Figura 23: Ilustración de la fuente módulo por inducción electromagnética.	50
Figura 24: Ilustración del análisis estático de cargas de la estructura.	50
Figura 25: Ilustración ubicación de las piezas de la maquina.	51
Figura 26: Ilustración de la probeta.	52
Figura 27: Ilustración sección de auto-centrado de la probeta.	53
Figura 28: Ilustración del agarre de la probeta en el sistema, Software SolidWorks.....	53
Figura 29: Ilustración análisis estático de la base fija.	54
Figura 30: Ilustración análisis estático de la base móvil.	55
Figura 31: Ilustración del sistema de posicionamiento	56
Figura 32: Ilustración del sistema y ubicación del trinquete para el descenso gradual de la probeta.	56
Figura 33: Ilustración análisis estático del eje.....	57
Figura 34: Ilustración análisis estático del volante.....	58
Figura 35: Ilustración análisis estático de la polea.	59
Figura 36: Valores para la selección de la chumacera.	61
Figura 37: Ilustración análisis estático de la chumacera.	61
Figura 38: Ilustración análisis estático del piñón-trinquete.....	62
Figura 39: Ilustración ensamble general máquina para el ensayo de Jominy.	63
Figura 40: Maquina construida para el ensayo de Jominy.	64
Figura 41: Medida de temperatura por termocupla tipo K de contacto.....	65
Figura 42: Ilustración de la verificación de la temperatura alcanzada por la máquina.	66
Figura 43: Ilustración verificación de la medida de temperatura del agua en el tanque de suministro.	67

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Velocidad crítica de temple.	25
Ecuación 2: Diámetro crítico.	25
Ecuación 3: Velocidad de enfriamiento.	26
Ecuación 4: Fuerza Electromotriz Inducida	29
Ecuación 5: Flujo magnético.	30
Ecuación 6: Potencia consumida	32
Ecuación 7: Calor transferido por unidad de tiempo.	33
Ecuación 8: Profundidad de penetración.	35
Ecuación 9: Pérdidas por efecto Piel.	36
Ecuación 10: Profundidad de penetración en relación a la pérdida por efecto piel.	37
Ecuación 11: Esfuerzo permisible para acero estructural.	45
Ecuación 12: Volumen de agua.	46
Ecuación 13: Velocidad de expulsión.	47
Ecuación 14: Potencia de la bomba.	48
Ecuación 15: Carga dinámica básica.	60

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta el diseño y construcción de una máquina de ensayo Jominy de templabilidad de aceros, para el laboratorio de materiales de la UAN Bogotá sede sur.

Se utilizó el software Comsol para definir las condiciones técnicas de calentamiento por inducción electromagnética, implementando un módulo comercial de calentamiento por inducción. Se definieron las condiciones: temperatura máxima, tiempo aproximado de calentamiento y campo magnético generado por el inductor.

Se diseñó e implemento un sistema de recirculación de agua que permitirá realizar el ensayo Jominy varias veces con la misma carga del fluido en los tanques. El diseño y la construcción de la máquina se efectuó bajo la norma internacional ASTM A255 para temple de probetas de acero, el cual garantiza las condiciones de funcionamiento para el tratamiento térmico.

Para el diseño de la máquina se utilizó el software SolidWorks, donde se definió una estructura vertical que permite acoplar tanto el sistema de flujo y recirculación de agua con el módulo de calentamiento ZVS 2500 y el sistema de posicionamiento de la probeta con un sistema de guaya - polea en la parte superior, el cual realiza el movimiento descendente - ascendente de la probeta, disminuyendo el tiempo de transporte y garantizando seguridad al realizar el ensayo. Se utilizó la simulación de esfuerzos estáticos en SolidWorks, para elegir los materiales apropiados en la construcción del proyecto.

Palabras clave: inducción electromagnética, ensayo Jominy, sistema recirculante, templabilidad.

ABSTRACT

This work presents the design and construction of a Jominy machine for testing the hardenability of steels, for the materials laboratory of the UAN Bogota south branch.

The Comsol software was used to define the technical conditions for electromagnetic induction heating, implementing a commercial induction heating module. The conditions were defined: maximum temperature, approximate heating time and magnetic field generated by the inductor.

A water recirculation system was designed and implemented to allow the Jominy test to be performed several times with the same fluid load in the tanks. The design and construction of the machine was carried out under the international standard ASTM A255 for hardening of steel specimens, which guarantees the operating conditions for the heat treatment.

SolidWorks software was used for the design of the machine, where a vertical structure was defined that allows coupling both the water flow and recirculation system with the ZVS 2500 heating module and the specimen positioning system with a guaya - pulley system at the top, which performs the downward - upward movement of the specimen, reducing the transport time and ensuring safety when performing the test. Static stress simulation in SolidW

orks was used to choose the appropriate materials for the construction of the project.

Keywords: electromagnetic induction, Jominy test, recirculating system, hardenability.

SIMBOLOGÍA

Los símbolos utilizados en el presente trabajo son los que se representan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Simbología.

Magnitud	Símbolo
Intensidad de corriente	I
Inducción magnética	ε_{ind}
Carga eléctrica	Q
Permeabilidad relativa	μ_r
Permeabilidad en el vacío	μ_0
Fuerza electromotriz inducida	ε
Intensidad eficaz	I_{eficaz}
Fuerza electromotriz eficaz	ε_{eficaz}
Corriente bobina	I_g
Corriente inducida	I_f
Flujo magnético	ϕ
Campo magnético	\vec{B}
Resistencia eléctrica	R

1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La templabilidad del acero es la capacidad que tiene un material para endurecerse en profundidad, dependiendo del contenido de carbono del mismo, después de realizar el temple, [1] siendo el resultado de la transformación martensítica en donde influyen tres factores importantes: contenido de carbono, presencia de elementos de aleación y severidad del temple. [2] Con respecto a la transformación martensítica ocurre debido a una deformación homogénea de la red cristalina (desplazamiento de átomos). [3]

Uno de los métodos más empleados para la templabilidad es el ensayo de Jominy, descrito en la norma ASTM A255; consiste en realizar tratamiento térmico de temple a una probeta mecanizada sin óxido de 25 mm de diámetro x 101.6 mm de largo, la cual será calentada hasta llegar a la temperatura de austenización del material y luego enfriada por agua, únicamente en la cara de la base inferior a una distancia de 12.7 mm, bajando de temperatura lentamente hasta enfriarse totalmente. [2]

Figura 1: Imagen ilustrativa de la probeta utilizada en el ensayo de Jominy. (Fuente propia)



La construcción de máquinas de Jominy ha sido ampliamente reportada en la literatura. A nivel internacional, se han encontrado trabajos relevantes como En la Universidad Técnica del Norte en Ecuador, se diseñó y fabricó una máquina capaz de realizar el ensayo de Jominy, específicamente la prueba de templabilidad, teniendo en cuenta estos aspectos se obtuvieron resultados positivos respecto a la implementación del sistema y su funcionamiento tomando como referencia una curva estandarizada [4]. Otro estudio importante en este país fue realizado en la Universidad Estatal de Milagro en donde la fabricación de esta máquina se realizaba en dos etapas para su correcto funcionamiento, logrando que estos cumplan con los requisitos necesarios. [5]

La Universidad Politécnica Salesiana ha apuntado al uso de agua y aire en combinación, todo ello para el enfriamiento del material y de esta forma disminuir el consumo de agua, con el mismo propósito de reforzar el estudio de aceros aleados. [6] Se crearon procesos centrados en el reúso de agua para mitigar su desperdicio, implementando mecanismos como indicadores de nivel de agua. [7]

Algunos estudios se enfocan en la etapa de enfriamiento del material donde se encontró que en el diseño, la válvula de presión para el agua se debe escoger de manera específica debido a que puede presentar problemas de operación en el sistema. [8] Hay que mencionar avances importantes en estas máquinas ha sido la instalación de un microscopio óptico para la evaluación de la microestructura del acero después de la prueba de templabilidad; y adicionalmente contaba con un tiempo de procesamiento corto. [9]

Varios científicos indican que la templabilidad depende en cierta parte de la presión del agua con la que se enfría el material, provocando mayor eficiencia cuando se usa en combinación agua y aire como ya se ha mencionado. [10] Además, se demuestra que la

temperatura del agua de enfriamiento es un factor importante a tener en cuenta al momento de determinar la dureza del material, ya que se obtienen mejores resultados a temperaturas de enfriamiento bajas. [11]

En la universidad de Akron, Estados Unidos de América, un proyecto sobre la construcción de una máquina para el ensayo de Jominy con calefacción in situ, [12] aunque aún se encuentra en fase de formulación podría ser una guía de implementación para la presente tesis. En contexto nacional, algunas universidades tienen equipos fabricados por empresas especializadas en este ámbito, para llevar a cabo el ensayo Jominy; un ejemplo de ello es la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la cual tiene un equipo de tratamiento térmico para la realización del ensayo, este cuenta con: tanque para la probeta, tanque disipador, bomba centrífuga, manómetro y termómetro. [13]

Es de resaltar, que en la revisión bibliográfica no se registró ningún trabajo que implemente un sistema de calentamiento por efecto Joule acoplado a la máquina de Jominy. En este trabajo, la unión de este sistema busca que el proceso de temple se realice sin uso de horno externo para calentamiento de las probetas, optimizando el montaje de la muestra y reduciendo los efectos de enfriamiento en el proceso, también con este sistema aumenta el factor seguridad de los estudiantes que lleven a cabo el ensayo, disminuyendo la ocurrencia de accidentes.

La inducción electromagnética, por su parte, posibilita obtener una mayor capacidad de temple, garantizando la temperatura de austenización de los aceros empleados [14]. Por lo anterior se debe tener en cuenta ciertos elementos que generen un aumento de la temperatura del material en poco tiempo, los cuales son: Uso de material ferromagnético y, emplear una frecuencia alta y una potencia baja [15] Sin embargo, en otros estudios se

concluyó que se debían tener otros aspectos a tener en cuenta, como lo son: el convertidor debe operar a una frecuencia cercana a la resonancia de la carga. [16]

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño no cuenta con los equipos necesarios para llevar a cabo prácticas, que complementen los conocimientos teóricos aprendidos durante las clases.

Teniendo en cuenta lo anterior, al no realizar prácticas, no se evidencia la aplicabilidad de la teoría aprendida en cada clase del programa de Ingeniería Mecánica, esto disminuye la efectividad en el desempeño laboral de los profesionales. Por consiguiente, se deben implementar equipos que faciliten el enfoque de los conocimientos teóricos, de forma más didáctica para que el aprendizaje sea interiorizado, y así, desarrollar los temas que se abordan en asignaturas como: ciencia de materiales, tecnología de materiales, transferencia de calor, termodinámica, métodos numéricos y mecánica de fluidos.

Debido a esta problemática, surge la necesidad de implementar una herramienta que contribuya con el aprendizaje aplicado a ingeniería, y ejecutarlo de tal forma que sea completo para ingresar a un ambiente laboral. De este planteamiento surge la pregunta de investigación **¿La implementación de un sistema de calentamiento Joule, y el control de variables asociadas al proceso de temple permitirán tener mejores resultados en un ensayo de Jominy?**

Por lo tanto, se opta por diseñar una máquina de ensayo Jominy, la cual garantizará y mostrará el proceso térmico de templabilidad. Adaptando inducción electromagnética en el calentamiento de la probeta e implementado un sistema de enfriamiento recirculante,

dando así mayor efectividad en el desplazamiento entre las fases de forma segura y obteniendo mejores resultados.

3 ALCANCE

En el presente proyecto se busca diseñar y construir una máquina para el ensayo de Jominy, que permita, de manera automática, realizar el proceso de calentamiento de la probeta y posterior enfriamiento por agua, controlando las variables de temperatura y flujo de agua, con sistema de recirculación.

4 JUSTIFICACIÓN

El tratamiento térmico de temple es una práctica, que, aplica a diferentes estudios y áreas de Ingeniería; para ello, se plantea el diseño y la construcción de una máquina de ensayo Jominy, donde la idea principal es que dicha máquina permita llevar a cabo el desarrollo de estas prácticas.

Por otro lado, se hace necesaria la ejecución de este proyecto, debido a que esta máquina, por lo general, funciona en dos etapas, y se busca evitar pérdidas de calor y disminuir al máximo los accidentes generados al llevar a cabo el laboratorio; siendo este un aporte a la innovación.

De este modo, los estudiantes desarrollaran destrezas experimentales en diferentes áreas del conocimiento que se abordan en las asignaturas ya mencionadas, para las cuales es propuesto el proyecto; con esta máquina los docentes podrán demostrar lo que se enseña en la teoría, realizando las prácticas con menores errores de experimentación y disminuyendo la exposición a riesgos de los estudiantes. Respecto a la universidad, además de la

adquisición del equipo, obtendría méritos por el trabajo de investigación e innovación, aportando gran reconocimiento.

Este equipo se construirá en base a la norma ISO 642:2000 y ASTM A255 de Ensayo Jominy, que permita obtener una máquina eficiente, capaz de evaluar y comprobar el comportamiento de los aceros sometidos al temple.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General.

Diseñar y construir una máquina de Jominy, con un sistema acoplado de calentamiento de probetas por efecto Joule, para el laboratorio de materiales de la Universidad Antonio Nariño.

5.2 Objetivos específicos:

- Realizar revisión bibliográfica y análisis teórico de las variables asociadas al sistema de calentamiento y a la máquina de templado Jominy con el fin de establecer condiciones de diseño y operación.
- Diseñar el sistema de recirculación y control de temperatura del agua para la máquina de ensayo Jominy.
- Diseñar el sistema de calentamiento de las probetas, por inducción electromagnética (efecto joule), y control de temperatura para la máquina de ensayo Jominy.
- Realizar el diseño mecánico de la máquina de ensayo Jominy con sistema acoplado de calentamiento de probetas y recirculación de agua.

- Construir el sistema de recirculación y control de temperatura del agua para la máquina de ensayo Jominy.
- Seleccionar el sistema de calentamiento de probetas por inducción electromagnética.
- Construir la máquina de ensayo Jominy con sistema acoplado de calentamiento de probetas y recirculación de agua.
- Redactar manual de funcionamiento, guía de mantenimiento y guía de laboratorio.

6 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Austenita: Ordenamiento compuesto por hierro puro y carbono con estructura cristalina cúbica centrada en las caras. Estable sobre la temperatura eutectoide y define la zona de austenización (720°C - 1400°C) para poder hacer una transformación de fase. [17]

Corriente inducida: Surge en un conductor dentro de un campo magnético variable en el tiempo o en un conductor que se mueve dentro de un campo magnético estacionario, de tal modo que exista variación de líneas de campo magnética que atraviesa el área transversal, lo que provoca un flujo de electrones a través del conductor. [18]

FEM inducida: Trabajo necesario para producir corriente por unidad de carga, en donde, un campo magnético genera una corriente eléctrica en un conductor, de modo que las cargas del conductor se mueven generando una corriente. [19]

Inducción magnética: Fenómeno que genera una fuerza electromotriz inducida en un cuerpo, expuesto a un campo magnético variable en el tiempo. [20]

Intensidad de corriente: Cantidad de carga eléctrica que atraviesa el área transversal de un conductor por unidad de tiempo. Puede tener una dirección constante en el tiempo (corriente directa) o variable en el mismo (corriente alterna). [21]

Martensita: Es una fase compuesta por hierro y carbono supersaturado, generada a partir de una transformación de fases sin difusión, con estructura BCC, se crea cuando las aleaciones hierro-carbono se enfrían bruscamente (Temple), generando dureza dependiendo de la cantidad de carbono que tenga el material. [22]

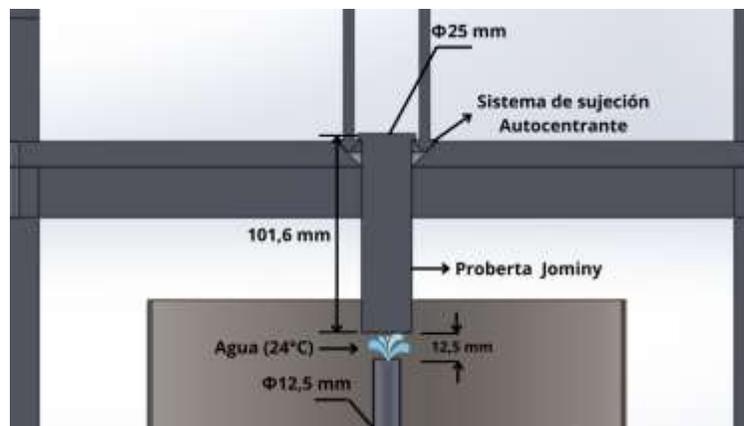
Templabilidad: Capacidad de endurecimiento en profundidad de un acero la cual se obtiene a partir de las transformaciones martensíticas por enfriamiento rápido desde la temperatura de austenización hasta la temperatura ambiente, en un determinado medio de enfriamiento. [2]

Tratamiento térmico: Proceso en el que se involucra el calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales, en conjunto modifican sus propiedades mecánicas. [23]

7 MARCO TEÓRICO

El ensayo de Jominy es un procedimiento empleado para determinar la templabilidad del acero mediante temple final; el cual, consiste en templar normalmente con agua, o también en aceite o salmuera, una muestra de ensayo cilíndrica y medir la respuesta de endurecimiento en función de distancia del extremo de la probeta que entra en contacto con el medio de enfriamiento. [24]

Figura 2: Esquema general Ensayo de Jominy. (Fuente propia)



Nota. En la figura se aprecia que la muestra hace referencia a la barra de acero que es enfriada a chorro con agua.

Las condiciones del ensayo Jominy se presentan en la norma ASTM A255, cuyas características principales son:

La probeta es una pieza mecanizada a un diámetro de 25,4 mm, con un largo total de 101,6 mm, teniendo en cuenta el área de sujeción con un espesor de 3 mm y un diámetro de 29 mm. La probeta se posiciona en un sistema de sujeción con un ángulo interno de 45°, que genera un área mínima de contacto, entre la probeta y la estructura de la máquina de ensayo. [24]

Cuando se va a realizar el proceso se debe tener en cuenta que el caudal debe ser de 150 cm³/s, por una tubería de 12,7 mm desde la salida de la bomba hasta la parte inferior de la probeta con una distancia entre ellas de 12,7 mm, donde debe incidir completamente sobre el área transversal de la pieza sin afectar el área lateral. La temperatura del agua debe estar entre 18 y 24°C. [24]

Adicionalmente, para el procedimiento se deben tener en cuenta las siguientes temperaturas, dependiendo de la serie de acero.

Tabla 2: Temperaturas de normalización y austenización. [24]

Serie de acero	Contenido de carbono máx. %	Temperatura de Normalización (°C)	Temperatura de autenticación (°C)
1000, 1300, 1500 3000, 4000, 4100	0,25 y menos	925	925
4300, 4400, 4500 4600, 4700, 5000,5100, 6100, 8100, 8600, 8700, 8800, 9400, 9700, 9800	0,26 – 0,36	900	870
2300, 2500, 3300, 4800, 9300	0,37 y más	870	845
	0,25 y menos	925	845
9200	0,26 – 0,36	900	815
	0,37 y más	870	800
	0,5 y más	900	870

En el ensayo de Jominy una característica importante a evaluar es el perfil de dureza del material de estudio. Este perfil se obtiene realizando medidas consecutivas con durómetros que normalmente están en la escala Rockwell, Brinell o Vickers. [25] en la universidad se cuenta con durómetro Rockwell.

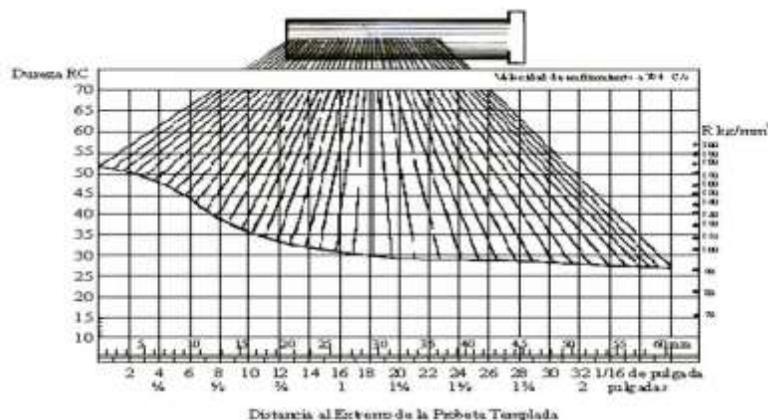
Ensayo de Rockwell: Es un método para evaluar el perfil de dureza de un material mediante una máquina calibrada, consiste en dos operaciones que están sujetas a condiciones específicas las cuales son un indentador cónico esferoidal de diamante o una bola de acero endurecido que miden la profundidad permanente de la impresión bajo condiciones específicas de carga. [26] Para este ensayo se utilizan dos tipos de indentadores:

Tabla 3: Medida de Dureza Rockwell. [27]

Indentador: Cono de diamante (HRA, HRC, HRD)	Indentador: Esfera de acero 1/16" (HRB, HRF, HRG) Esfera de acero 1/8" (HRE)
Carga: PA: 60 Kg PC: 150 Kg PD: 100 Kg	Carga: PB: 100 Kg PF: 60 Kg PG: 150 Kg PE: 100 Kg
Formula: HRA, HRC, HRD=100-500t	Formula: HRB, HRF, HRG, HRE=130-500t

Tomando las medidas de dureza en la región de ensayo, se hace una gráfica de dureza RC vs distancia Jominy para determinar el perfil de dureza que representa como se endurece el material en profundidad.

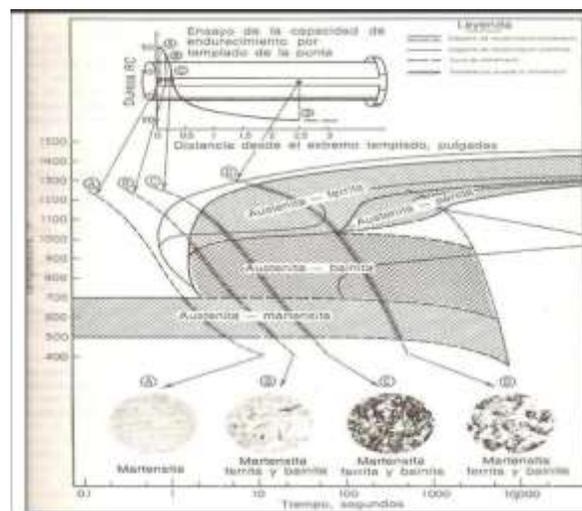
Figura 3: Curvas de templabilidad. [28]



Nota. La grafica representa la curva de templabilidad realizada al acero 4140 para ensayo Jominy, en donde la dureza del temple disminuye a medida que se aleja del extremo de la probeta.

La dureza adquiere un material depende de la transformación microestructural que experimenta en el proceso de temple, esas transformaciones se presentan en los diagramas TTT (Tiempo-Temperatura-Transformación), en los cuales se muestra la microestructura que adquiere las diferentes regiones del acero en profundidad en función del tiempo de enfriamiento de la misma. [29]

Figura 4: Diagrama TTT. [23]



Nota. La gráfica se interpreta desde el punto A1 (región austenítica de los aceros), continuando en forma descendente y a la derecha mostrando cómo se enfría el material en función del tiempo.

En el proceso de enfriamiento depende de la capacidad que tiene el medio de extraer calor de la probeta, eso lo determina la severidad del temple. En la siguiente tabla se muestra la severidad de temple de los medios común mente usados en el proceso de templado.

Tabla 4: Severidad de Temple. [30]

Agitación	Medio			
	Aire	Aceite	Agua	Salmuera
Ninguna	0,02	0,25-0,3	0,9-1,0	2
Suave		0,3-0,35	1,0-1,1	2-2,2
Moderada		0,35-0,4	1,2-1,3	
Acentuada		0,4-0,5	1,4-1,5	
Fuerte	0,05	0,5-0,8	1,6-2,0	
Violenta		0,8-1,1	4,0	5,0

La velocidad crítica de enfriamiento depende de la severidad del medio de enfriamiento (agua, aceite, aire o salmuera), en donde el agua es uno de los más comunes, en el proceso de temple con agua se recomienda que la temperatura este entre 15 y 20 °C, también se le puede agregar una mezcla de cloruro de sodio aumenta la severidad de enfriamiento cuando se agrega este cloruro es conocida como salmuera. Con el aceite la temperatura promedio es de 30 y 60 °C lo cual disminuye la viscosidad, mejorando el enfriamiento, comúnmente en aceros con alto índice de aleación se utiliza aire circulante para bajar la temperatura en un tiempo extenso hasta la descomposición de austenita.

La severidad del temple está directamente relacionada con la velocidad de enfriamiento la cual tiene dos componentes: velocidad crítica de enfriamiento y la velocidad crítica de temple, siendo la primera la velocidad mínima necesaria para garantizar una transformación de la estructura del acero que permita tener martensita. [31] y la segunda hace referencia a la velocidad del enfriamiento (desde la temperatura crítica) con la que se logra una estructura martensítica, dependiendo de la composición química del material y el tamaño del grano. [31]

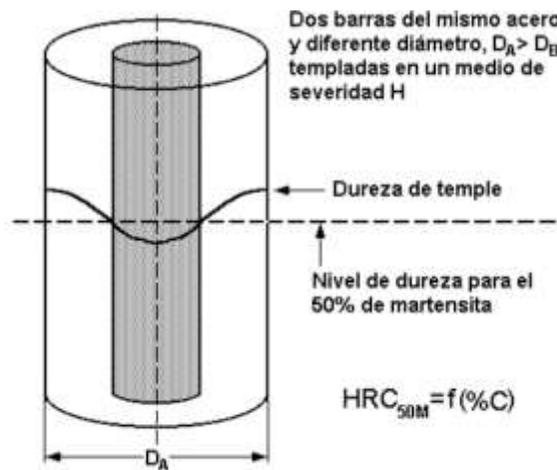
Ecuación 1: Velocidad crítica de temple. [31]

$$V_c = f_c(CQ * TG)$$

Donde f_c representa el flujo calórico, CQ es la composición del material y TG es el tamaño del grano martensítico del material.

El tamaño de la probeta y las características geométricas de la misma van a influenciar en la capacidad que tiene el material al enfriarse por conducción ya que a mayor volumen requiere un mayor tiempo de enfriamiento. Para un volumen demasiado grande no se alcanza una condición adecuada de enfriamiento hacia el núcleo donde no habrá una formación de martensita.

Figura 5: Diámetro crítico. [30]



Nota. La figura representa el diámetro crítico y como este influye en el proceso de templabilidad.

Ecuación 2: Diámetro crítico. [30]

$$\frac{S}{V} = \frac{4}{D}$$

Donde S representa el área transversal, V el volumen, D el diámetro.

En el cual, la velocidad de enfriamiento de la pieza completa es afectada por el volumen de la misma, teniendo un enfriamiento rápido superficial y uno lento en el núcleo de la pieza. Como criterio si en la curva de templabilidad “U” se obtiene un valor de 50% martensita, se considera que el temple es correcto de lo contrario no se cumple el temple.

En resumen, la velocidad de enfriamiento depende el flujo calórico, severidad del temple, diámetro de la probeta y el punto de medición del enfriamiento, de acuerdo a la siguiente ecuación:

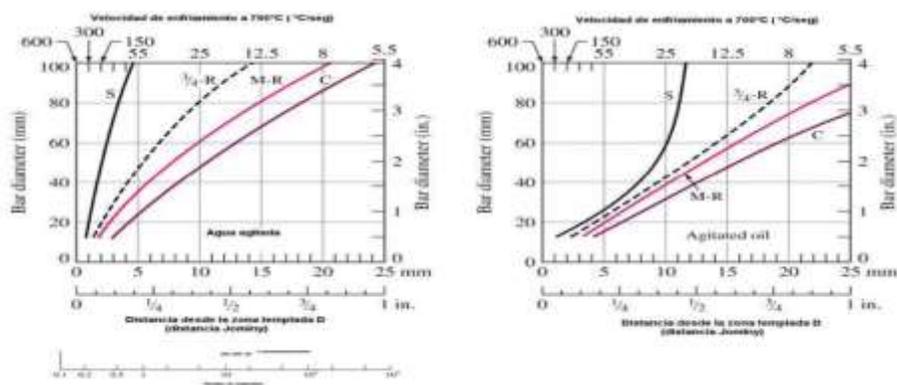
Ecuación 3: *Velocidad de enfriamiento.* [31]

$$V_e = f_c(H * D * r_i)$$

Donde, H representa la altura del enfriamiento y r_i hace referencia a la ubicación donde se realiza el enfriamiento.

La relacione entre la velocidad de enfriamiento, diámetro de la barra y distancia Jominy se presenta en la siguiente figura para medio agua agitada y aceite agitado.

Figura 6: *Grafica de velocidad de enfriamiento en función del diámetro de la probeta.* [32]



Nota. Determinan la velocidad de enfriamiento de la probeta a partir del diámetro y la distancia desde la zona de temple, dependiendo del medio.

El mecanismo principal de disipación de calor es el de convección y este ocurre principalmente en la parte inferior de la pieza, entre la base de la probeta y el medio de enfriamiento (agua). Así mismo se considera un mecanismo de transferencia de calor por conducción que ocurre a lo largo de la distancia Jominy, entre la zona superior de la probeta y la base que está en contacto con el medio de enfriamiento, lo que provoca una disminución de temperatura a lo largo de la probeta. En cara lateral de la probeta se presentan mecanismos de transferencia de calor por radiación y convección teniendo como medio el aire del ambiente. Teniendo en cuenta que la velocidad de enfriamiento de la probeta en la cara que está en contacto con el medio de enfriamiento es elevada (se estima en 10^6 K/s) se presenta un mecanismo de transferencia de calor por conducción entre la parte superior de la probeta y la cara en contacto con el medio de enfriamiento (agua) considerándose que este mecanismo de transferencia de calor por conducción es el principal responsable de la disipación de calor en la zona superior de ensayo de la probeta.

Tabla 5: velocidad de enfriamiento en función del diámetro de la probeta. [30]

Dist. Jominy-Pulgadas	Vel. enfriam.- K/s a 977,15 K/s	Dist. Jominy-Pulgadas	Vel. enfriam.- K/s a 977,15K/s
1/16	544,85	11/16	283,95
1/8	443,75	3/4	282,15
3/16	381,45	13/16	281,15
¼	341,95	7/8	280,05
5/16	316,05	15/16	279,55
3/8	304,45	1	278,75
7/16	296,45	1 ¼	277,05
1/2	291,05	1 ½	275,95
9/16	287,05	1 ¾	275,35
5/8	285,05	2	275,05

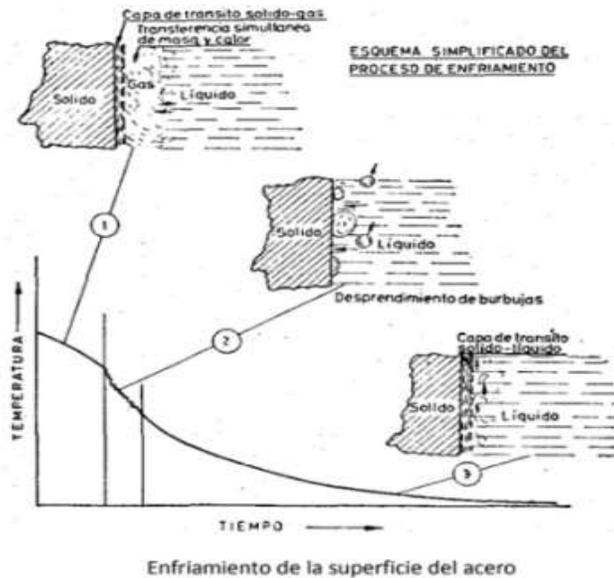
Por último, la severidad del agente refrigerante se debe considerar debido a que el enfriamiento no ocurre de forma similar en todos los fluidos, por lo tanto, los medios más comunes para el enfriamiento son agua, aceite, agua salada muy agitada, baños de sales fundidas, plomo fundido, aire en calma y presión. Para conocer la eficacia de estos agentes es necesario conocer los fenómenos que ocurren desde el momento que se introduce la pieza en el medio refrigerante hasta llegar a la temperatura final. [33] Son 3 las etapas que suceden durante el proceso de conductividad térmica, esto ocurre después de elevar la pieza por radiación (emisión de energía térmica en forma de luz):

Etapa 1(Convección 1): Cuando la pieza está a su temperatura de austenización y se introduce en el líquido refrigerante, entran en contacto generando una capa de vapor que rodea el metal y lo aísla del líquido, verificando el enfriamiento a través de la capa gaseosa. En esta etapa la velocidad de enfriamiento es baja.

Etapa 2(Convección 2): Mientras sigue disminuyendo la temperatura en la superficie de la pieza, igualmente lo hace la capa de vapor, este contacto es solo momentáneo puesto que, en algún momento, el líquido en forma de gota tocará la superficie de la pieza, estableciendo contactos interrumpidos líquido - acero. En esta etapa se tiene una temperatura en transición.

Etapa 3(Conducción): En esta etapa existe mayor contacto de la pieza con el líquido (ya que no hay capa de vapor), ahora la velocidad de enfriamiento es muy pequeña.

Figura 7: Grafica del proceso de enfriamiento. [32]



Nota. La gráfica determina el fenómeno de los agentes refrigerantes, en sus 3 etapas y la influencia que estos ejercen en la velocidad de enfriamiento.

7.1 Inducción electromagnética

Para entender la inducción electromagnética se debe partir desde la ley de Faraday la cual enuncia: el voltaje (FEM, Fuerza Electromotriz Inducida) en una bobina es directamente proporcional a la rapidez de cambio del flujo magnético por unidad de tiempo en una superficie conductor. [34] En donde la ecuación fundamental se expresa así:

Ecuación 4: Fuerza Electromotriz Inducida [34]

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Donde ε representa la fem inducida, N el número de vueltas de la bobina y $d\phi/dt$ la variación del flujo magnético respecto a la variación del tiempo.

La ley de Faraday relaciona la fuerza electromotriz inducida con la variación del flujo electromagnético, siendo este la medida de campo magnético que pasa por el área transversal de acuerdo a la dirección del flujo. [35]

La ley de Lenz también está implicada en la inducción electromagnética, la cual expresa que: dada la variación del flujo magnético dentro del área de la bobina se va a generar circulación de campo eléctrico, lo que genera movimiento de electrones que, dependiendo de la resistencia de la bobina, generar una corriente inducida; esta corriente va en dirección contraria a la causa que lo produce, siendo esta ley consecuencia del principio de conservación de la energía. [36]

Dicho del anterior modo el flujo magnético estaría expresado por:

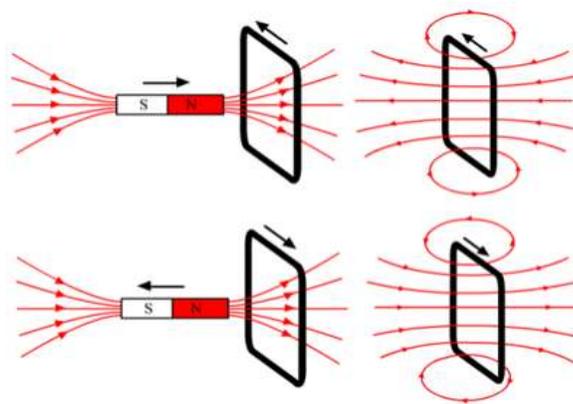
Ecuación 5: Flujo magnético. [36]

$$\phi = B \cdot S \cdot \cos(\alpha)$$

Donde ϕ representa el flujo magnético, B campo magnético en teslas (T), S el área transversal del conductor (m^2) y α el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie (es importante anotar que la dirección del vector superficie es perpendicular al plano de la espira).

Ahora bien, la **inducción electromagnética** Surge en un conductor dentro de un campo magnético variable en el tiempo o en un conductor que se mueve dentro de un campo magnético estacionario, de tal modo que exista variación de líneas de campo magnética que atraviesa el área transversal, lo que provoca un flujo de electrones a través del conductor [37]

Figura 8: Esquema de la inducción electromagnética. [38]

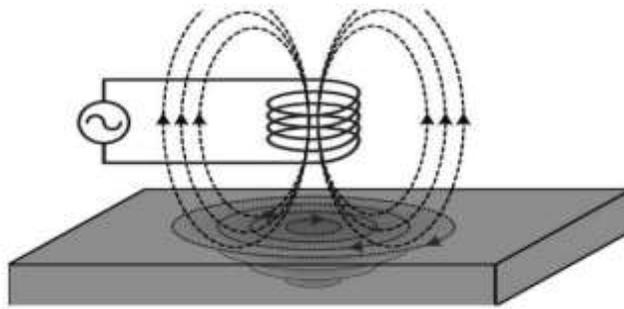


Nota. En la figura se evidencia que la inducción electromagnética se da cuando hay una variación del campo que atraviesa la espira.

Las corrientes de Foucault son importantes ya que se generan en un medio conductor por inducción, oponiéndose al flujo magnético variable en un instante de tiempo determinado. [39] Este flujo puede ser producido por la creación de un campo magnético de un electroimán recorrido por una corriente alterna, o cuando un material conductor es desplazado en el seno de un campo magnético uniforme, debido a corrientes continuas o imanes. [40]

El efecto de las corrientes de Foucault es provocar pérdidas energéticas debidas al efecto Joule, lo cual permite una mayor concentración de calor, generado altas temperaturas en metales inclusive hasta fundirlos. [41]

Figura 9: Esquema de las corrientes de Foucault generadas por un campo magnético. [42]



Nota. En la figura se evidencia en la parte posterior las corrientes de Foucault generadas por el campo magnético de una bobina.

Simultáneamente, se debe considerar el efecto Joule, en donde, hace referencia al fenómeno irreversible, en el que circula un flujo de electrones (corriente de Foucault), y parte de la energía cinética generada se transforma en calor; debido a la interacción electrónica generado en el material conductor. [43]

La potencia consumida se determina a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 6: Potencia consumida [44]

$$P = \frac{\pi R^4 L}{16\rho} B_0^2 \omega^2$$

Donde P representa la potencia consumida, R el radio de la pieza, L la longitud de la pieza, ρ la resistividad del material, B_0 el campo magnético y ω la frecuencia de variación del campo magnético.

Adicionalmente, la cantidad de energía transformada para generar calor en un tiempo t , se determina a partir de la siguiente expresión: [45]

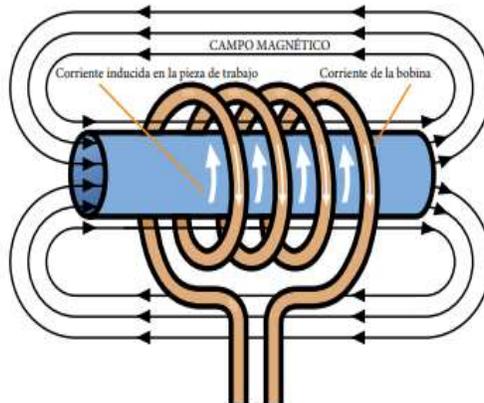
Ecuación 7: Calor transferido por unidad de tiempo. [46]

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha S_i (T - T_0)$$

Donde $\frac{dQ}{dt}$ representa el calor transferido por unidad de tiempo, α el coeficiente de intercambio de calor, S_i el área de la pieza, T temperatura de la pieza y T_0 temperatura ambiente.

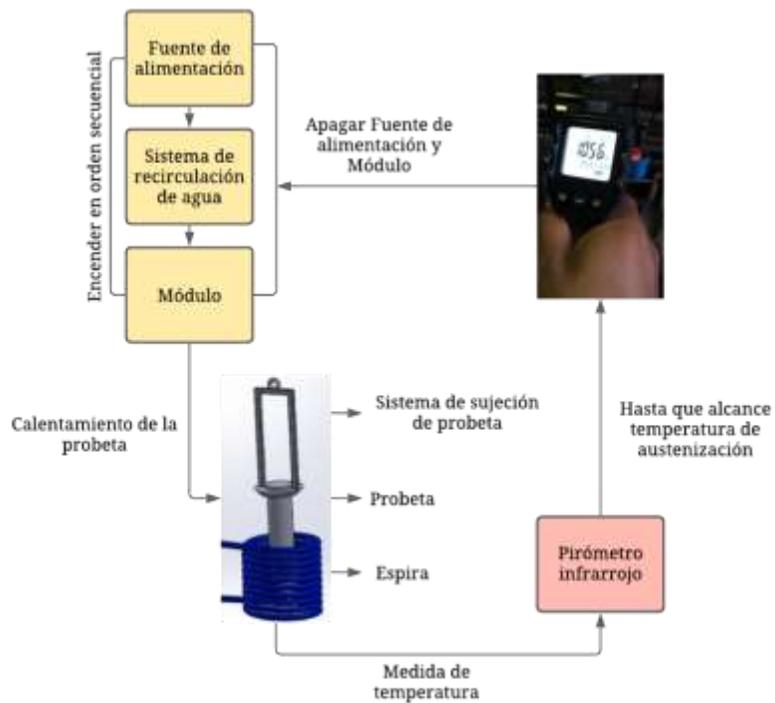
Conforme a lo relacionado con la inducción electromagnética se implementa en el ensayo de Jominy como el método para elevar la temperatura rápidamente de la probeta sin entrar en contacto con la superficie, de manera controlada; sometiendo la muestra a un campo magnético variable en el tiempo y de amplitud considerable. [16]

Figura 10: Esquema del calentamiento generado por inducción electromagnética. [47]



Nota. En la figura se observa la generación del campo magnético por medio de la inducción electromagnética.

Figura 11: Sistema de calentamiento generado por inducción electromagnética.



El efecto piel muestra la reducción de la densidad de corriente iniciando desde el exterior hacia el centro del conducto por el cual transita corriente alterna; este fenómeno depende de la frecuencia de operación, del tipo de material y su forma.

La corriente inducida en la pieza genera siempre campo magnético opuesto al campo magnético que lo originó. [49]

Figura 12: Representación efecto piel. [49]



Nota. Representación de la variabilidad de la densidad del material dependiendo de la frecuencia del exterior.

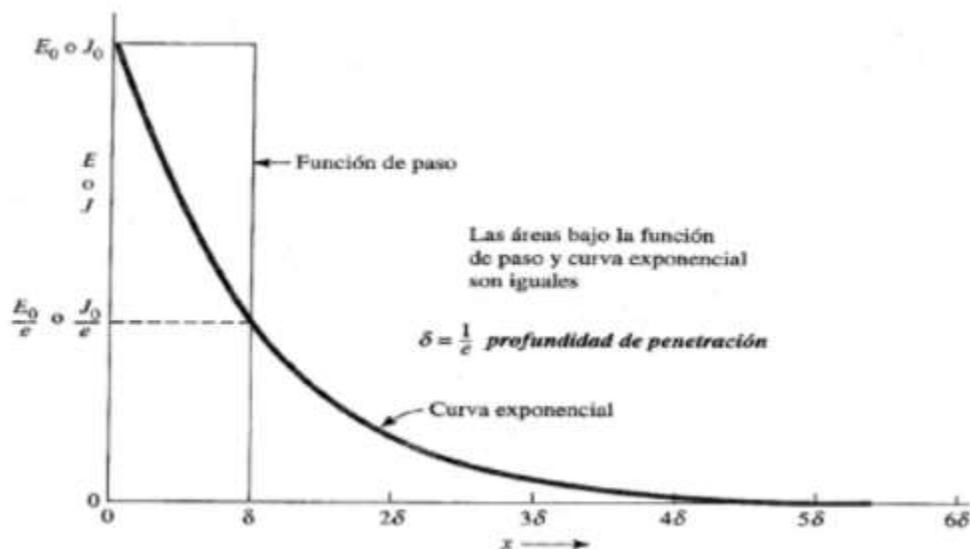
Y finalmente, la distribución de la corriente en una pieza determinada está guiada bajo un parámetro llamado **profundidad de penetración** [50], y se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 8: Profundidad de penetración. [50]

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{p}{F\mu}}$$

Donde p representa la resistividad eléctrica del material, F es la frecuencia y μ es la permeabilidad magnética relativa

Figura 13: Curva de profundidad de penetración. [51]



Nota: Al analizar la gráfica del comportamiento de la profundidad de penetración vs el campo eléctrico (E) y la densidad de corriente (J), se puede inferir que el área bajo la curva, dentro del área del campo magnético o de la densidad de corriente es la misma que para la profundidad de penetración en la zona delimitada.

Respecto a las pérdidas del efecto piel, se pueden calcular respecto a la ley de Faraday con la siguiente fórmula:

Ecuación 9: Pérdidas por efecto Piel. [51]

$$\oint E \, dl = -\frac{\partial}{\partial t} \iint B \, dA$$

Donde $\oint E$ es la integral del vector de campo eléctrico por el diferencial de longitud (dl), Que es igual a la derivada respecto al tiempo (∂t) de la integral doble del vector De densidad del flujo magnético, multiplicado por el diferencial de área.

Centrados en la pérdida por efecto piel, se puede identificar la dependencia de la profundidad en la frecuencia, es decir entre más frecuencia haya mayor será la profundidad de penetración en el material, reflejado en la siguiente fórmula:

Ecuación 10: Profundidad de penetración en relación a la perdida por efecto piel. [51]

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu_0 \mu_r \sigma f}}$$

Donde μ_0 representa la constante energética, μ_r la permeabilidad del material, σ la conductividad del material y f la frecuencia.

Las corrientes inducidas son opuestas a la corriente externa que se aplica al conductor, esto quiere decir que hay una corriente concentrada en la capa exterior del conductor, contrarrestando lo que va por el medio del mismo, a esto se le llama la piel del conductor.

[51]

8 DESARROLLO METODOLÓGICO

Para este trabajo se propone la elaboración de fases metodológicas que permitan el cumplimiento de los objetivos planteados, de la siguiente manera:

8.1 FASE 1. Revisión bibliográfica.

En esta fase se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de la máquina de Jominy, para identificar diseños eficientes y las partes necesarias para construirla. Adicionalmente, se investigó acerca de los sistemas de calentamiento joule, con el fin de determinar variables de corriente, temperatura, control y aislamiento térmico que se deben tener en cuenta para este tipo de sistemas.

8.2 FASE 2. Diseño.

En esta fase se diseñó el sistema de: recirculación de agua, calentamiento por inducción electromagnética, auto-centrado de la probeta y control de temperatura de la misma, mediante el software SolidWorks, bajo la norma ISO 642:2000 y ASTM A255 de Ensayo Jominy. Presentados en el anexo I: Sistema de recirculación de agua, anexo II: Sistema de sujeción, anexo III: Sistema de inducción electromagnética adjuntos al documento y anexo VII: Simulaciones de análisis estático SolidWorks.

8.3 FASE 3. Construcción y verificación de operación.

Del mismo modo, la construcción de los sistemas se llevó a cabo de acuerdo a los diseños anteriores, iniciando en el sistema de recirculación de agua, calentamiento por inducción electromagnética, auto-centrado de la probeta y control de temperatura de la misma, unificando todos los sistemas en una sola máquina para facilitar la ejecución de los ensayos. (Anexo IV)

La selección del módulo se hizo a través del Software Comsol con simulaciones, para determinar el equipo que alcanzara la temperatura necesaria de austenización. (Anexo III)

Para la verificación de la operación se realizaron 10 pruebas, y así se comprobó el buen funcionamiento de la máquina.

8.4 FASE 4. Documentación.

En el anexo V se encuentra el manual de operación y mantenimiento de la máquina para su correcto funcionamiento. Adicional a ello, se presenta una guía de laboratorio para la ejecución del ensayo Jominy (Anexo VI).

9 COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Para calcular los parámetros eléctricos que debe cumplir la fuente de inducción se realizó la simulación del proceso de calentamiento de probetas por inducción electromagnética, usando el software Comsol.

9.1 Simulación programa COMSOL

Para el ingreso, el software Comsol solicita la selección del material de la pieza a modelar, bajo la norma AISI SAE, la geometría de la misma y se deben establecer las unidades de medida.

El Acero 4340 fue seleccionado para las pruebas, ya que es comúnmente utilizado para el tratamiento térmico, con una temperatura de austenización de 830 °C [52]. Para ello se variaron datos de voltaje, frecuencia y diámetro de la bobina, introduciendo los siguientes valores de la ficha técnica de varios módulos al estudio:

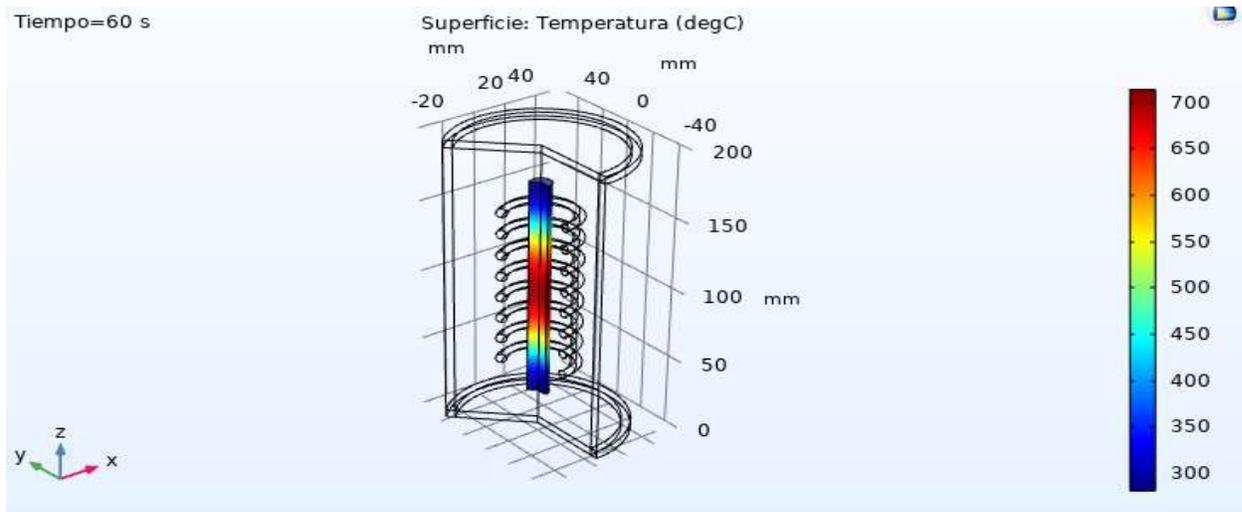
Figura 14: Datos de ingreso para la simulación en el programa Comsol. (Fuente propia)

Voltaje:	48	V
Frecuencia:	30000	Hz
Diametro interno bobina:	69.85	mm
Diametro externo bobina:	76.2	mm
Diametro externo Pieza:	29	mm
Diametro interno pieza:	27.85	mm

Nota. Estos valores fueron introducidos realizando una revisión en las fichas técnicas de diversos módulos de inducción comerciales.

Se puede observar en la primera simulación que el rango de temperatura (700 °C) puesto como condición de parada, da una correcta distribución de elevación de temperatura a lo largo del tiempo en la probeta Jominy según el estudio.

Figura 15: Simulación de operación del módulo a 700 grados centígrados. (Fuente propia)

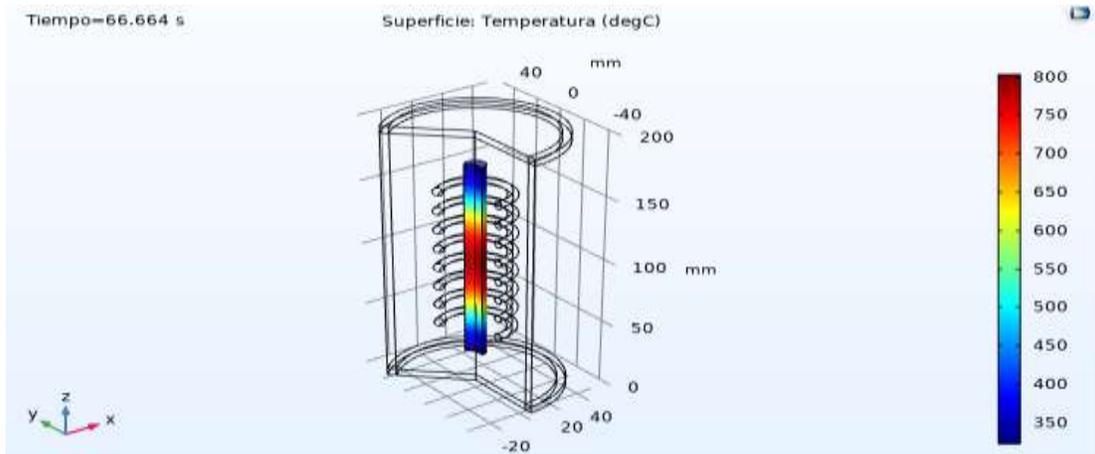


Nota: En la figura se observa el tiempo (60 segundos) que tarda el módulo en llegar a los 700 grados centígrados.

En esta grafica se muestra la variación térmica en función del campo magnético generado y la capacidad que tiene para elevar una temperatura de 700 °C en 60 segundos. Se realizaron varios estudios con diferentes condiciones de parada con el mismo material con el fin de encontrar las características técnicas necesarias para elegir el módulo de calentamiento electromagnético por inducción

Para la segunda prueba se cambiaron las condiciones de parada aumentando la temperatura 800 grados centígrados, alcanzando la temperatura establecida en 66,664 segundos.

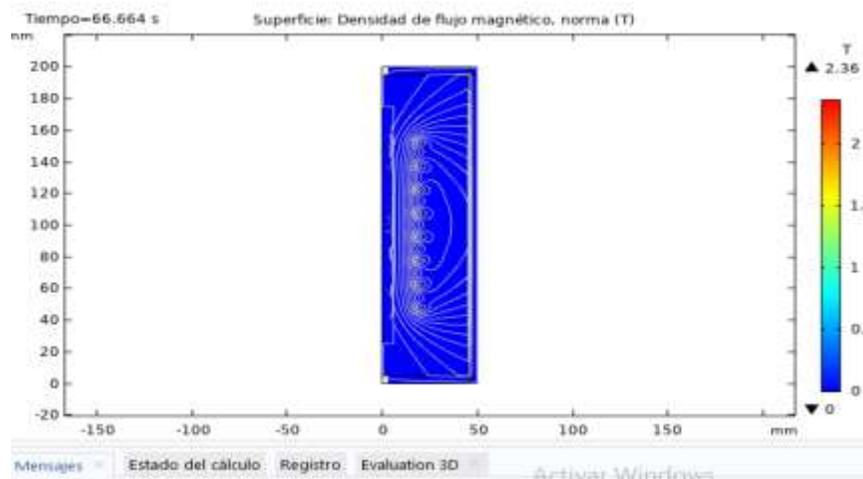
Figura 16: Simulación de operación del módulo a 800 grados centígrados. (Fuente propia)



Nota: En la figura se observa el tiempo (66,664 segundos) que tarda el módulo en llegar a los 800 grados centígrados.

Después de realizar el estudio en el software, se evidencia que las características ingresadas permiten llegar a la temperatura requerida para la austenización del material (830°C) en un tiempo aproximado de 66.664s y el campo magnético que se genera a partir de estas especificaciones está en un rango de 2,35 a 2,36 T.

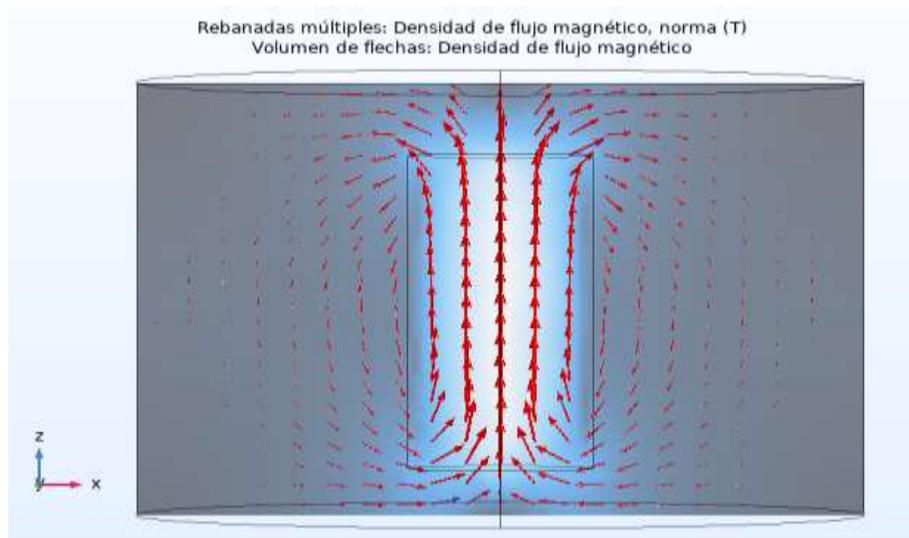
Figura 17: Simulación de campo magnético generado. (Fuente propia)



Nota: En la figura se observa que el campo magnético generado varía entre 2,35 y 2,36 Teslas.

Por otro lado, bajo las mismas condiciones de estudio se simula el flujo magnético que se genera en la espira, visualizando que la probeta es calentada de manera uniforme,

Figura 18: Simulación de flujo magnético generado. (Fuente propia)



Nota: En la figura se observa el flujo magnético generado con las corrientes del mismo.

Mediante las simulaciones registradas se encontraron parámetros como campo magnético generado, temperatura máxima y tiempo de calentamiento, los cuales fueron resultados de las variaciones introducidas al inicio de las pruebas. Para tomar una decisión del módulo que se necesitaba para el ensayo, por medio de las iteraciones en el software Comsol se analizaron los resultados de cada una encontrando patrones de cumplimiento con respecto a las características técnicas, y fue allí donde se realizó el ajuste hasta llegar al punto de estandarizar las condiciones técnicas necesarias para la inducción.

Estos resultados permitieron la selección del módulo de inducción electromagnética con características técnicas de un campo magnético variable entre 2,35 a 2.36 para alcanzar una temperatura de 800 a 1100°C, frecuencia de 30000 Hz, voltaje de 48v.

Estos datos se usaron de referencia en la búsqueda de las fuentes disponibles, entre estas se encontraron: Placa de calefacción de inducción Módulo 1800 watts, 40 amperios y 12-48 voltios; Placa de calefacción de inducción Módulo de bajo voltaje 1000 watts, 20 amperios y 12-48 voltios; Placa de calefacción de inducción Módulo 2500 watts, 50 amperios y 12-48 voltios; y, Placa de calefacción de inducción Módulo 4000 watts, 85 amperios y 48 voltios.

En función de estos resultados se adquirió un módulo de inducción electromagnética con las siguientes características:

Nombre: 2500W ZVS Módulo de placa de calentamiento por inducción Flyback Driver Calentador + Bobina Tesla + Ventilador dual

Modelo: A52357

Material: metal + plástico

Color: Negro

Fuente de alimentación: Placa base Voltaje de entrada: 12V- 48 V

Potencia máxima: 2500W

Corriente máxima: 50A

Campo Magnético generado: 2.4T

Tamaño: 25x12x9cm

Voltaje de entrada: 200V-250V

Corriente de entrada: 22A

Voltaje de salida: 48V

Potencia de salida: 3000W

Frecuencia: 30000 Hz

Este circuito de calentamiento por inducción utiliza una fuente de alimentación de CC de bajo voltaje de 12-48 V con una corriente máxima de 50 A y una potencia máxima de 2500 W. Funcionamiento continuo en condiciones de buena disipación de calor.

9.2 Diseño y construcción de la máquina

El primer paso para el diseño y construcción de la máquina para el ensayo de Jominy fue analizar modelamientos de estructuras previas construidas las cuales se mencionan en el estado del arte. Como primera medida se pensó en un sistema vertical con el fin de realizar el acople del calentamiento por inducción y el sistema recirculante de agua.

Sistema recirculación de agua

Para este diseño se tuvo en cuenta la norma ASTM A255 que determina los parámetros para realizar el ensayo de forma correcta el cual indica que el caudal de agua debe ser de

$$Q = 0,15 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Tanque Superior

Debe tener un diámetro de (24cm) y altura de (21cm), se calcula el espesor del tanque conociendo el peso específico del fluido (agua) $\gamma = 998,2071 \text{ kg/m}^3$ a una temperatura de 20 °C

Ecuación 11: Esfuerzo permeable para acero estructural. [24]

$$\sigma p = \frac{(y * h)r}{e}$$

$$\sigma p = 1,400 \text{ Kg/cm}^2$$

r =radio

y= peso específico fluido (N/m^3)

h= altura tanque

e=espesor pared

Entonces,

$$P = y * h$$

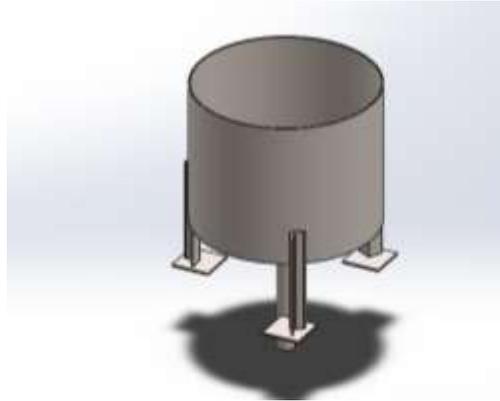
$$P = 9,800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0,021\text{m}$$

$$P = 205,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{1\text{m}^2}{100\text{cm}^2} \times \frac{0,102\text{Kg}}{1\text{N}} \rightarrow P = 0,2096 \text{ kg/cm}^2$$

$$e = \frac{(y*h)(r)}{\sigma p} \rightarrow e = \frac{(0,2096\text{kg/cm}^2)(12\text{cm})}{(1,400 \text{ kg/cm}^2)} \rightarrow e = 1,79 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

Según el cálculo obtenido la lámina requiere un espesor de 0,7 mm, sin embargo, para el acero inoxidable la medida comercial de seguridad es 1,52 mm (Calibre 16), como criterio de diseñador el material usado en el tanque, es acero inoxidable 304 para evitar daños por corrosión.

Figura 19: Ilustración del diseño tanque soporte de la probeta. (Fuente propia)



Tanque Suministro

Debe tener un diámetro de 26cm y altura de 27cm, obteniendo así un volumen de agua de $14,3 \times 10^3 \text{ cm}^3$, como es el mismo fluido (agua) se mantiene el espesor de 1,52mm (Calibre 16) en acero inoxidable 304.

Ecuación 12: Volumen de agua. [24]

$$v = \pi r^2 H$$

$$V = \pi (13\text{cm})^2 (27\text{cm})$$

$$V = 14,3 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

Figura 20: Ilustración del diseño tanque de suministro. (Fuente propia)



Se acondiciona para realizar el llenado, de igual manera para realizar el vaciado del fluido al momento de realizar lavado o limpieza con grifos de ½ pulgada PVC.

Teniendo en cuenta, que la temperatura ideal del agua para llevar a cabo el ensayo Jominy debe estar entre 14- 24 °C, se tiene como control medir esta variable con un pirómetro industrial a lo largo de la ejecución del ensayo, comprobando que se mantenga en el rango adecuado.

Bomba de agua

Las condiciones del ensayo Jominy requieren un caudal constante mínimo de $Q= 0,15 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$ y una salida de agua por una boquilla de 12,7mm (½ Pulgada) para realizar el enfriamiento de la probeta.

De acuerdo con el requisito se puede determinar la Velocidad de expulsión (V_e) del fluido de la siguiente manera:

Ecuación 13: Velocidad de expulsión. [24]

$$V_e = \frac{Q}{A}$$

$$V_e = \frac{(0,15 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\frac{\pi}{4} (0,0127m)^2} \rightarrow V_e = 1,18 \frac{m}{s}$$

$Q=$ Caudal en $\frac{m^3}{s}$

$A=$ Área tubería m^2

En la construcción de forma vertical teniendo en cuenta la altura de los tanques y componentes del calentamiento, se tiene una altura máxima de 1,5 metros para el enfriamiento de la probeta. A partir de esta condición se realiza el cálculo de la potencia mínima que debe tener la bomba de agua (P).

Ecuación 14: Potencia de la bomba. [24]

$$p = \frac{Q * \gamma * H_b}{n}$$

p = potencia (W)

γ = peso específico fluido (N/m^3) = $9,810 \text{ N}/\text{m}^3$ agua

H_b = altura bomba (m)

n = rendimiento bomba

Q = Caudal ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

$$p = \frac{(0,15 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})(9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3})(1,5\text{m})}{(0,75)} = 25\text{W}$$

Con base en las condiciones de la norma y la potencia mínima calculada, se adquirió la bomba sumergible Ref.- Hj1541 con una potencia de 28W, altura máxima 2 metros y caudal máximo $Q = 0,38 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

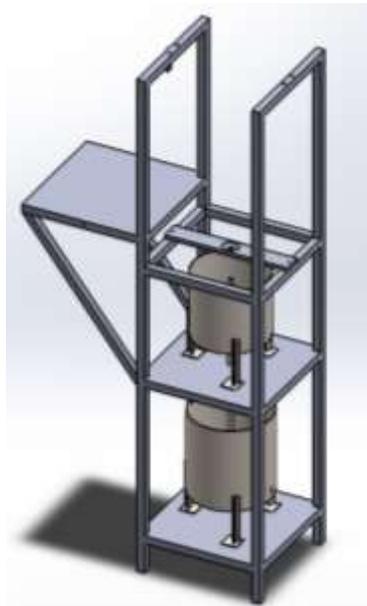
Figura 21: Ilustración de la bomba para el sistema de recirculación. (Fuente propia)



Esta bomba sumergible se encuentra ubicada en el tanque de suministro

En la siguiente simulación del software SolidWorks, se evidencia el funcionamiento del proceso utilizado para la caída del líquido por gravedad del sistema mencionado.

Figura 22: Simulación SolidWorks del sistema de recirculación. (Fuente propia)



Ubicación Sistema de calentamiento electromagnético

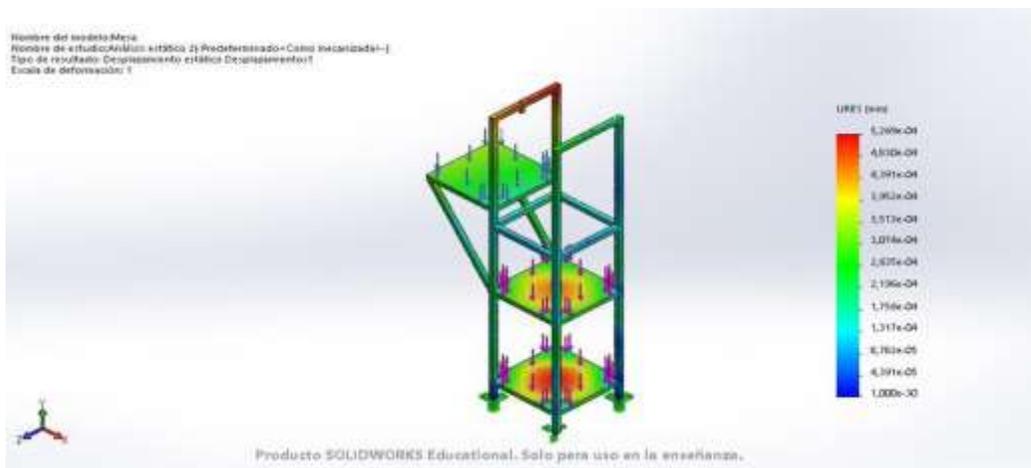
Para la selección del módulo de inducción fue necesario la simulación en Comsol como se mencionó anteriormente, de acuerdo a la geometría del sistema escogido, se determinó la ubicación en la máquina de ensayo Jominy acoplándolo al sistema recirculante y al de posicionamiento.

Figura 23: Ilustración de la fuente módulo por inducción electromagnética. (Fuente propia)



En el ensamble del sistema de calentamiento con el sistema de recirculación, primero se realizó la distribución de cada una de las piezas en una estructura vertical. Se simuló dicha estructura con un tubo cuadrado de 25,4mm, espesor de 1,52mm (Calibre 16) y material A-36. aplicando un análisis estático con las cargas a soportar.

Figura 24: Ilustración del análisis estático de cargas de la estructura. (Fuente propia)

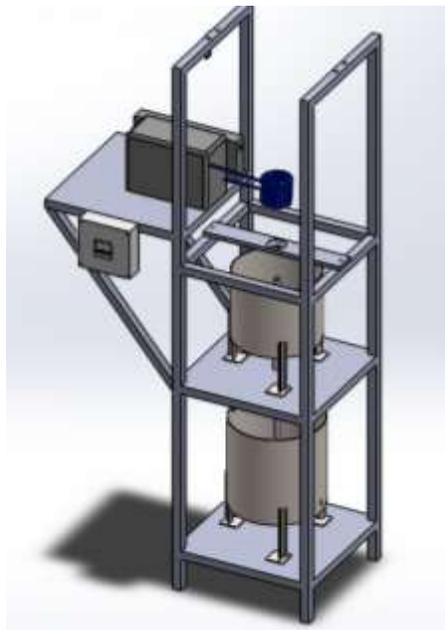


Propiedades

Nombre: ASTM A36 Acero
Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.
Límite elástico: $2,5e+08 \text{ N/m}^2$
Límite de tracción: $4e+08 \text{ N/m}^2$
Módulo elástico: $2e+11 \text{ N/m}^2$
Coeficiente de Poisson: 0,26
Densidad: 7.850 kg/m^3
Módulo cortante: $7,93e+10 \text{ N/m}^2$

Con el análisis de cargas se obtuvo un desplazamiento máximo de 0,0004 mm en la zona inferior donde estará ubicado el tanque de suministro. También de acuerdo al límite elástico $2,5e+08 \text{ N/m}^2$ esta estructura no tendrá deformaciones unitarias permanentes. De tal modo se visualiza el acople de la inducción electromagnética con el sistema recirculante de agua.

Figura 25: Ilustración ubicación de las piezas de la maquina. (Fuente propia)



Para el control de la fuente todo el sistema eléctrico se controla mediante 3 interruptores de encendido/apagado, este detalle se visualiza en el Anexo V

Sistema posicionamiento de la probeta

La probeta de ensayo debe ser mecanizada en el acero utilizado en la prueba, cumpliendo los siguientes parámetros: un diámetro de 12,7mm x 97mm como área de ensayo. En la sujeción se tiene un diámetro de 29 mm y un espesor de 3,18 mm, dando así un largo total de 101,6 mm.

Figura 26: Ilustración de la probeta. (Fuente propia)



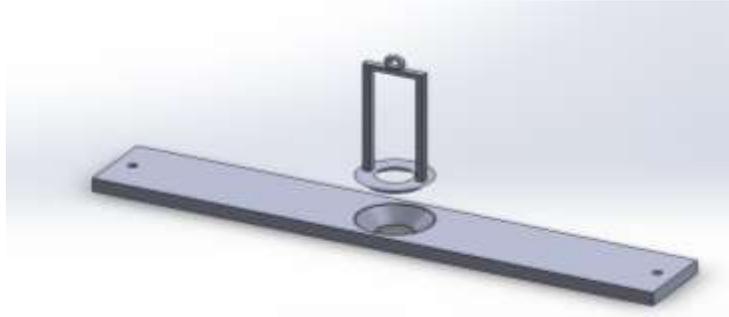
Sujeción

En las maquinas tradicionales la probeta se calienta en un horno, en donde involucra el transporte de está por medio de unas pinzas hasta el apoyo estandarizado para el enfriamiento mediante el sistema recirculante. En la presente maquina se utiliza un sistema de calentamiento acoplado con el sistema de recirculación se requería de un sistema de posicionamiento.

La solución que se dio para el problema del calentamiento de la probeta en la fuente y posterior posicionamiento fue tomar el diseño del avellan a 45° que requiere la sujeción contemplada en la norma ASTM A255 y adaptarlos a un sistema de posicionamiento para

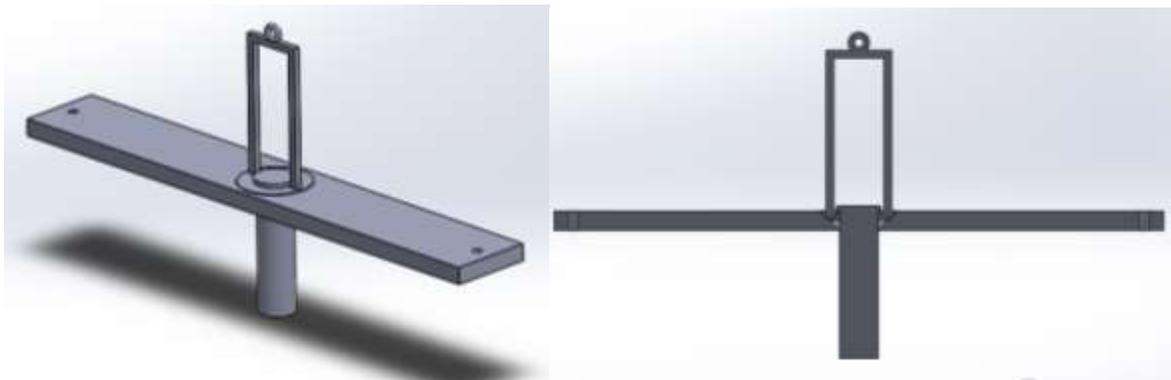
garantizar el correcto funcionamiento del enfriamiento de la probeta, creando un auto-centrado de las piezas soporte (Fija y móvil), como se muestra en la siguiente figura.

Figura 27: Ilustración sección de auto-centrado de la probeta. (Fuente propia)



Esta sujeción está totalmente concéntrica con la boquilla de la bomba, garantizando que el enfriamiento incida solamente en la cara plana inferior de la probeta generando el arco de agua deseado.

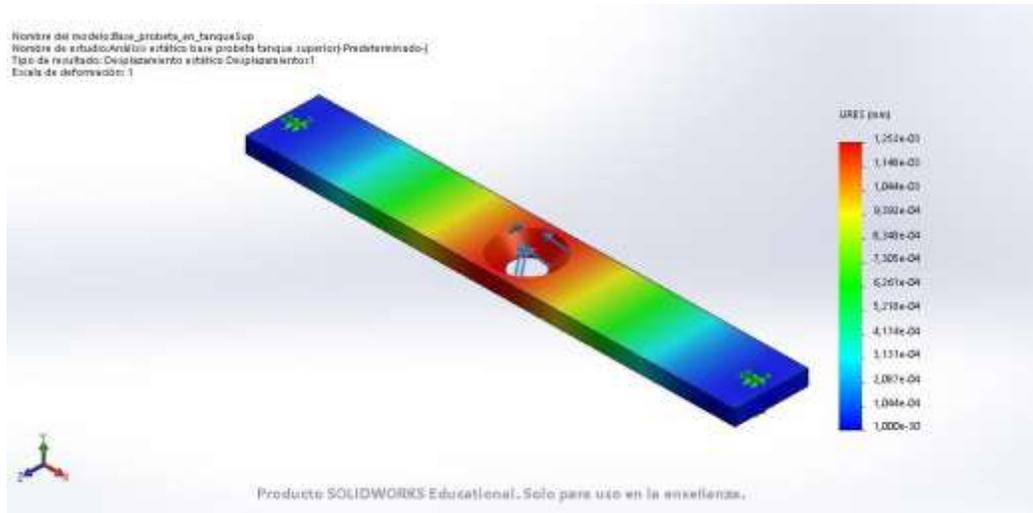
Figura 28: Ilustración del agarre de la probeta en el sistema, Software SolidWorks. (Fuente propia)



Se realizó el análisis estático en cada pieza utilizada en el sistema de auto-centrado, determinando la capacidad que tiene para soportar la carga de la probeta y el desplazamiento unitario en cada una. El material usado en estas partes fue lámina A-36.

Base Fija

Figura 29: Ilustración análisis estático de la base fija. (Fuente propia)



Propiedades

Nombre: ASTM A36 Acero

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $2,5e+08$ N/m²

Límite de tracción: $4e+08$ N/m²

Módulo elástico: $2e+11$ N/m²

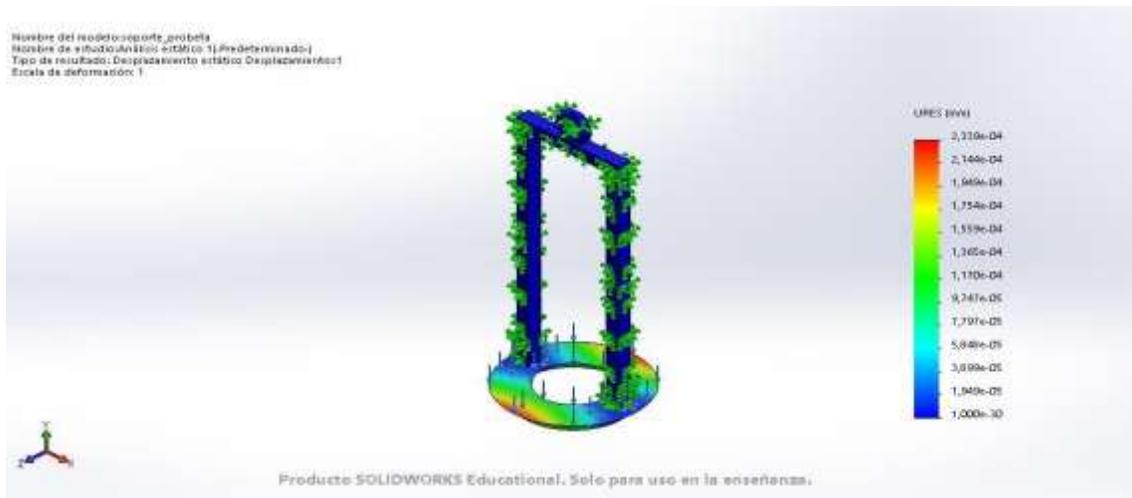
Coefficiente de Poisson: 0,26

Densidad: 7.850 kg/m³

Módulo cortante: $7,93e+10$ N/m²

Base móvil

Figura 30: Ilustración análisis estático de la base móvil. (Fuente propia)



Propiedades

Nombre: ASTM A36 Acero

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $2,5e+08 \text{ N/m}^2$

Límite de tracción: $4e+08 \text{ N/m}^2$

Módulo elástico: $2e+11 \text{ N/m}^2$

Coefficiente de Poisson: 0,26

Densidad: 7.850 kg/m^3

Módulo cortante: $7,93e+10 \text{ N/m}^2$

Posicionamiento

Para garantizar que posterior al calentamiento de la probeta la misma llegue a la posición en la cual se va a templar en el flujo de agua, se diseñó y construyó un sistema de guaya-polea con el fin de posicionar la probeta en el punto exacto y auto-centrado en el sistema de recirculación.

El calentamiento de la probeta se debe hacer de forma progresiva, introduciendo lentamente la pieza dentro de la espira, es allí donde se implementa un piñón tipo trinquete para que su

descenso sea gradual realizándolo cada 2 dientes del trinquete, siendo este paso fundamental en el proceso de calentamiento de la probeta hasta introducir toda el área de ensayo.

Figura 31: Ilustración del sistema de posicionamiento. (Fuente propia)

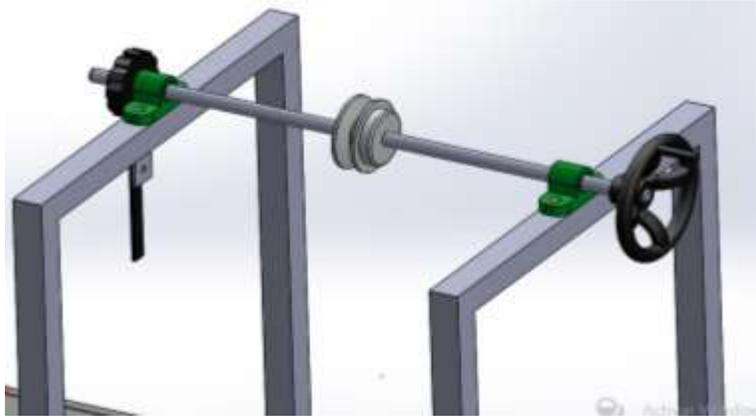
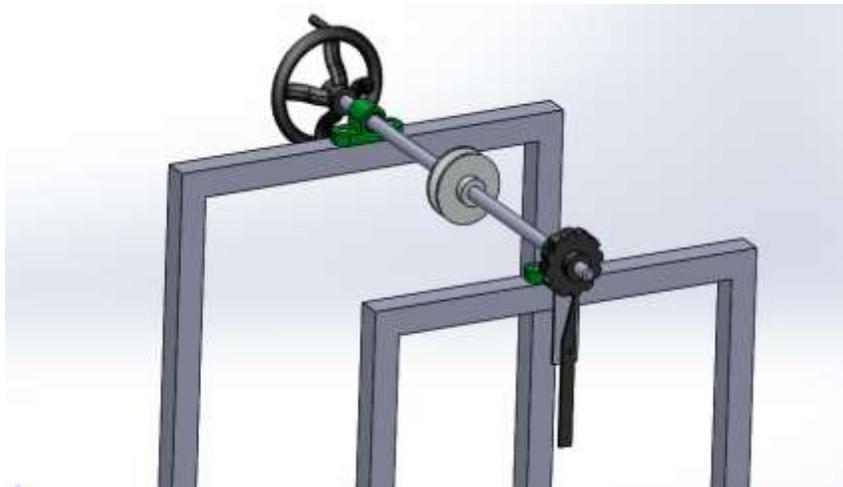


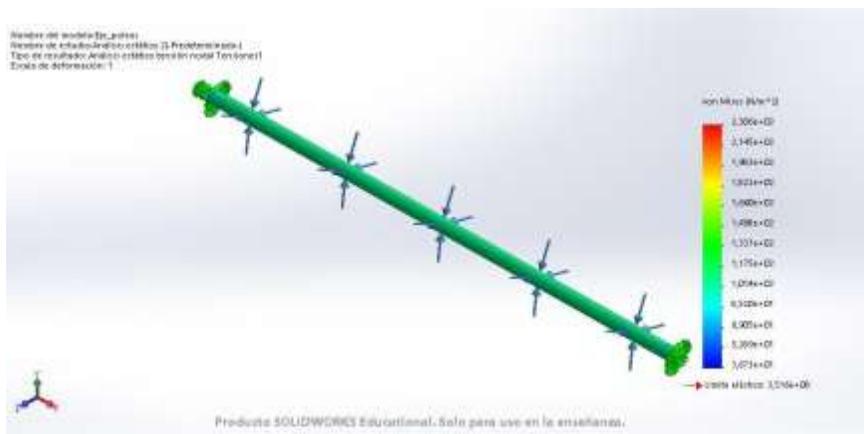
Figura 32: Ilustración del sistema y ubicación del trinquete para el descenso gradual de la probeta. (Fuente propia)



Eje

Construido en acero 1020 redondo de ½ pulgada x 400 mm de largo, mediante el análisis estático se determinó la resistencia en este diámetro y calidad del acero.

Figura 33: Ilustración análisis estático del eje. (Fuente propia)



Propiedades

Nombre: AISI 1020

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $3,51571e+08$ N/m²

Límite de tracción: $4,20507e+08$ N/m²

Módulo elástico: $2e+11$ N/m²

Coefficiente de Poisson: 0,29

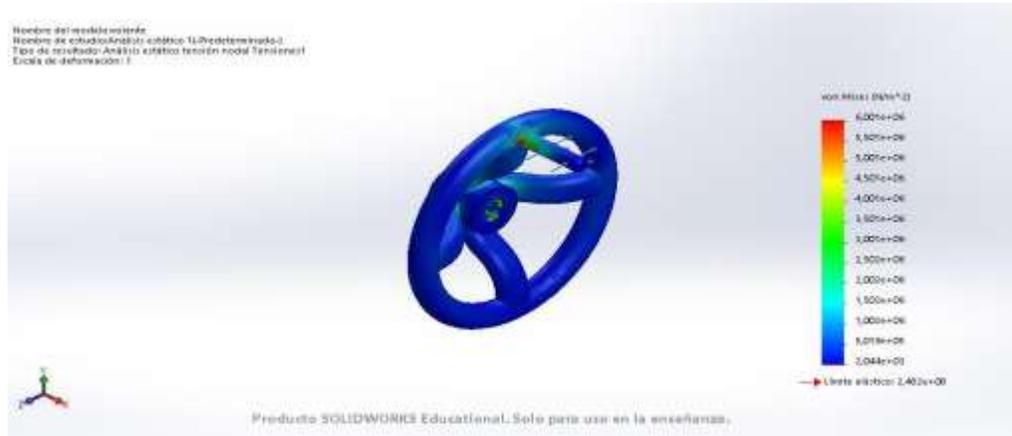
Densidad: 7.900 kg/m³

Módulo cortante: $7,7e+10$ N/m²

Coefficiente de dilatación térmica: $1,5e-05$ /Kelvin

Volante

Figura 34: Ilustración análisis estático del volante. (Fuente propia)



Propiedades

Nombre: Acero al carbono fundido

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $2,48168e+08$ N/m²

Límite de tracción: $4,82549e+08$ N/m²

Módulo elástico: $2e+11$ N/m²

Coefficiente de Poisson: 0,32

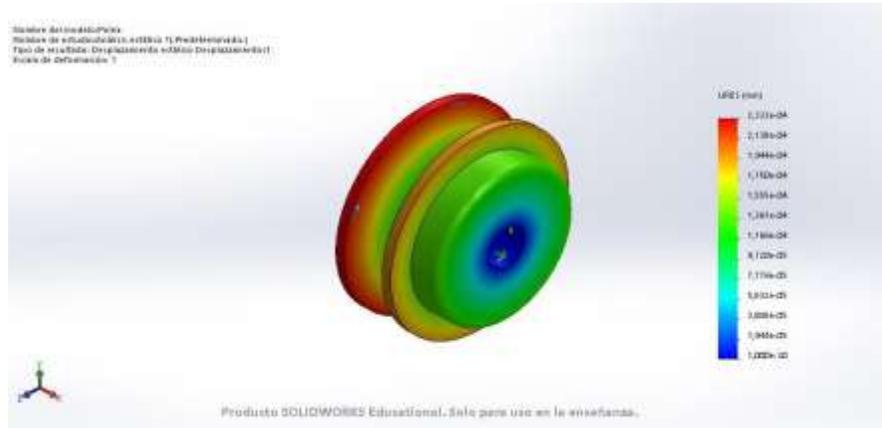
Densidad: 7.800 kg/m³

Módulo cortante: $7,6e+10$ N/m²

Coefficiente de dilatación térmica: $1,2e-05$ /Kelvin

Polea

Figura 35: Ilustración análisis estático de la polea. (Fuente propia)



Propiedades

Nombre: Aleación 1060

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $2,75742e+07 \text{ N/m}^2$

Límite de tracción: $6,89356e+07 \text{ N/m}^2$

Módulo elástico: $6,9e+10 \text{ N/m}^2$

Coefficiente de Poisson: 0,33

Densidad: 2.700 kg/m^3

Chumacera

Para la selección de la chumacera se realizó a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 15: Carga dinámica básica. [53]

$$C = \frac{P d f L}{f N}$$

Donde, C representa la carga dinámica básica requerida, Pd es la carga del diseño, fL es el factor de duración y fN el factor por velocidad.

Con los resultados obtenidos en el análisis estático realizado anteriormente en el Software SolidWorks, para el diseño el valor de $Pd = 55,99 \text{ lb}$. Para los datos del factor de duración y velocidad se obtuvieron de los reportes realizados en el libro de Robert Mott Diseño de elementos de máquinas. [53]

$$fL = 0,7$$

$$fN = 1,2$$

Teniendo en cuenta, la velocidad a rpm a que está sometida la chumacera para asegurar el funcionamiento adecuado de la misma.

Reemplazando en la ecuación:

$$C = \frac{(55,99 \text{ lb})(0,7)}{(1,2)}$$

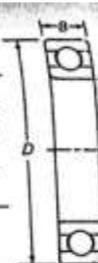
$$C = 32,66 \text{ lb}$$

De acuerdo a la siguiente tabla encontrada en el libro anteriormente mencionado, se selecciona la chumacera adecuada en base a un diámetro comercial (1/2 pulgada).

Figura 36: Valores para la selección de la chumacera. (Fuente propia)

TABLA 14-3 Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad

A. Series 6200

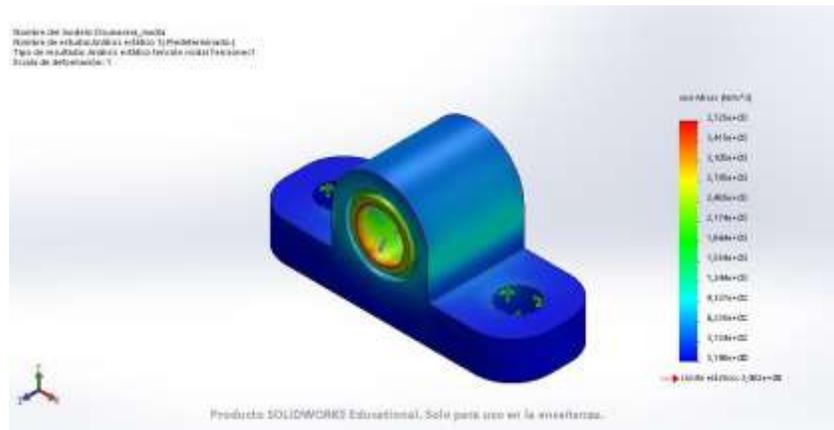


Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento							Diámetro de escolón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática C_o	Capacidad básica de carga dinámica C
	d		D		B		r^*	Eje	Caja			
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg	lb	lb	lb
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180
6204	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660

Nota. Selección de la chumacera de acuerdo a la capacidad básica de carga dinámica. [50]

Conocida como Chumacera de pedestal, 12,7 mm (1/2 pulgada).

Figura 37: Ilustración análisis estático de la chumacera. (Fuente propia)



Propiedades

Nombre: Acero al carbono fundido

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $2,48168e+08$ N/m²

Límite de tracción: $4,82549e+08$ N/m²

Módulo elástico: $2e+11$ N/m²

Coefficiente de Poisson: 0,32

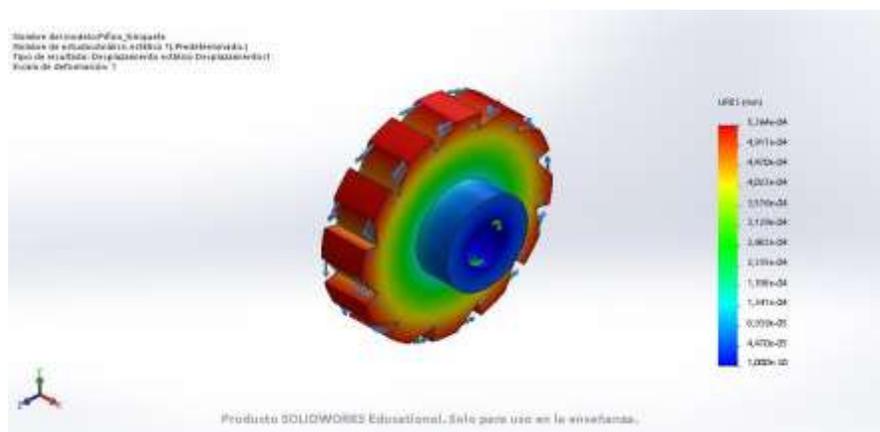
Densidad: 7.800 kg/m³

Módulo cortante: $7,6e+10$ N/m²

Coefficiente de dilatación térmica: $1,2e-05$ /Kelvin

Piñón-trinquete

Figura 38: Ilustración análisis estático del piñón-trinquete. (Fuente propia)



Como criterio de diseño los sistemas de piñón-trinquete, han sido reportados en la literatura para sistemas mecánicos. [54]

Propiedades

Nombre: ASTM A36 Acero

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal

Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Límite elástico: $2,5e+08 \text{ N/m}^2$

Límite de tracción: $4e+08 \text{ N/m}^2$

Módulo elástico: $2e+11 \text{ N/m}^2$

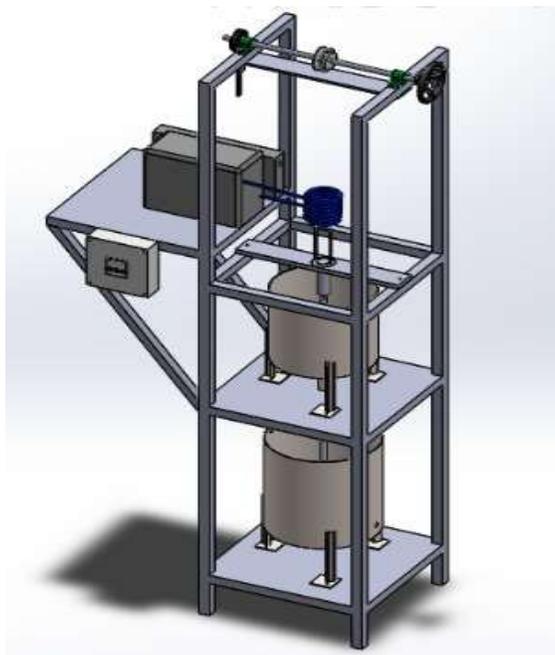
Coefficiente de Poisson: 0,26

Densidad: 7.850 kg/m^3

Módulo cortante: $7,93e+10 \text{ N/m}^2$

Ensamble general de la maquina simulada en SolidWorks

Figura 39: Ilustración ensamble general máquina para el ensayo de Jominy. (Fuente propia)



Maquina construida para el ensayo de Jominy

Figura 40: Maquina construida para el ensayo de Jominy. (Fuente propia)



Nota: En la figura se enseña el resultado final de la máquina de Jominy con cada una de sus partes instaladas y probadas para el correcto funcionamiento de las prácticas.

Para verificar el correcto funcionamiento de la máquina, el calentamiento, enfriamiento y posicionamiento se realizaron diez (10) procesos de temple, con el fin de determinar las temperaturas que alcanzan las probetas en la fragua electromagnética de inducción.

Para la determinación de la temperatura inicialmente se realizó una medida con una termocupla Tipo k de contacto, con unas características técnicas de un rango de aplicación entre (0-1200°C), alta resistencia mecánica y cable de silicona o fibra de vidrio. Aunque este sistema tenía el rango de medida adecuado de temperatura, la medida por contacto no es fácil determinarla debido a que la probeta está suspendida y se pierde el contacto, por lo tanto, la medida censada no es confiable.

Figura 41: Medida de temperatura por termocupla tipo K de contacto. (Fuente propia)



De acuerdo a lo anterior, se toma la medida de la temperatura con un pirómetro industrial el cual registra el dato en el rango del infrarrojo, con medición doble/simple, teniendo en cuenta que la emisión térmica como en la probeta se encuentra en el rango del infrarrojo, para la selección de este pirómetro garantizando la medición de los parámetros del ensayo, que es una temperatura de austenización 800°C para los aceros, se seleccionó el pirómetro con un rango de temperatura de -50 hasta 1300 °C, una precisión de $\pm 2\%$ o 2 °C, la

relación entre la distancia y el punto de 12:1 y una Emisividad de 0,95 con un tamaño portátil de 165x78x40,5mm.

En la figura 42, se muestra la medida de temperatura adquiridas por el pirómetro infrarrojo sobre la probeta sometida al calentamiento electromagnético. Se evidencia que alcanza una temperatura de 1056°C, esta medida se tomó diez veces verificando el rango de precisión del equipo especificada por el fabricante.

Figura 42: Ilustración de la verificación de la temperatura alcanzada por la máquina. (Fuente propia)



De acuerdo a la figura 42, se comprueba que la maquina cumple la función de elevar la temperatura hasta la austenización del material, teniendo un rango de trabajo entre los 800-1100 °C, datos acordes a la simulación realizada en el software Comsol. Lo que cubre el rango de temperaturas de austenización para aceros comerciales que se recomiendan someter a temple y están registrados en la Tabla 6: Temperaturas de normalización y austenización.

Las medidas de temperatura del agua que se tomaron en el tanque de suministro arrojaron datos entre 18 – 23 °C, cumpliendo con el rango establecido para realizar el ensayo, estas medidas se tomaron al inicio, en el intermedio y al final del mismo.

Figura 43: Ilustración verificación de la medida de temperatura del agua en el tanque de suministro. (Fuente propia)



Nota. En la figura 43 se visualiza la medida de temperatura tomada con el pirómetro al agua almacenada en el tanque de suministro, en la ejecución de las pruebas.

10 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una máquina para ensayo Jominy funcional, con sistema de recirculación de agua y un módulo de calentamiento electromagnético acoplado.
- Se realizó una revisión bibliográfica amplia de los ensayos Jominy en la revisión bibliográfica se encontró que hasta el año 2021 las investigaciones no han sido notorias en cuanto a la implementación de un sistema de calentamiento por inducción electromagnética con efecto joule, lo que demuestra que este diseño propone un aporte innovador y moderno para la Universidad Antonio Nariño
- Se diseñó y construyó un sistema de recirculación de agua realizando la simulación en el software SolidWorks en donde se acoplo una bomba de agua sumergible, realizando el proceso de recirculación en una plataforma vertical, en donde el agua cae por gravedad al tanque de suministro cumpliendo el objetivo.
- Se realizó medición de la temperatura en el sistema de recirculación de agua, más específicamente en el tanque de suministro, en donde se verifica que el agua requerida para el ensayo está dentro de los parámetros contemplados por la norma ATSM A255.
- Se simulo el proceso de calentamiento por inducción electromagnética sobre probetas de acero utilizando el software Comsol, producto de los resultados de esta simulación se obtuvieron las características técnicas del sistema de calentamiento Joule el cual se adquirió comercialmente de acuerdo a estos parámetros el módulo de inducción electromagnética ZVS 2500.
- Utilizando el software SolidWorks de acuerdo a la revisión bibliográfica se realizó un diseño mecánico vertical para la máquina de ensayo Jominy que permitió auto-centrar el sistema de calentamiento con el sistema de posicionamiento y el flujo de agua.
- La construcción de la maquina se llevó a cabo de acuerdo a los planos realizados en el programa SolidWorks. El diseño vertical permitió un acople preciso del sistema

de calentamiento, posicionamiento y recirculación de agua para el proceso de temple. Adicionalmente se comprobó que la maquina cumple sus funciones a cabalidad, alcanzando la temperatura de austenización del acero (800-900 grados centígrados) y luego enfriarlo para la ejecución de las prácticas de laboratorio utilizando un pirómetro industrial.

- Se realizaron ensayos de templabilidad según la norma ASTM A255 utilizando la maquina lo cual permitió verificar el correcto funcionamiento de la misma, se pudo comprobar la temperatura de austenización, reportando que el proceso de enfriamiento se da de acuerdo a lo reportado en la literatura. No se construyeron perfiles de dureza debido a que no se tiene acceso a los laboratorios mecánicos de la universidad para realizar dichos ensayos debido a las restricciones ocasionadas por la pandemia.

Referencias

- [1] L. Abarca, M. Álvarez, R. Olivares y M. Reyes, «Laboratorio de tratamientos termicos: Templabilidad,» Departamento de ingeniería en metalurgia, Santiago de Chile, 2019.
- [2] F. Pérez Martínez, «Metodología para el cálculo de la templabilidad de piezas de acero,» Universidad Técnica de la Habana, Habana, Cuba, 2009.
- [3] C. Espinoza, «Transformación martensítica y efecto memoria en materiales micro y nanoestructurados.,» Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, 2007.
- [4] J. A. Mejía Cardena y I. Iglesias, «Diseño y construcción de una máquina de ensayo Jominy de templabilidad para la carrera de ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte,» Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2016.
- [5] M. M. Muñoz Guzmán, «Diseño e instalacion de una máquina de ensayo de Jominy,» Universidad Estatal de Milagro, Guayas, Ecuador, 2011.
- [6] S. A. Casco Pozo y A. A. Sigcha Ledesma, «Diseño y construcción de una máquina para caracterizar la templabilidad de los aceros aleados en probetas destinada para los laboratorios de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana,» Universidad Politécnica Salesiana , Quito, Ecuador , 2015.
- [7] H. Muhammad, M. Muhammad, O. Muhammad, N. Muhammad y H. Syed, «Design

- and fabrication of Jominy End-Quench Testing Machine: Hardenability,» *Journal of testing and evaluation* , pp. 185-241, 2017.
- [8] J. A. Orivri, «Design and manufacturing Plan of a Jominy Testing Device,» University of applied science, Riihimäki, 2012.
- [9] A. A. Yekinni, J. O. Agunsoye, S. A. Bello, I. O. Awe y S. I. Talabi, «Fabrication of End Quenched Machine: Hardenability Evaluation,» *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* , pp. 25-36, 2014.
- [10] C. Mehmet y Ö. Abdullah, «Investigation of the correlation between thermal properties and the hardenability of Jominy bars quenchedwith air water mixture for AISI 1050 steel,» *Materials and Design* , pp. 3099-3105, 2011.
- [11] J. O. Aweda, S. O. Abegunde y R. M. Mahamood, «Development and performance evaluation of Jominy End-Quench Apparatus.,» *The pacific Journal of Science and Tecnology* , pp. 5-12, 2017.
- [12] L. Allen, «Jominy Hardenability Tester with insitu heater.,» Williams Honors College, Ohio, United States, 2020.
- [13] C. Romero, «Banco de pruebas para ensayo Jominy,» Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá, 2016.
- [14] H. Munir y B. Morton, «Electricity and Magnetism,» University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, United States, 1985.

- [15] J. Alejos Ortega, L. Estrada Rojo, C. A. Fuentes Hernandez, E. J. Rodriguez Segura, I. Álvarez Ariza, J. J. Arizaga Ibarra y D. Diaz Lopez, «Sistema de calentamiento por inducción electromagnética para pruebas experimentales en laboratorios de Físico-Química,» *Pistas Educativas*, pp. 641-664, 2015.
- [16] A. Acevedo Picón, J. Barrero Perez y J. A. Gelvez Figueredo, «Calentamiento por inducción electromagnética: Diseño y construcción de un prototipo,» *UIS Ingenierias*, pp. 69-76, 2007.
- [17] Universidad Técnica Nacional, «Metalografía y tratamientos térmicos: Temple y revenido,» Capitulo X, Ibarra, Ecuador, 2008.
- [18] T. Martín Blas y S. Ana, «Magnetismo,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2009.
- [19] A. Cantarero, «Electromagnetismo,» Universidad de Valencia, Valencia, España, 2006.
- [20] A. Fernández Serrano y T. Martín Blas, «Magnetismo,» Madrid, 2015.
- [21] B. Savoini y M. A. Monge, «Corriente eléctrica,» Madrid, 2014.
- [22] F. J. Belzunce, «Aceros y fundiciones: estructuras, transformaciones, tratamientos térmicos y aplicaciones,» Universidad de Oviedo, 2001.
- [23] Escuela colombiana de ingeniería, «Tratamientos térmicos protocolo curso de materiales,» Facultad de ingeniería industrial, Bogota, 2008.

- [24] Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel, «ATSM A255,» 2014.
- [25] Universidad de Buenos Aires , «Ensayo de dureza,» Buenos Aires, Argentina, 2011.
- [26] G. Calle y E. Henao, «Dureza Rocwell,» 2010.
- [27] E. Santos, J. Yenque, O. Rojas y V. Rosales, «Acerca del ensayo de dureza,»
Industrial data, pp. 73-80, 2001.
- [28] L. A. Guía Hernández, «Acero AISI 4140,» Instituto Tecnológico del Saltillo, Saltillo,
Mexico, 2020.
- [29] L. Castro, «Tratamientos térmicos en aceros. Diagramas enfriamiento TTT,»
Universidad a Distancia de Madrid, Madrid, España, 2016.
- [30] M. A. Rico Cordero, «Tratamientos térmicos templabilidad,» 2018.
- [31] J. M. Vallejos, «Templabilidad de aceros y ensayo Jominy. Selección de aceros para
temple,» Univerdidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina, 2020.
- [32] M. Torres, «Ensayo de Jominy,» Academia.edu, 2014.
- [33] M. Fernandez, «Templabilidad, Ensayo Jominy,» Universidad Nacional de Lomas de
Zamora, Buenos Aires, Argentina, 2020.
- [34] L. F. Lopez, «Ley de Faraday-Lenz,» Instituto Senderos Azules, Buenos Aires
Argentina, 2007.
- [35] A. Castaño, «Campo Magnético,» Universidad Nacional del Nordeste, Chaco,

Argentina, 2008.

[36] C. Lopez, «Fundamentos electrónicos para la computación,» Universidad Autónoma de Hidalgo, Pachuca, Mexico, 2014.

[37] Junta de Andalucía, «Interacción electromagnética,» Andalucía, 2015.

[38] A. Aviles, «Interacción electromagnética inducción,» IES La Magdalena, Asturias, España, 2012.

[39] J. A. Soto y C. Pacheco, «Corrientes de Foucault. Medida de conductividad eléctrica por inducción electromagnética.,» Universidad de Valencia, Valencia, España, 2009.

[40] J. L. Hernández Pérez, J. Solá de los Santos y R. D. Fernández Cruz, «Estudio empírico de las corrientes de Foucault, combinando un campo magnético con el campo gravitatorio,» Grupo Heurema Departamento de Física y Química I.E.S. Cervantes, Madrid, España, 2019.

[41] J. Farley y R. H. Price, «Field just outside a long solenoid,» Phys, 751-754, 2001.

[42] IMA, «¿Como crear una corriente de Foucault?,» IMA Corporation, Barcelona, España, 2018.

[43] B. A. Muñoz, «Efecto Joule,» 2017.

[44] Comunidad FaCENA, «Corrientes de Foucault,» Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agromensura, Corrientes, Argentina, 2010.

- [45] I. Ramírez, A. Ramírez y J. Cardenas, «Efecto Joule,» Universidad del Valle , Cali, 2018.
- [46] Universidad del pais Vasco, «Ley del enfriamiento de Newton,» Lejona, España, 2002.
- [47] Ambrell, «Acerca de inducción calentamiento,» Ambrell LTDA, Estados Unidos de América, 2018.
- [48] M. Huamaní, «Efecto skin en conductores,» Cite energía, Lima, 2017.
- [49] C. Reyner, «Ecured,» 16 Enero 2014. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/>.
- [50] V. Rudnev, D. Loveless y R. Cook, «Handbook of induction heating,» *CRC Press*, pp. 51-140, 2017.
- [51] E. Campos Valverde y O. Saborio Ortiz, «Efecto piel en conductores de corriente,» Tecnologico de Costa Rica, Cartago, Costa Rics, 2020.
- [52] CIA. General de aceros, «Acero grado de Ingenieria,» Compañía General de Aceros S.A., Bogotá, Colombia, 2020.
- [53] R. Mott, «Cojinetes con contacto rodadura,» de *Diseño de elementos de máquinas*, Mexico, Ingramex SA, 2006, pp. 607-612.
- [54] A. Sánchez Rodríguez, A. J. Muñoz García, R. Lesso Arroyo, R. Rodríguez Castro, K. A. Camarillo Gómez y C. R. Aguilar Najera, «Diseño conceptual de un generador de energía mediante resuctores de velocidad vehicular: parte mecánica,» *Pistas Educativas* , vol. XXXIII, n° 103, pp. 56-73, 2013.

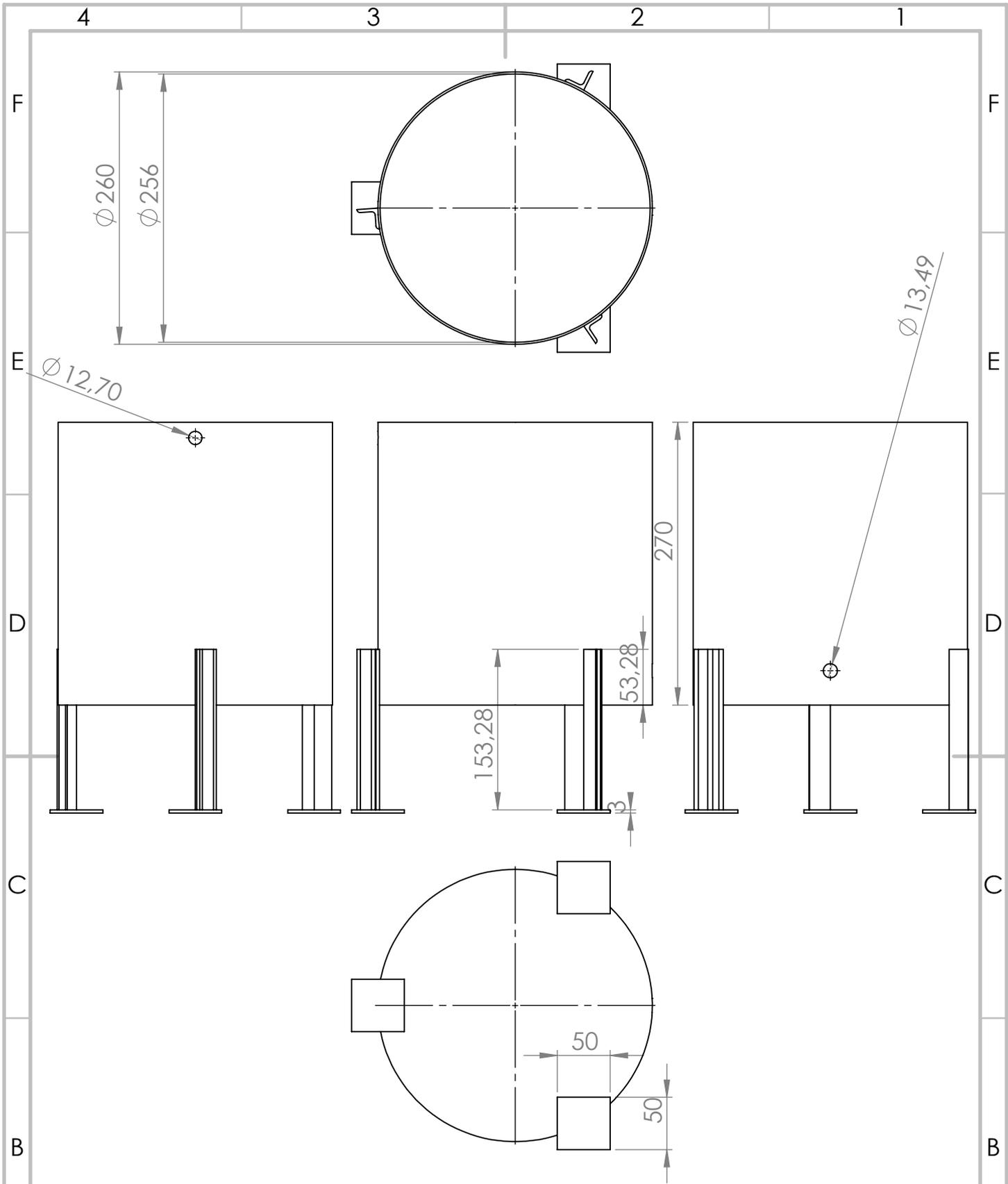
- [55] J. Moya, «Templabilidad de los aceros. Curvas del ensayo de Jominy,» 2017.
- [56] P. Gracia, «Características de la propagación de las ondas de radar en medios materiales,» Universidad Católica de Oriente, Rionegro, 2015.
- [57] V. Gómez, «Templabilidad, Ensayo de Jominy,» Universidad Tecnica Nacional, Tucumán, Argentina , 2015.
- [58] M. Flores Mora, «Tratamientos termicos de los aceros,» 2016.

ANEXOS

ANEXO I: SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

Contenido:

1. Planos de tanque inferior y superior
2. Evidencia fotográfica de la fabricación de tanque inferior y superior
3. Planos de la estructura soporte de la máquina para el ensayo de Jominy
4. Evidencia fotográfica de la fabricación de la estructura soporte para la maquina
5. Planos de bomba sumergible
6. Evidencia fotográfica de adquisición y funcionamiento de la bomba
7. Evidencia fotográfica de acople y funcionamiento del sistema de recirculación de agua



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA
 REVISIÓN

Tanque Inferior

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ. Diego Garzon		27/04/21
VERIF. David Mosquera		27/04/21
APROB.		
FABR.		
CALID.		

TÍTULO:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

N.º DE DIBUJO: **4**

MATERIAL:
Acero Inox 304

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1



A4

4

3

2

1

F

F

Ø 31,02

Ø 22,02

Ø 236

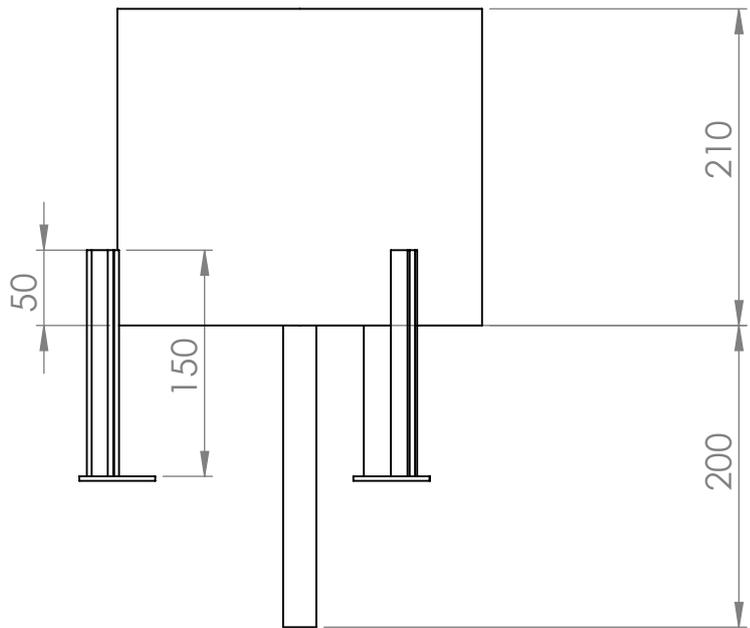
Ø 240

E

E

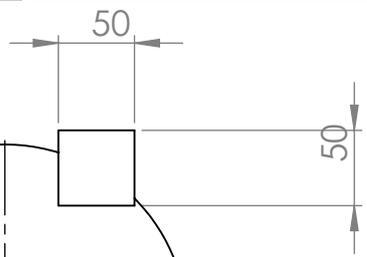
D

D



C

C



B

B

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Tanque Superior

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21
VERIF.	David Mosquera		27/04/21
APROB.			
FABR.			
CALID.			

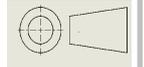
MATERIAL:
Acero Inox 304

TÍTULO:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

N.º DE DIBUJO
5

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



4

3

2

1

A

A

A4

Fabricación de los tanques del sistema de recirculación de agua.

Tanques soldados, material acero inoxidable

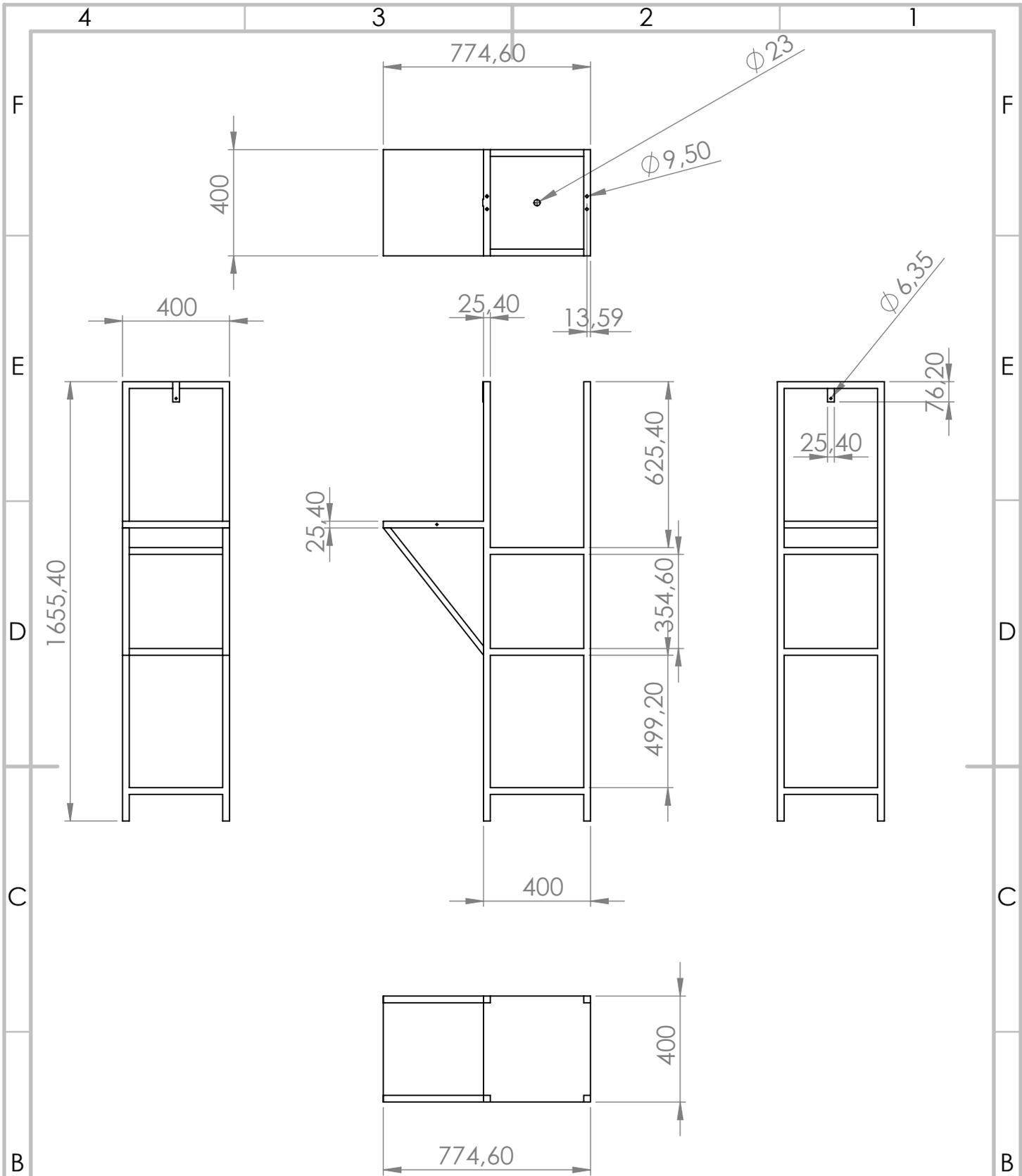


Brillo en tanques.



Tanques terminados





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

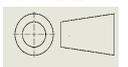
NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Estructura

TÍTULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE
 ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE
 PROBETAS POR INDUCCIÓN
 ELECTROMAGNÉTICA**



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21
VERIF.	David Mosquera		27/04/21
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL:

A-36

N.º DE DIBUJO

3

A4

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

Fabricación de estructura soporte para la máquina

Proceso de soldado de la estructura soporte

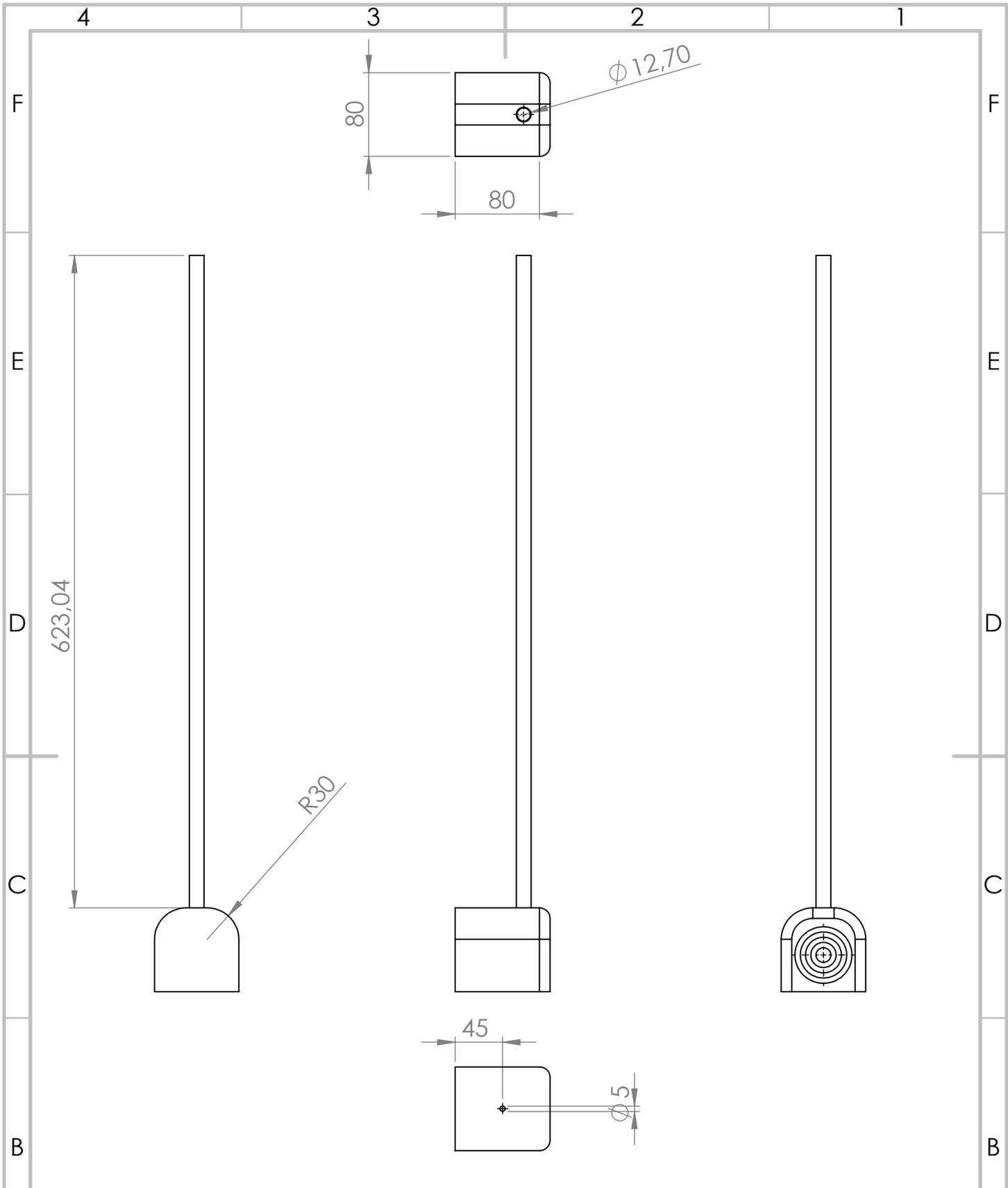


Instalación de láminas en la estructura soporte



Estructura soporte construida





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Bomba Agua Sumergible

TÍTULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
 DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE
 PROBETAS POR INDUCCIÓN
 ELECTROMAGNÉTICA**



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21
VERIF.	David Mosquera		27/04/21
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL:

Plastico-metal

N.º DE DIBUJO

7

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

Conexión y pruebas de bombeo en el sistema de recirculación de agua.

Adquisición de la bomba sumergible



Pruebas de funcionamiento de la bomba



Conexión de la bomba al sistema de recirculación



Construcción del sistema de recirculación

Proceso de ensablaje tanques + bombeo + estructura soporte



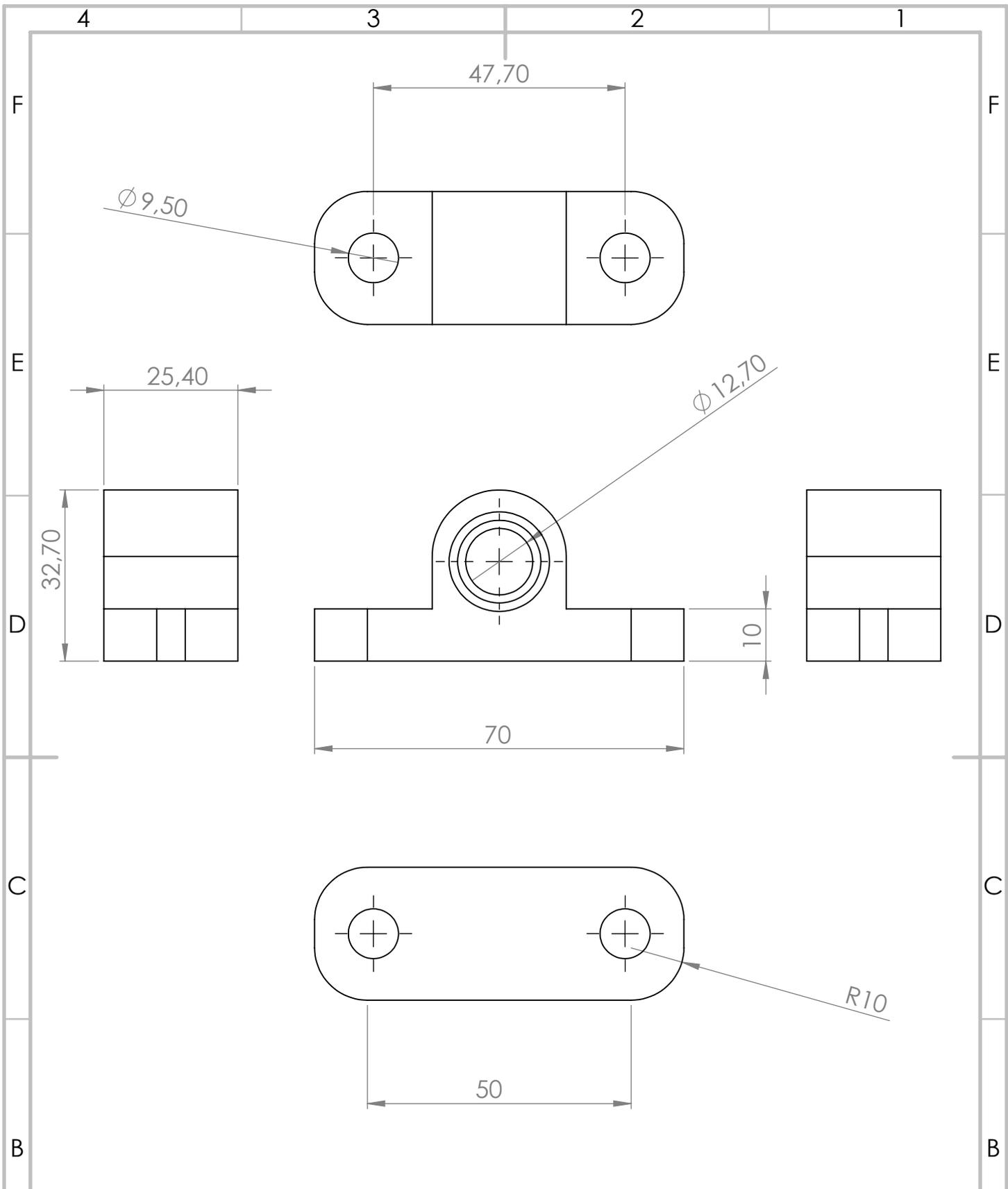
Sistema de recirculación construido



ANEXO II: SISTEMA DE SUJECIÓN

Contenido:

1. Planos de las piezas para el sistema de posicionamiento.
2. Evidencia fotográfica de adquisición, fabricación y funcionamiento del sistema de posicionamiento
3. Planos de las piezas del sistema de sujeción
4. Evidencia fotográfica del funcionamiento del sistema de sujeción



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Chumacera 1/2 pulgada

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21
VERIF.	David Mosquera		27/04/21
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
 DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE
 PROBETAS POR INDUCCIÓN
 ELECTROMAGNÉTICA**

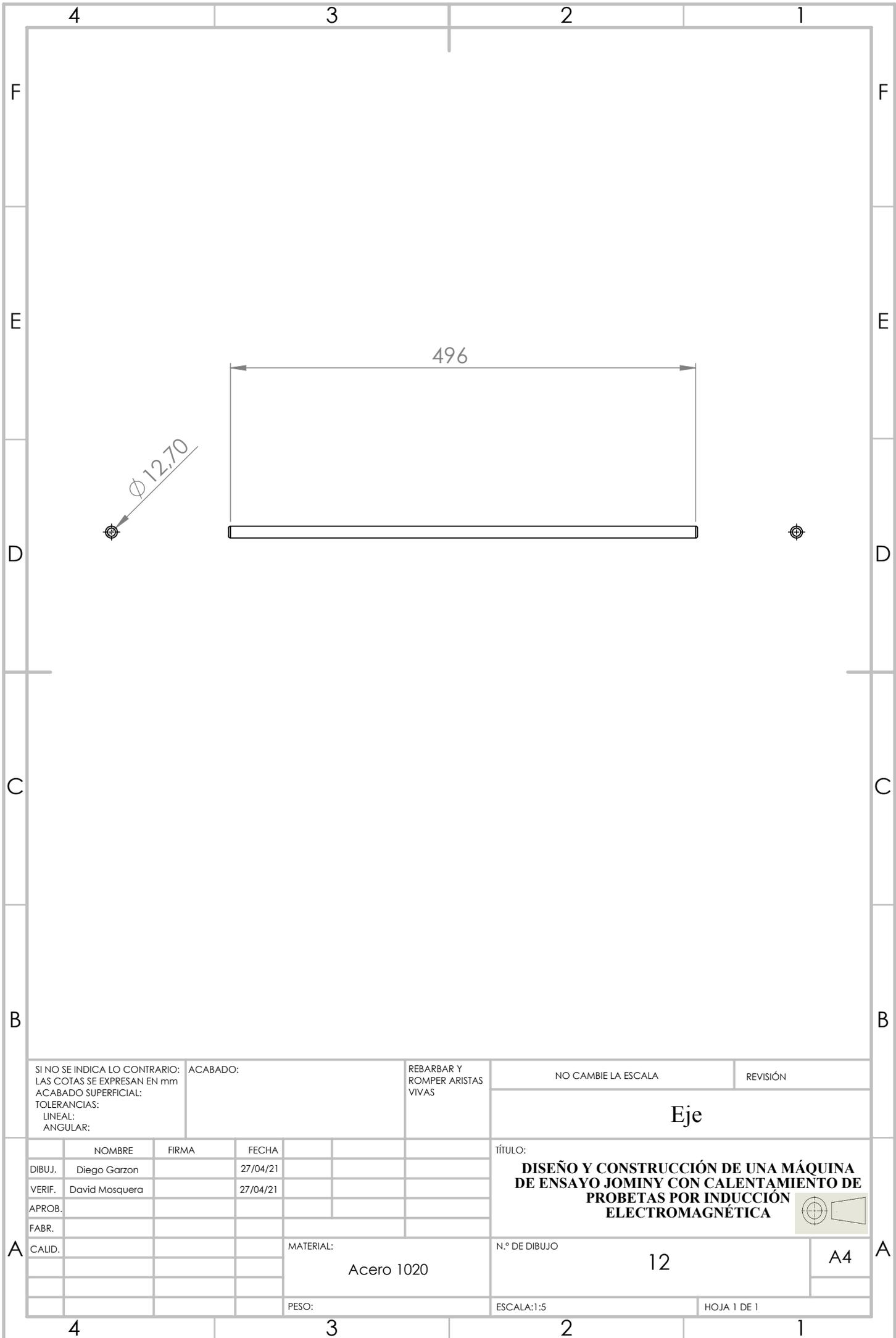


N.º DE DIBUJO: **11**
 ESCALA: 1:1
 HOJA 1 DE 1

A4

MATERIAL:
Acero

PESO:



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Eje

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21		
VERIF.	David Mosquera		27/04/21		
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	
				Acero 1020	
				PESO:	

TÍTULO:		
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA		
N.º DE DIBUJO	12	A4
ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

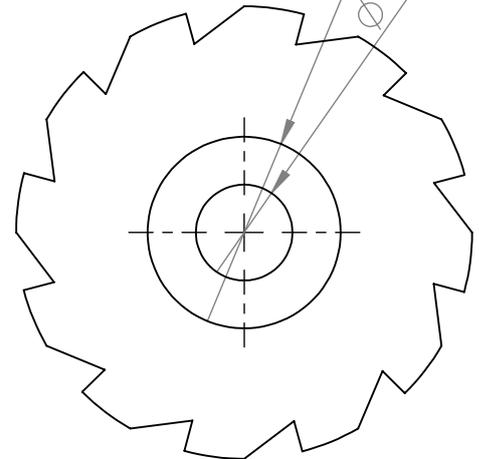
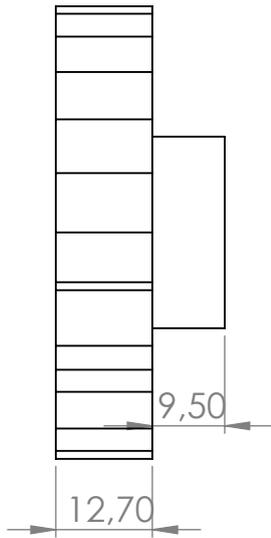
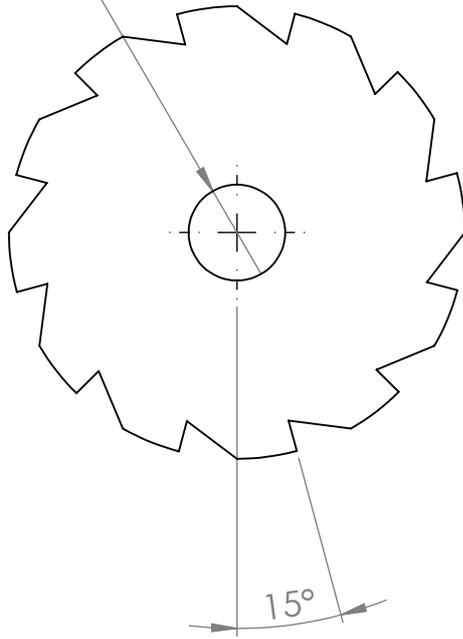
B

B

$\varnothing 12,70$

$\varnothing 25,40$

$\varnothing 12,70$



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Piñon Trinquete

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21	
VERIF.	David Mosquera		27/04/21	
APROB.				
FABR.				
CALID.				MATERIAL: A-36
				PESO:

TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA		
N.º DE DIBUJO	13	A4	
ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1		



4 3 2 1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

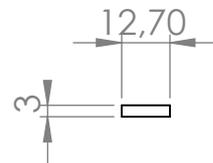
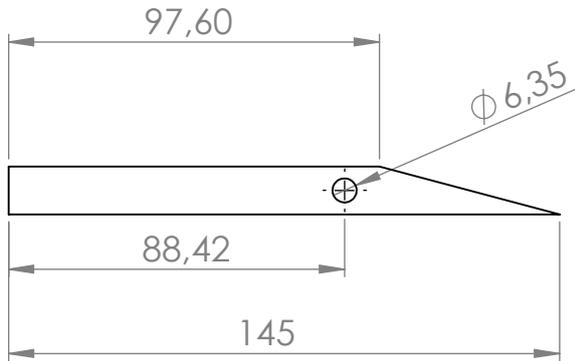
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	Palanca Trinquete			

	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21			DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
VERIF.	David Mosquera		27/04/21			
APROB.						
FABR.						

CALID.		MATERIAL:	A-36	N.º DE DIBUJO	14	A4
		PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1

4

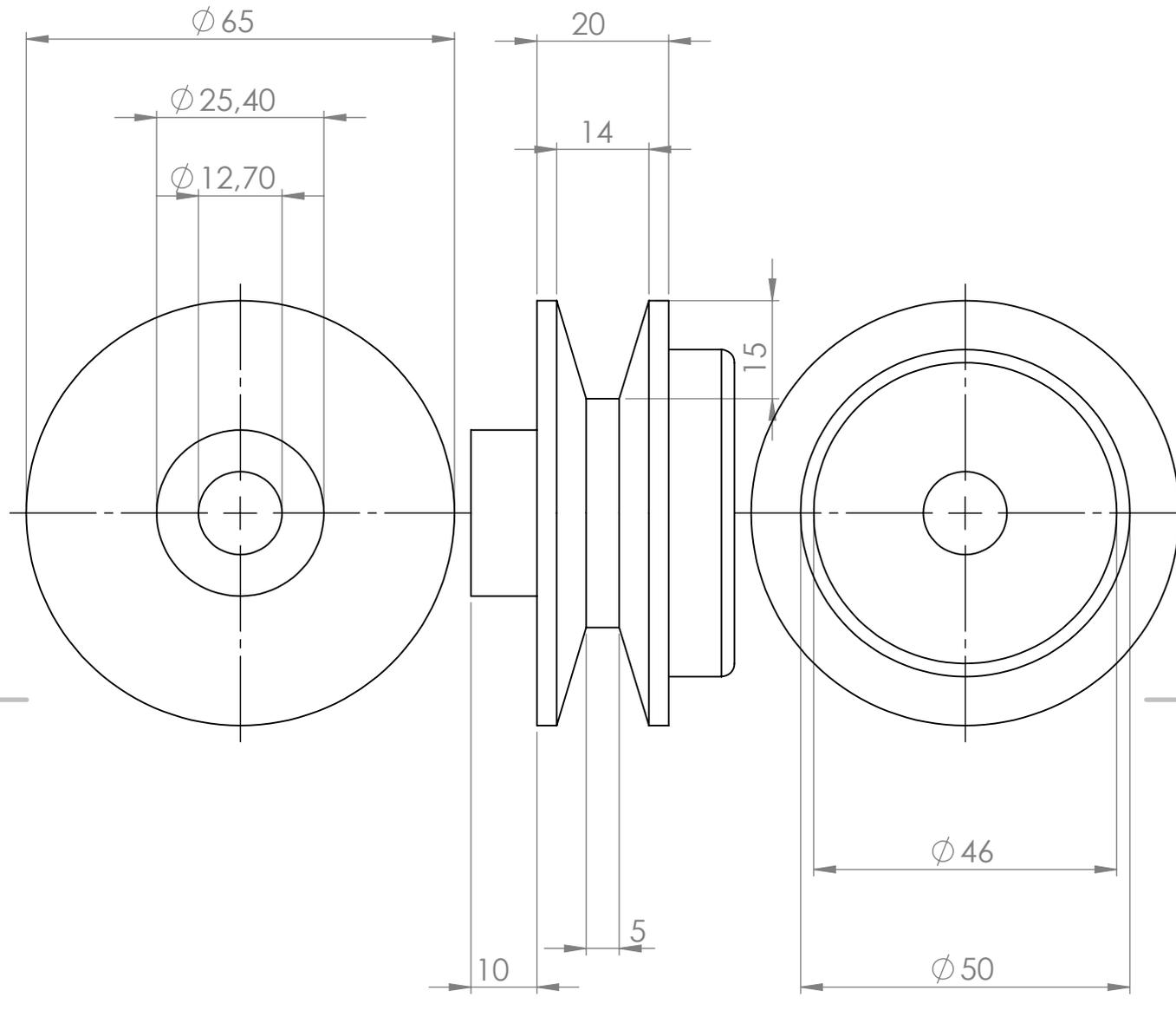
3

2

1

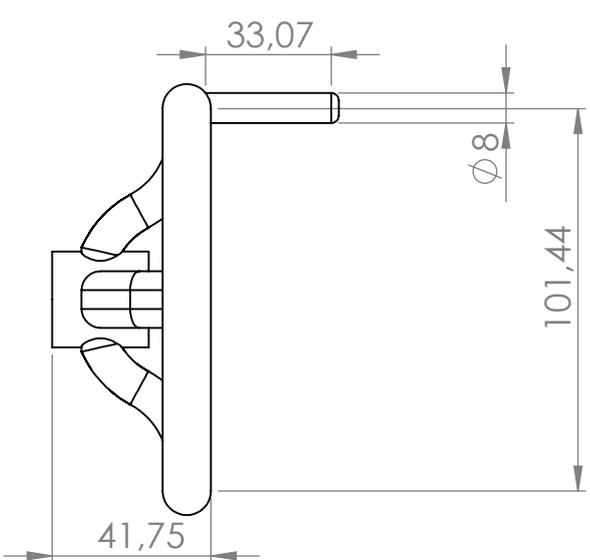
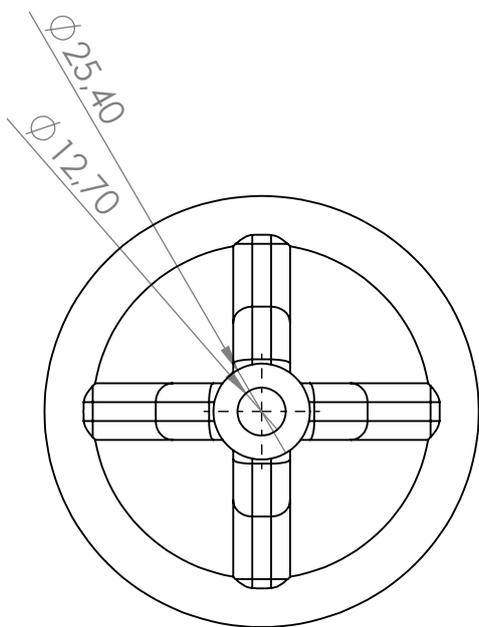
A

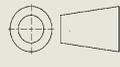
A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					Polea	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. Diego Garzon				27/04/21	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA	
VERIF. David Mosquera				27/04/21		
APROB.						
FABR.						
CALID.			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	A4
			Aluminio		15	
			PESO:		ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN																				
					Volante																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>Diego Garzon</td> <td></td> <td>27/04/21</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>David Mosquera</td> <td></td> <td>27/04/21</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21	VERIF.	David Mosquera		27/04/21	APROB.				FABR.				TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA 		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																							
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21																							
VERIF.	David Mosquera		27/04/21																							
APROB.																										
FABR.																										
MATERIAL: Acero Fundido				N.º DE DIBUJO 16		A4																				
PESO:				ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1																				

Fabricación de sistema de posicionamiento

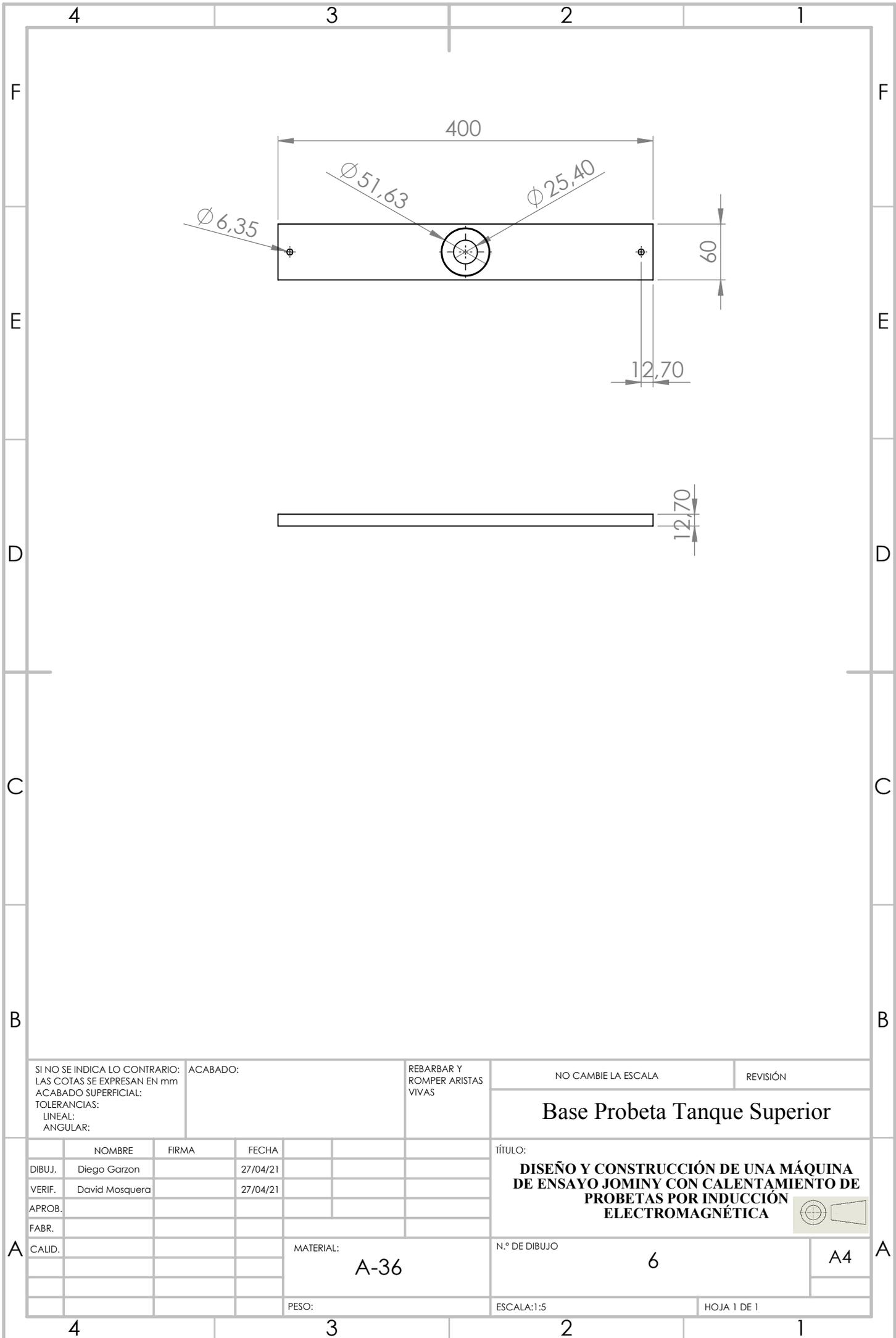
Adquisición de materiales chumacera, piñón trinquete, polea y volante



Sistema de posicionamiento ensamblado







SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Base Probeta Tanque Superior

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Diego Garzon		27/04/21
VERIF.	David Mosquera		27/04/21
APROB.			
FABR.			
CALID.			

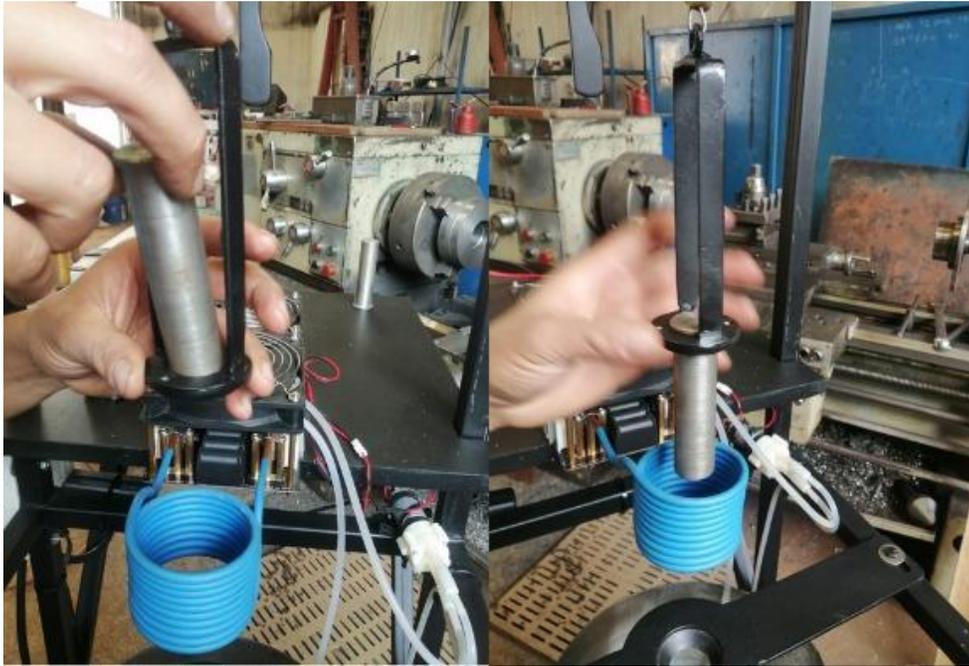
TÍTULO:	
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA	
N.º DE DIBUJO	6
MATERIAL:	A-36
PESO:	
ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1



A4

Fabricación sistema de sujeción

Ubicación de la probeta en el sistema



Descenso de la probeta hasta el sistema de recirculación



Acople de la probeta auto-centrada en el sistema de recirculación



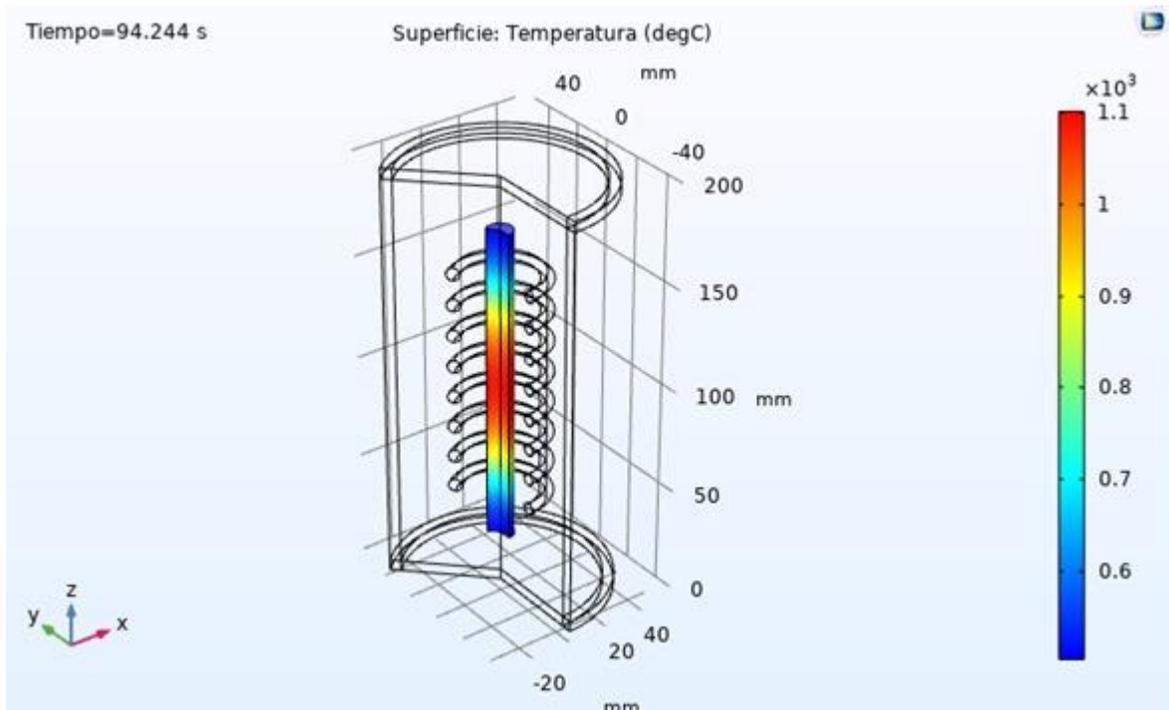
ANEXO III: SISTEMA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Contenido:

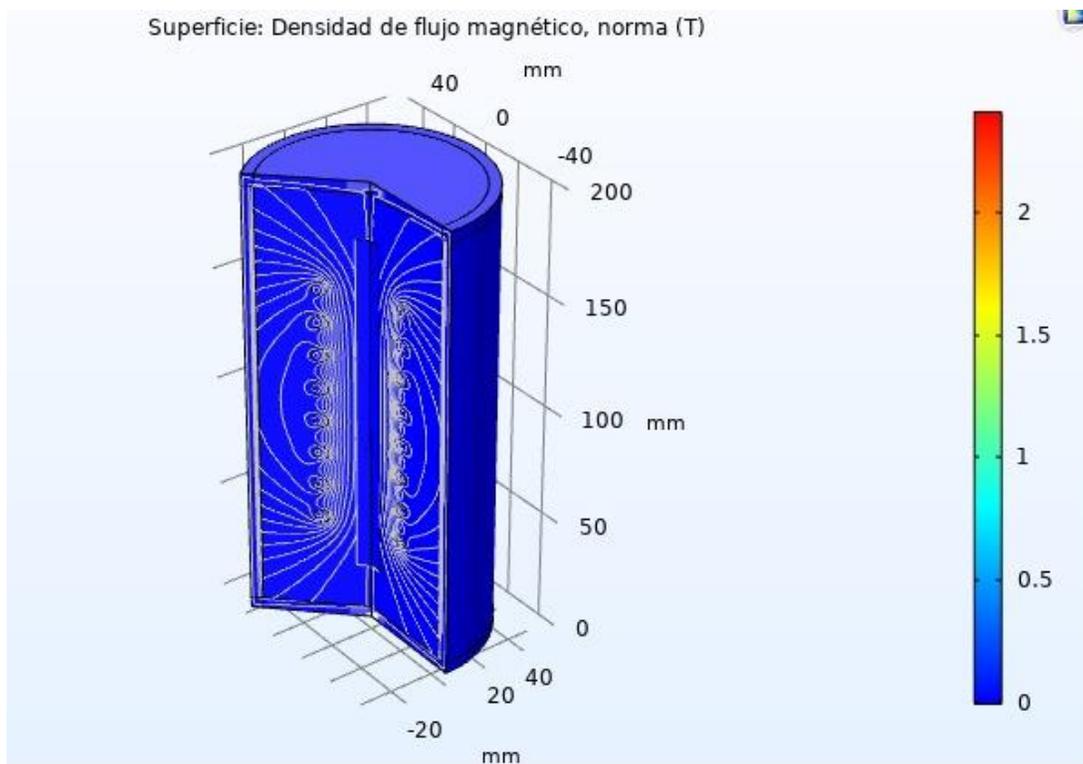
1. Simulaciones en el Software Comsol para elección del módulo.
2. Evidencia fotográfica de la adquisición del módulo, comprobación de funcionamiento, acople a la maquina y verificación del alcance de temperatura.

Simulaciones en Software Comsol

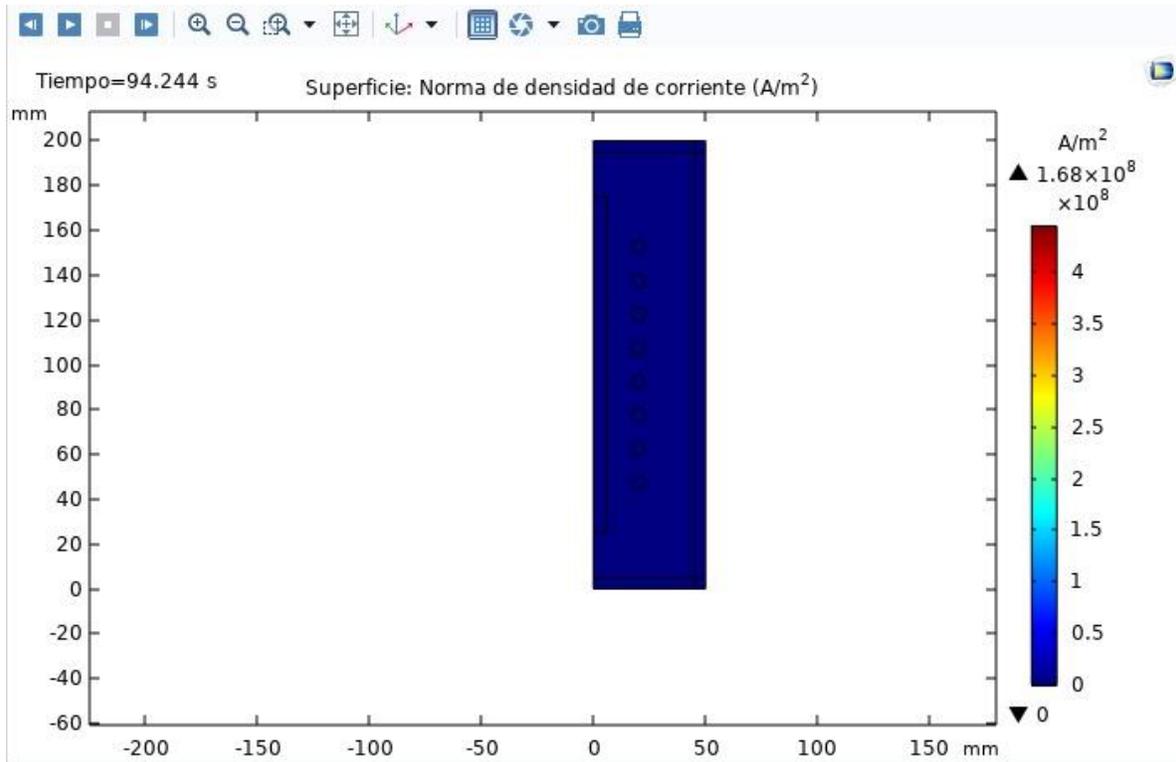
Simulación de la espira hasta que alcanza 1100 °C



Campo magnético generado a temperatura de 1100 °C



Densidad de corriente generada a temperatura de 1100 °C

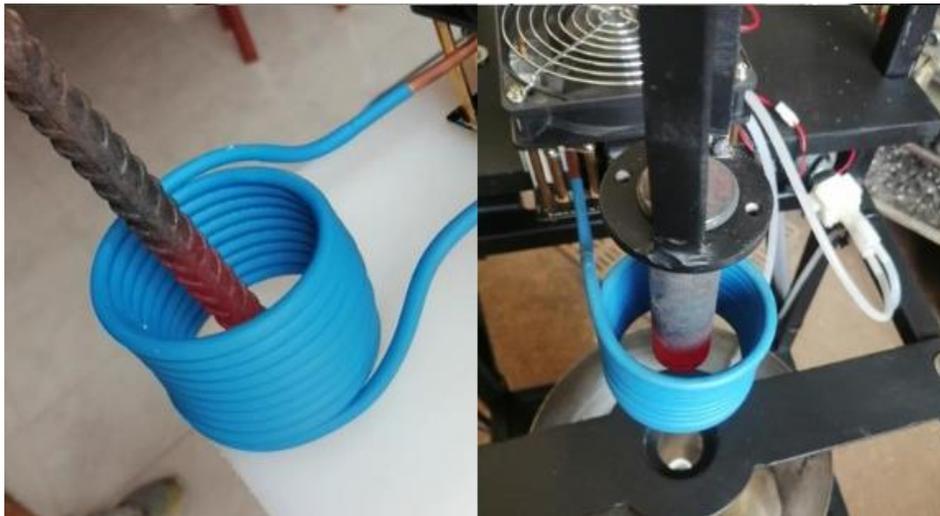


Adquisición e implementación de fragua electromagnética

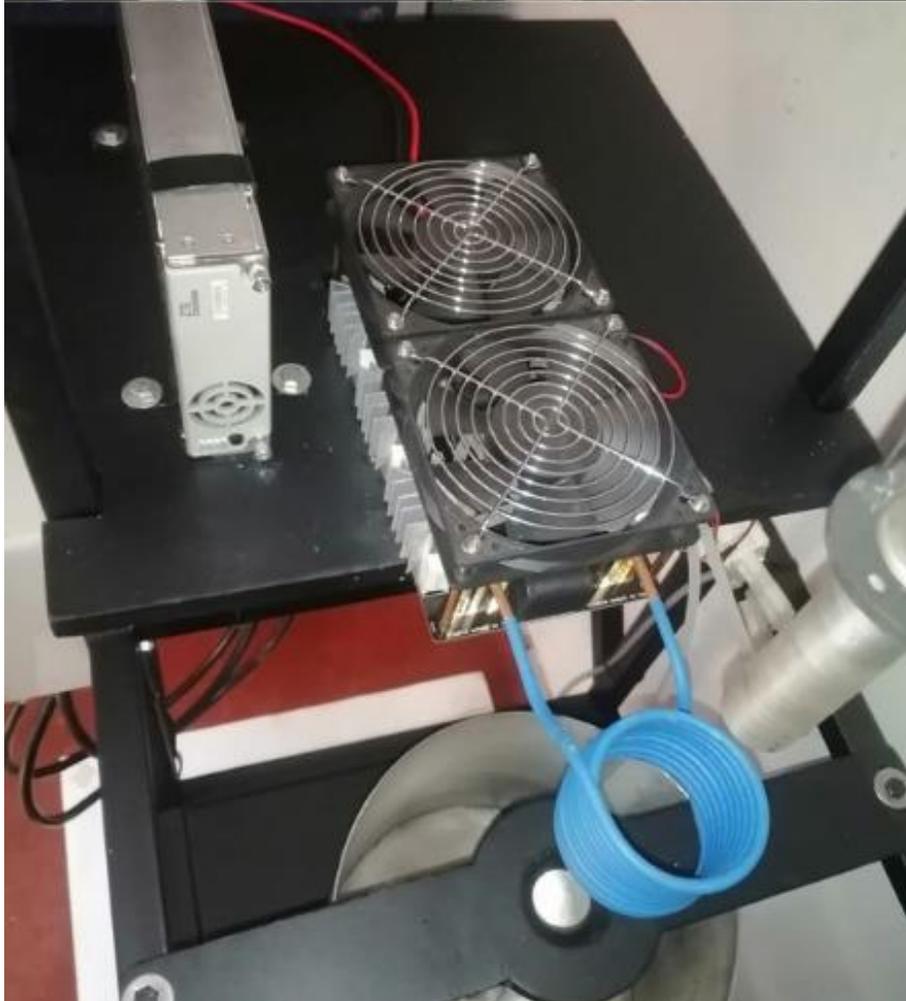
Adquisición del módulo ZVS 2500, de acuerdo a la simulación realizada en el software Comsol



Comprobación de funcionamiento del módulo

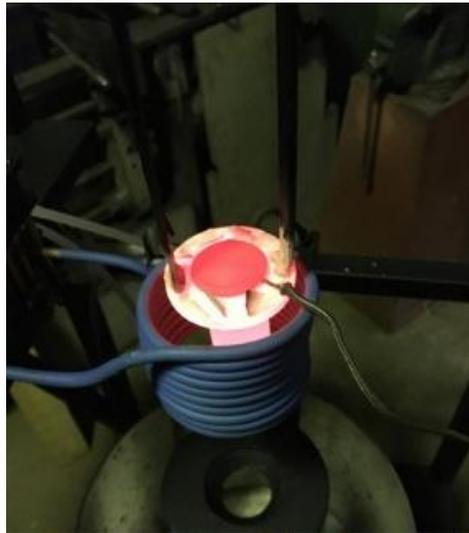
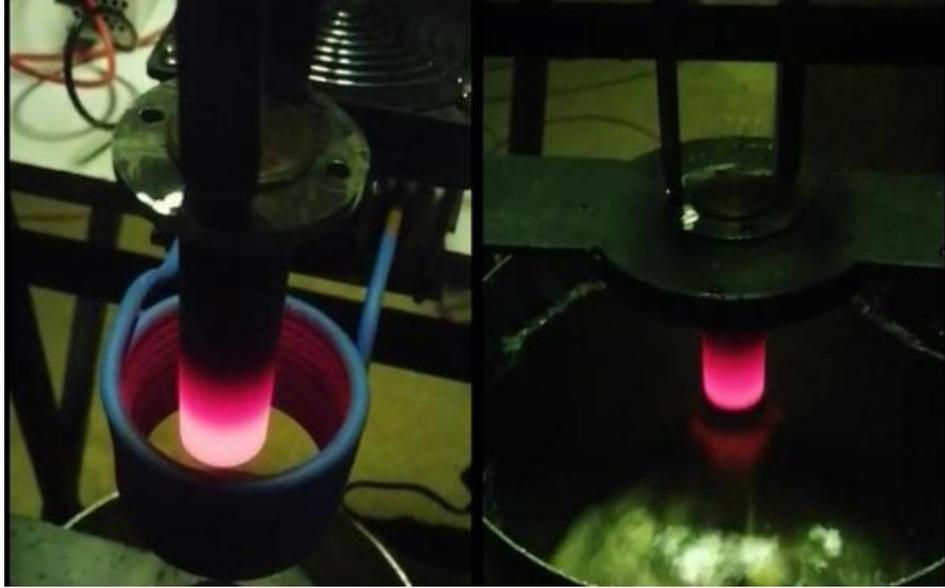


Conexión del módulo de inducción electromagnética a la maquina para ensayo Jominy



Comprobación del funcionamiento del modulo con la probeta

Probeta de estandarización, comprobación de funcionamiento de la inducción



Comprobación del alcance de temperatura de austenización.



ANEXO IV: MAQUINA PARA EL ENSAYO DE JOMINY

Contenido:

1. Evidencia fotográfica de la máquina para ensayo Jominy terminada

Máquina para ensayo Jominy construida



**ANEXO V: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA
PARA EL ENSAYO DE JOMINY**

1. Operación
2. Evidencia fotográfica de la operación
3. Manual de mantenimiento

Operación:

1. Verificar que la entrada de voltaje al sistema con un Multímetro, debe estar en 110 V.



Precaución: Verificar que el módulo esté conectado correctamente, para evitar daños en el equipo.

2. Accionar el taco rotulado como “Módulo”.



3. Verificar accionamiento de ventiladores disipadores de calor.



4. Verificar el funcionamiento de la bomba de agua del módulo, encargada de regular la temperatura interna de la espira.



5. Accionar el taco rotulado como “B. agua”, siendo la Bomba principal.



6. Verificar que la bomba este realizando el proceso de recirculación de agua.



7. Verificar que la fuente de agua golpee la probeta de prueba únicamente en la parte inferior formando un arco, cumpliendo con la Norma ASTG 65.



8. Accionar el taco rotulado como “Fuente”.



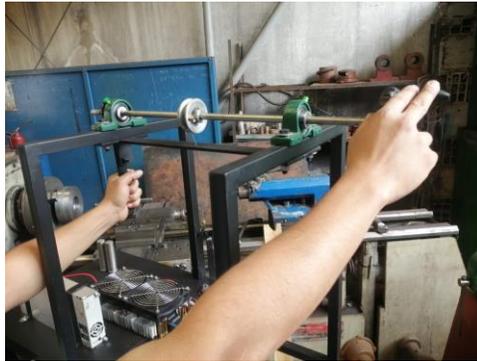
9. Verificar que las luces led de la fuente enciendan hasta el color naranja.



10. Introducir la probeta en el soporte e iniciar la prueba.



11. Bajar dos (2) pines del trinquete para descender gradualmente la probeta.



12. Observar hasta que la probeta tome una tonalidad rojiza uniforme y tomar la temperatura, debe estar entre 800 y 900 grados centígrados.



13. Apagar el taco rotulado como “Fuente”.

14. Encender el taco rotulado como “B. agua”

15. Bajar la probeta lo más rápido posible hasta el sistema de recirculación de agua.



16. Esperar hasta que la probeta se enfríe y realizar el ensayo de Jominy.

Mantenimiento preventivo

Actividades diarias:

Previamente al funcionamiento de la máquina, se debe limpiar con un paño húmedo toda la estructura y los tanques para evitar residuos en el proceso de templado.

Revisar las mangueras de recirculación del módulo, verificando que no tenga obstrucción en su interior o agrietamiento que pueda ocasionar un daño eléctrico en el módulo por sobrecalentamiento o por caída de agua en la tarjeta electrónica del mismo.

Al finalizar el laboratorio, es necesario realizar un vaciado de tanques por la parte inferior del tanque de suministro, abriendo la llave de desagüe. Luego se limpia el interior de cada uno de los tanques con un paño, dejando la máquina limpia y lista para próximas prácticas.

Revisar la carga de batería del pirómetro industrial, y al guardar el dispositivo por varios días es primordial retirar la batería.

Mantenimiento Quincenal:

En caso de no ser usada, se recomienda limpiar con un paño húmedo la máquina cada 15 días, para su correcta conservación.

Limpiar con un paño los rodamientos en su parte exterior, para evitar que caigan impurezas de polvo que ocasionen en un largo periodo de tiempo restricciones en el movimiento

ANEXO VI: GUIA DE LABORATORIO PARA EL ENSAYO JOMINY

1. Introducción
2. Objetivos
3. Metodología y procedimiento
4. Materiales y equipos
5. Medidas de seguridad
6. Datos y resultados
7. Cuestionario
8. Referencias

FACULTAD DE INGENIERÍA FIMEB**Ciencia y tecnología de materiales**
PRÁCTICA No. 1: Ensayo de templabilidad Jominy

PROGRAMA	INGENIERÍA MECÁNICA
ASIGNATURA	Ciencia y tecnología de materiales
NOMBRE DEL PROFESOR	
NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES	
FECHA	

INTRODUCCIÓN

La templabilidad del acero es la capacidad que tiene un material para endurecerse en profundidad, dependiendo del contenido de carbono del mismo, después de realizar el temple, siendo el resultado de la transformación martensítica en donde influyen tres factores importantes: contenido de carbono, presencia de elementos de aleación y severidad del temple. Con respecto a la transformación martensítica ocurre debido a una deformación homogénea de la red cristalina (desplazamiento de átomos).

Uno de los métodos más empleados para la templabilidad es el ensayo de Jominy, descrito en la norma ASTM A255; consiste en realizar tratamiento térmico de temple a una probeta mecanizada sin óxido de 25 mm de diámetro x 101.6 mm de largo, la cual será calentada hasta llegar a la temperatura de austenización del material y luego enfriada por agua, únicamente en la cara de la base inferior a una distancia de 12.7 mm, bajando de temperatura lentamente hasta enfriarse totalmente.

la inducción electromagnética Surge en un conductor dentro de un campo magnético variable en el tiempo o en un conductor que se mueve dentro de un campo magnético estacionario, de tal modo que exista variación de líneas de campo magnética que atraviesa el área transversal, lo que provoca un flujo de electrones a través del conductor

La realización de la práctica: Tiene como finalidad la construcción de curva de templabilidad del acero en estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar ensayo de templabilidad Jominy para un acero para conocer la propiedad de dureza máximas y mínimas del material.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Realizar construcción de la probeta de acuerdo a la norma ASTM A255.
2. Ejecutar el calentamiento de la probeta de ensayo por medio del módulo de inducción
3. Determinar la profundidad de temple en un acero, por medio del ensayo Jominy y representarlo gráficamente.
4. Construir la curva de templabilidad para cada probeta.

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Realizar el siguiente procedimiento:

1. Para realizar el encendido de la máquina, con un multímetro en (CA) revisar que este bien conectado, como lo indica la guía de mantenimiento y operación Anexo V.
2. Introducir la probeta en el sistema de posicionamiento vertical.
3. Verificar que todo el sistema de posicionamiento se esté realizando concéntricamente, sin golpear la espira y auto-centrando en el sistema de sujeción que está dispuesto para el enfriamiento.
4. Graduar el borde inferior de la probeta en la parte superior de la espira sin introducirla.
5. Encender interruptor del módulo, verificar que funcione el sistema de recirculación de agua dentro de la espira.
6. Tomar temperatura del agua en el tanque de suministro debe estar entre 14-24 °C.
7. Una vez este verificado todos los ítems anteriores se procede a encender el interruptor de la fuente y se debe esperar a que se ponga en funcionamiento.

8. Introducir dentro de la espira la probeta usando el sistema de posicionamiento, haciéndolo gradualmente cada 2 dientes del trinquete, esperar que se caliente la probeta hasta 800-850°C, esto se puede medir con el pirómetro industrial.
9. Cuando se encuentre en ese rango de temperatura, se procede a repetir el ítem 7 realizando gradualmente el calentamiento de la probeta (cada 2 dientes del trinquete descender)
10. Realizar este proceso hasta introducir toda la probeta dentro de la espira, garantizando el calentamiento uniforme sobre el área de ensayo.
11. Una vez realizado el calentamiento uniforme y garantizando la temperatura de austenización del acero, Apagar interruptor fuente y encender rápidamente interruptor Bomba de agua.
12. Liberar el sistema del trinquete y posicionar la probeta en el sistema de sujeción auto-centrante para realizar el enfriamiento de la probeta.
13. Tomar temperatura del agua en el tanque de suministro debe estar entre 14-24 °C.
14. Observar el proceso de enfriamiento, verificando el correcto funcionamiento que garantiza la incidencia del agua solo en la parte inferior de la probeta. Esto debe producir un fenómeno tipo arco de agua.
15. Con el pirómetro industrial se puede verificar en función del tiempo, cuanto es la velocidad de enfriamiento(practica).
16. Esperar que la probeta llegue a la temperatura ambiente.
17. Tomar temperatura del agua en el tanque de suministro debe estar entre 14-24 °C.
18. Realizar la prueba de dureza con el indentador Rockwell, equipo suministrado por la universidad.

MATERIALES Y EQUIPOS

Materiales:

1. Máquina de ensayo Jominy por inducción electromagnética
2. Tres probetas de acero con las dimensiones que se especifican en la norma ASTM A255

Equipos e instrumentos de medición:

1. Pirómetro industrial
2. Durómetro, indentador Rockwell

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Recomendaciones de seguridad en la manipulación de equipos y materiales.

1. Cabello recogido
2. Gafas protección

DATOS Y RESULTADOS

1. Registre en una tabla los valores de dureza iniciando desde la base de la probeta a lo largo de la superficie lateral Jominy, tomando medidas en los primeros (12,7mm) cada (1,6mm) y en la zona de ensayo restante cada (3,2mm), en cada una de las probetas según Norma ASTM A255.

Distancia desde base de la probeta en (mm)	Dureza Rockwell para el acero de la probeta 1	Dureza Rockwell para el acero de la probeta 2	Dureza Rockwell para el acero de la probeta 3
1,6			
3,2			
4,8			
6,4			
8			
9,6			
11,2			
12,8			
16			
19,2			
22,4			
25,6			
28,8			
32			
35,2			
38,4			
41,6			
44,8			
48			
51,2			
54,4			
57,6			
60,8			
64			

2. Elabore graficas de dureza vs distancia desde la base de la probeta determinando la curva de templabilidad, para cada una de las probetas.

3. Elabore el informe de realización de la práctica incluyendo:

- Título de la práctica
- Nombre y códigos de los estudiantes que realizaron la práctica
- Fecha de realización y entrega del informe
- Objetivos de la práctica
- Descripción del procedimiento realizado junto con las gráficas e imágenes correspondientes.
- Tablas y graficas elaboradas
- Análisis de resultados
- Resolución del cuestionario planteado a continuación.
- Conclusiones

CUESTIONARIO

1. ¿Qué entiende por templabilidad?

2. ¿Cómo se determina la curva Jominy en función de composición y el tamaño del grano?

3. ¿Explique un procedimiento para determinar la penetración del temple con la ayuda de las curvas Jominy?

4. ¿Qué métodos se emplean para determinar la zona martensita y como se determina el diámetro critico ideal?

5. ¿Cuál de las probetas tiene mejor capacidad de endurecimiento en profundidad? Justifique su respuesta.

6. ¿Por qué necesita el diagrama TTT para diseñar el tratamiento térmico de temple?

REFERENCIAS

1. Mecánica de materiales. R.C. Hibbeler. 6^a Edición. Editorial Pearson.
2. ASTM Standard A 255, 2007, Standard Test Methods to determine Hardenability of steel, ASTM international, west conshohocken, PA, www.astm.org

3. Infinitia Research | Soluciones I+D para empresas. 2021. Ensayos de dureza Rockwell ¿En qué consiste? Infinitia Research | Soluciones I+D para empresas. [online] Available at: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-de-dureza-rockwell/>

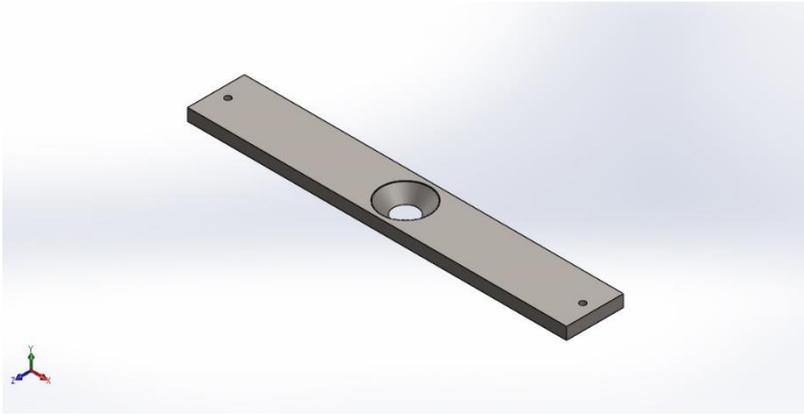
ANEXO VII: SIMULACIONES DE ANÁLISIS ESTÁTICO SOLIDWORKS

Contenido:

1. Simulación de base probeta en tanque superior
2. Simulación de eje poleas
3. Simulación de guía guaya
4. Simulación de chumacera de media pulgada
5. Simulación de palanca trinquete
6. Simulación de la estructura
7. Simulación de soporte probeta
8. Simulación de piñón trinquete
9. Simulación de polea
10. simulación de Volante
11. simulación de ensamble térmico



1.



Simulación de Base probeta en tanque Superior

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático base probeta tanque superior

Tipo de análisis: Análisis estático

Descripción

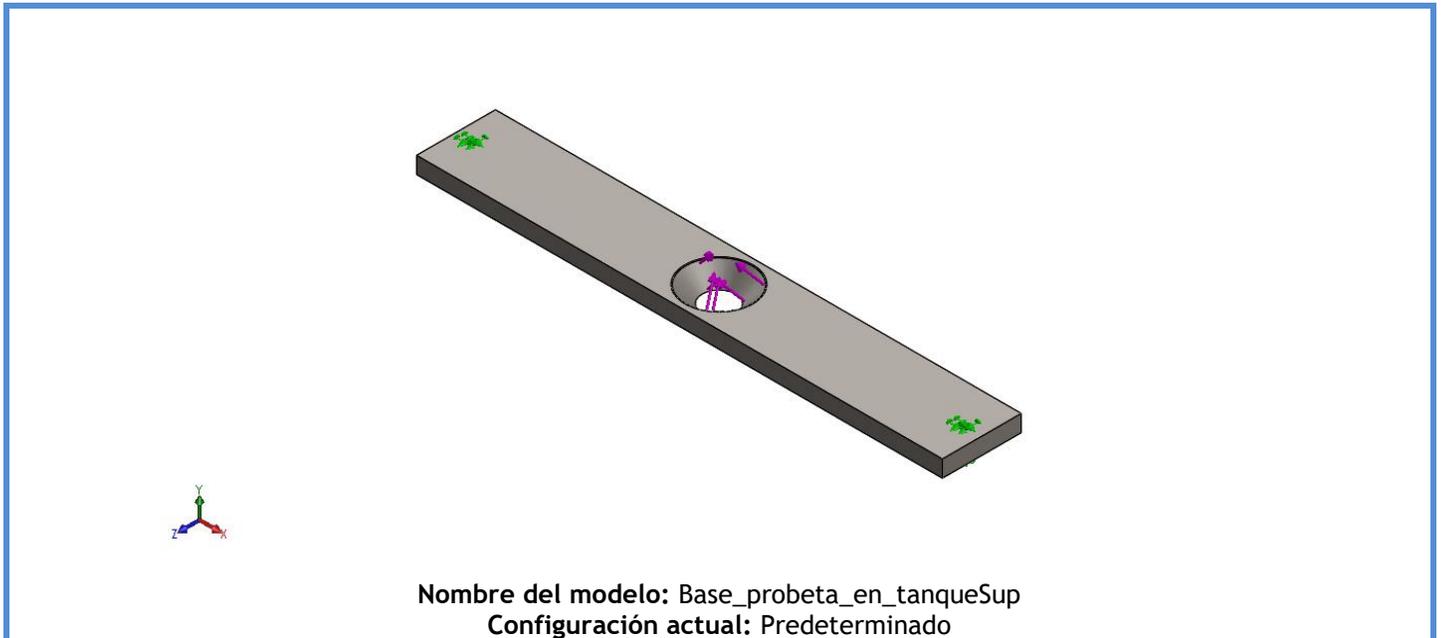
Análisis estático Base-probeta-tanque-superior

Tabla de contenidos

Descripción.....	2
Información de modelo.....	3
Propiedades de estudio	4
Unidades.....	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir8 	Sólido	Masa:2,26847 kg Volumen:0,000288977 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:22,231 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Base_probeta_tanquesup\Base_probeta_en_tanqueSup.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático base probeta tanque superior
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Base_probeta_tanquesup)

Unidades

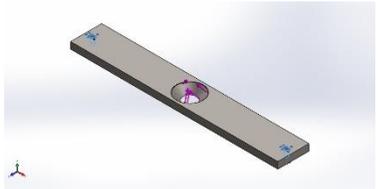
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

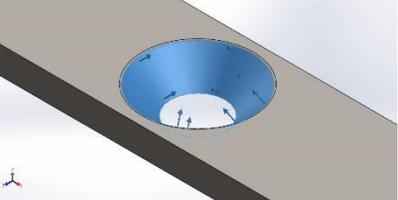


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,5e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,26</p> <p>Densidad: 7.850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,93e+10 N/m²</p>	Sólido 1(Cortar-Extruir8)(Base_probeta_en_tanqueSup)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	6,28829e-05	-6,25268	-0,000296324	6,25268
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: -0,9 kgf</p>



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	6,61311 mm
Tolerancia	0,330655 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	13120
Número total de elementos	7522
Cociente máximo de aspecto	7,9311
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Base_probeta_en_tanqueSup
Nombre de estudio: Análisis estático base probeta tanque superior(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

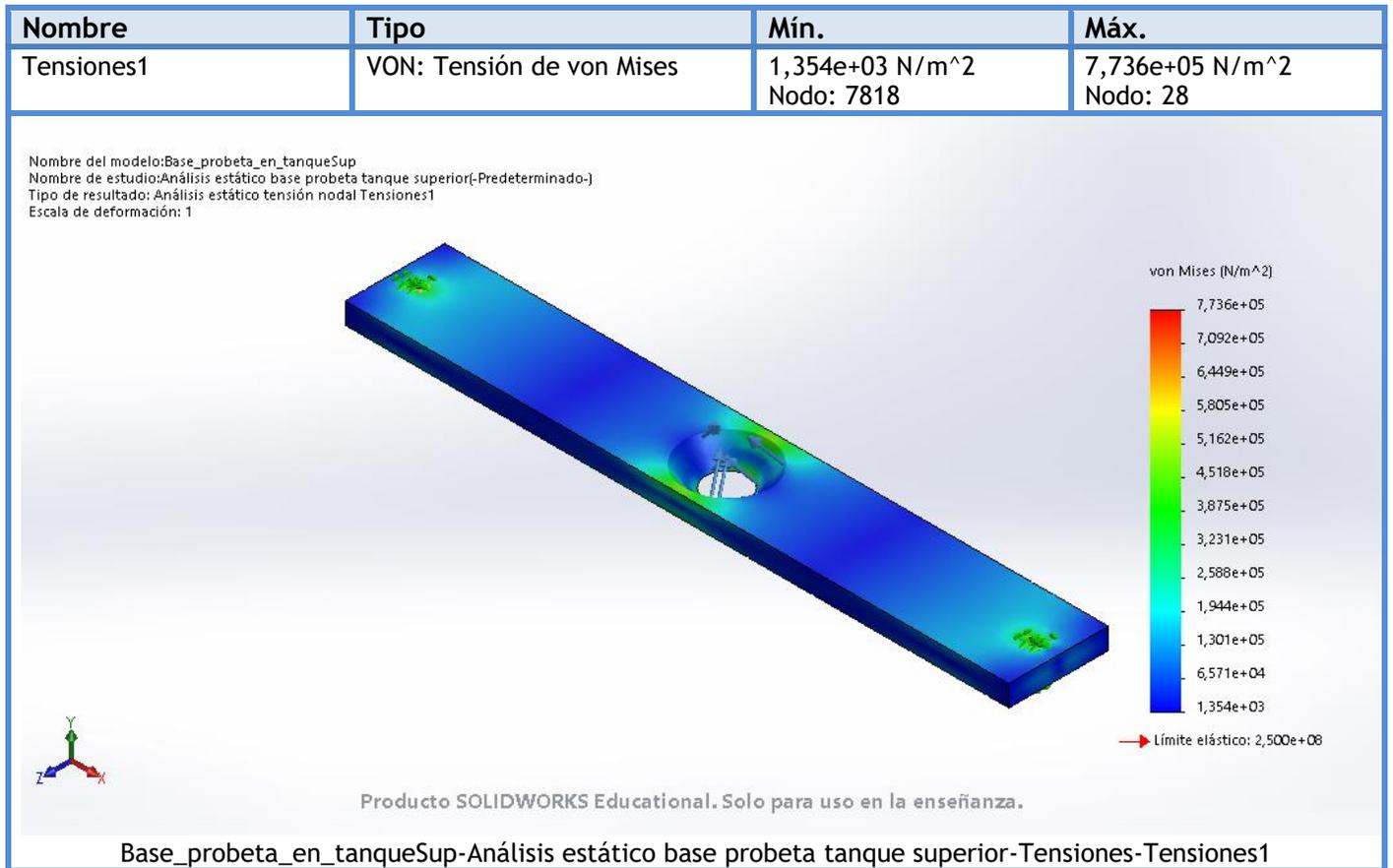
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	6,28829e-05	-6,25268	-0,000296324	6,25268

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



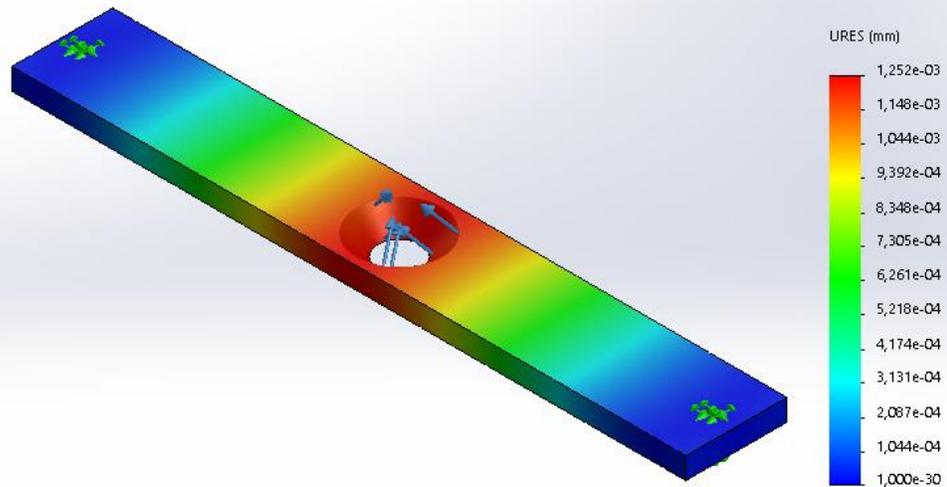
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	1,252e-03 mm Nodo: 279



Nombre del modelo: Base_probeta_en_tanqueSup
 Nombre de estudio: Análisis estático base probeta tanque superior-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1

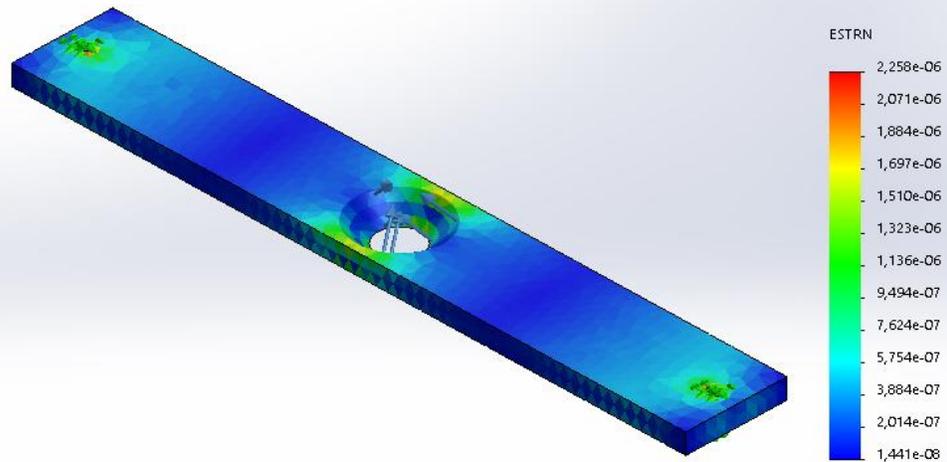


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Base_probeta_en_tanqueSup-Análisis estático base probeta tanque superior-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,441e-08 Elemento: 4966	2,258e-06 Elemento: 4339

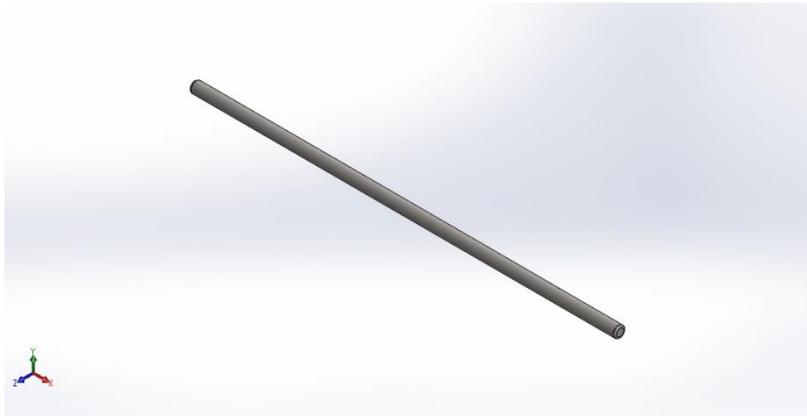
Nombre del modelo: Base_probeta_en_tanqueSup
 Nombre de estudio: Análisis estático base probeta tanque superior-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Base_probeta_en_tanqueSup-Análisis estático base probeta tanque superior-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de Eje poleas

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 2

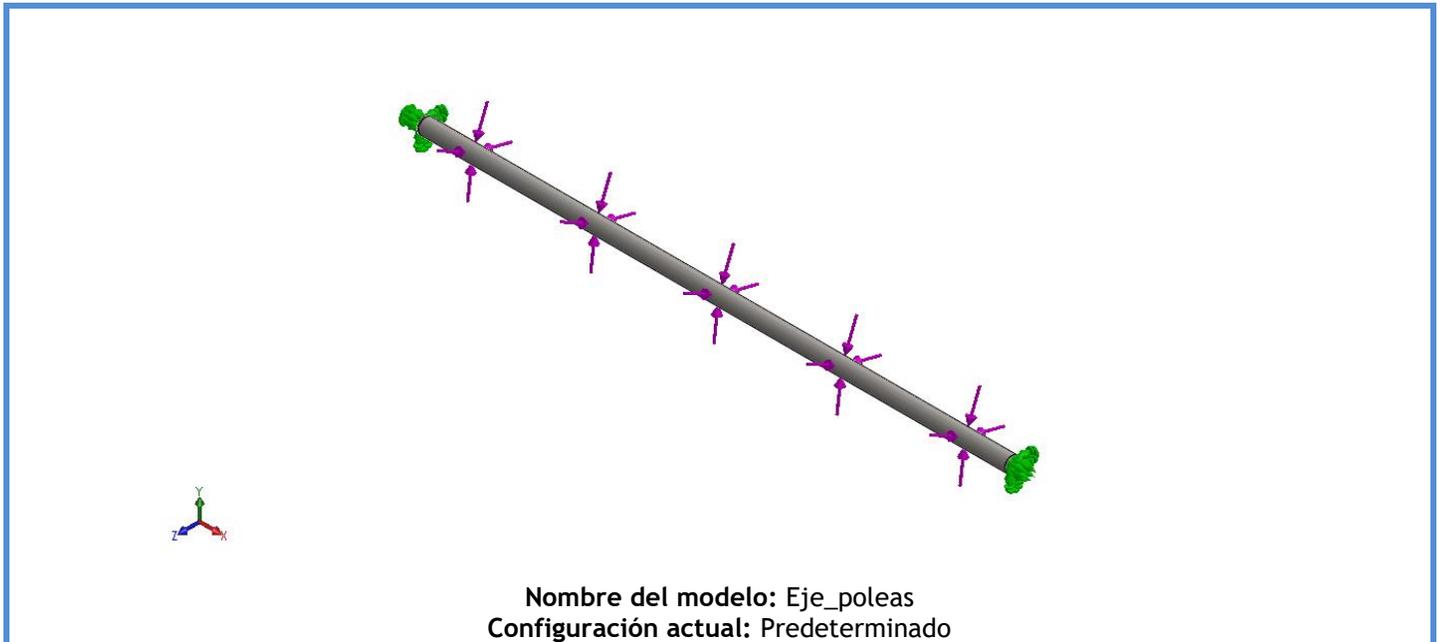
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo.....	11
Propiedades de estudio	12
Unidades.....	12
Propiedades de material	13
Cargas y sujeciones	14
Información de malla	15
Fuerzas resultantes	16
Resultados del estudio	17



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo2 	Sólido	Masa:0,499871 kg Volumen:6,32748e-05 m ³ Densidad:7.900 kg/m ³ Peso:4,89873 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Eje_poleas-Análisis estático 1\Eje_poleas.SLDPRT Apr 27 20:52:47 2021



Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Eje_poleas-Análisis estático 1)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

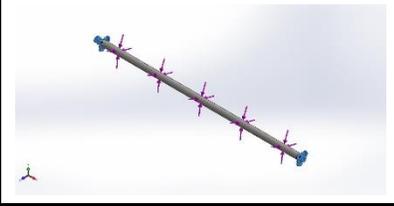


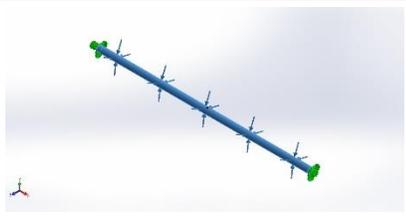
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: AISI 1020 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 3,51571e+08 N/m² Límite de tracción: 4,20507e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,29 Densidad: 7.900 kg/m³ Módulo cortante: 7,7e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,5e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Eje_poleas)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-1,79396e-07	5,14119e-08	4,88362e-08	1,92902e-07
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 0,5 kgf		

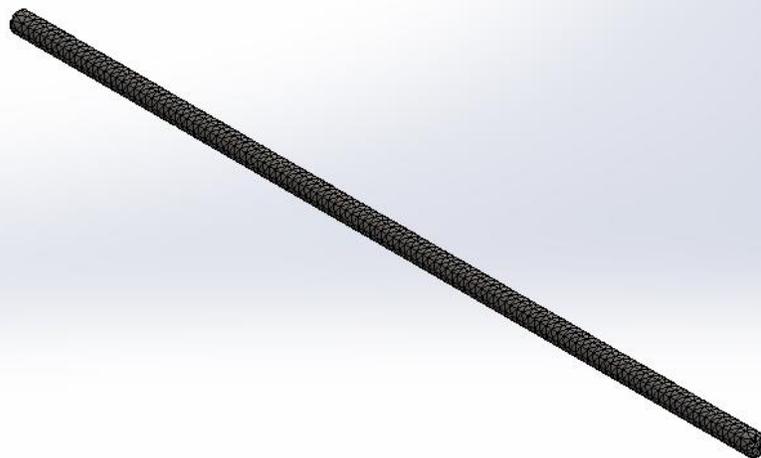
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3,98612 mm
Tolerancia	0,199306 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	10116
Número total de elementos	5667
Cociente máximo de aspecto	5,5675
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Eje_poleas
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

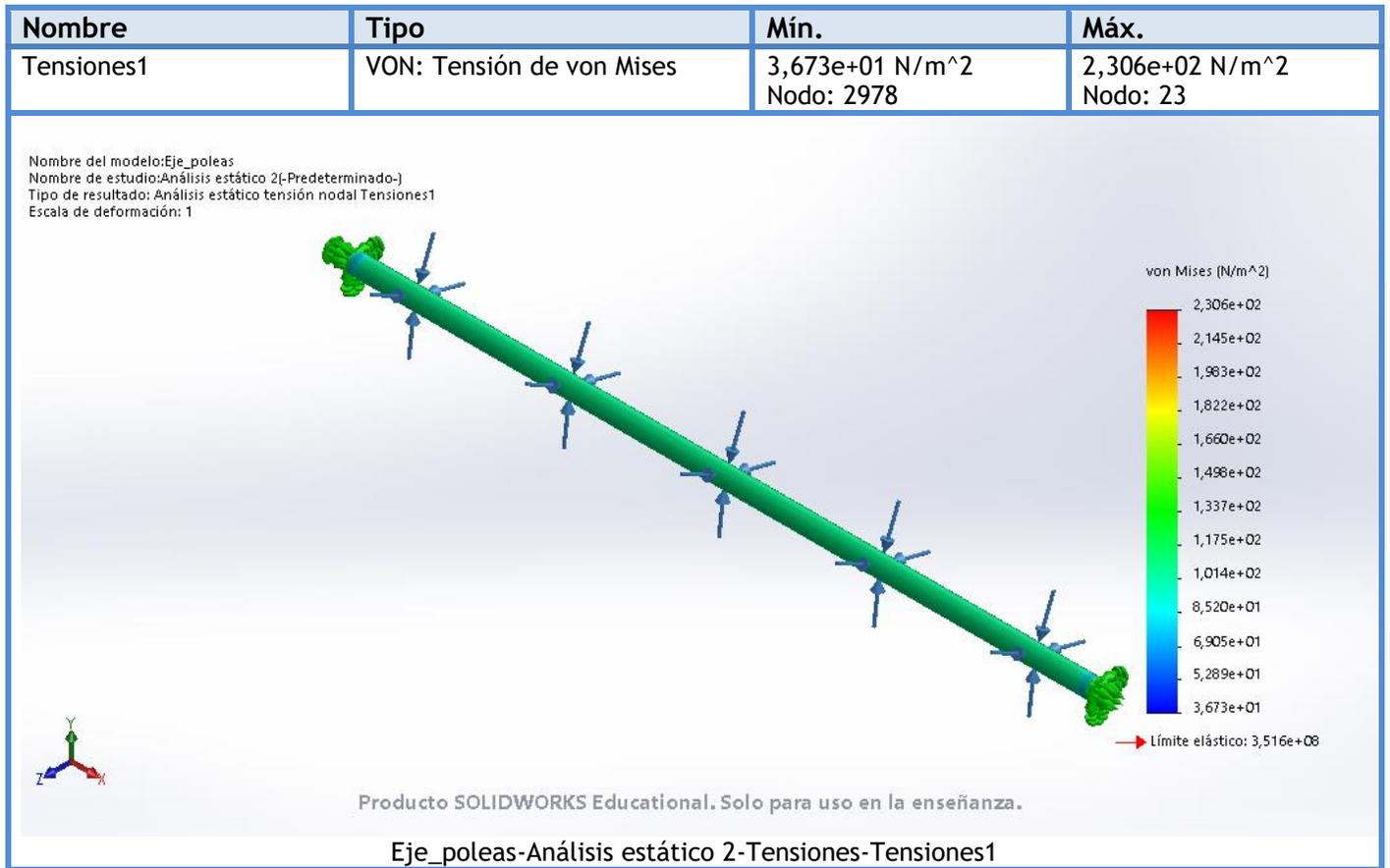
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-1,79396e-07	5,14119e-08	4,88362e-08	1,92902e-07

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



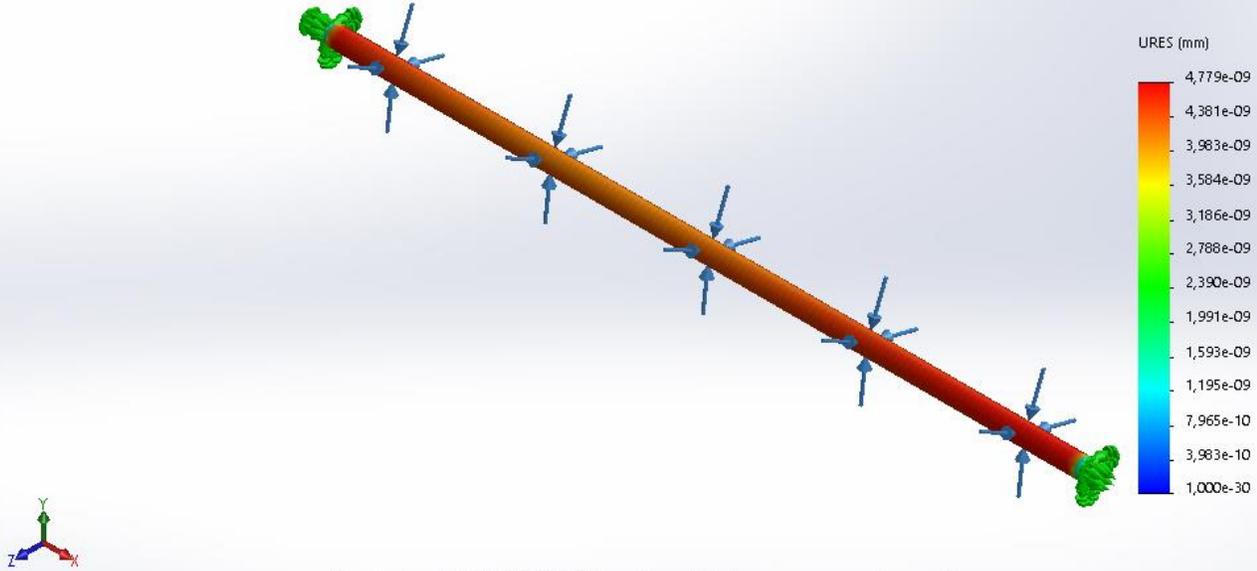
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 5	4,779e-09 mm Nodo: 8988



Nombre del modelo: Eje_poleas
 Nombre de estudio: Análisis estático 2-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

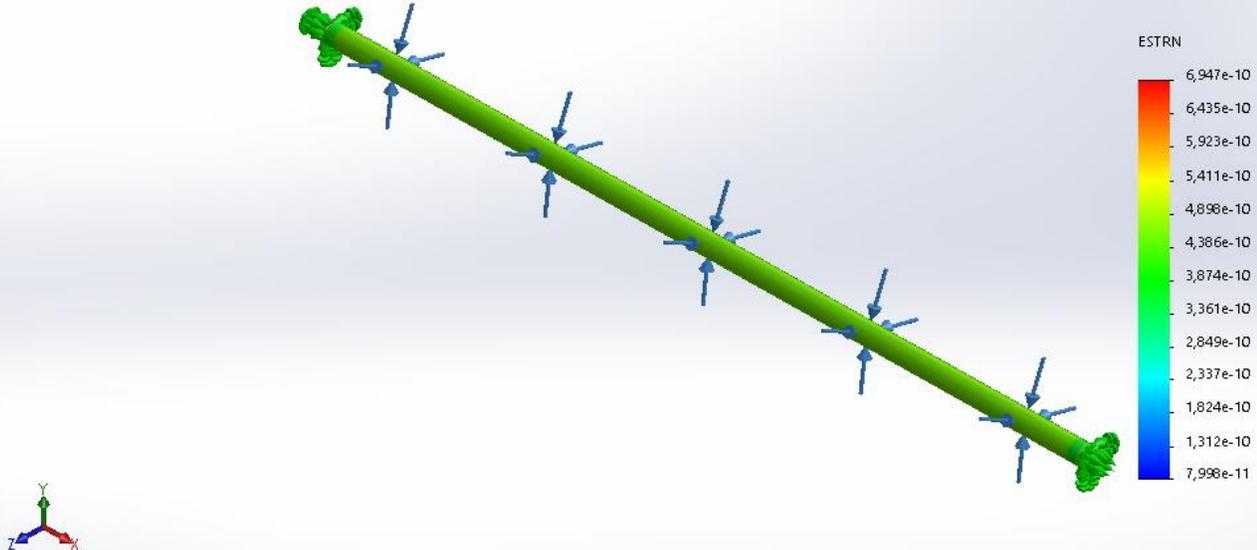


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Eje_poleas-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,998e-11 Elemento: 2305	6,947e-10 Elemento: 2022

Nombre del modelo: Eje_poleas
 Nombre de estudio: Análisis estático 2-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Eje_poleas-Análisis estático 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de Guía guaya

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

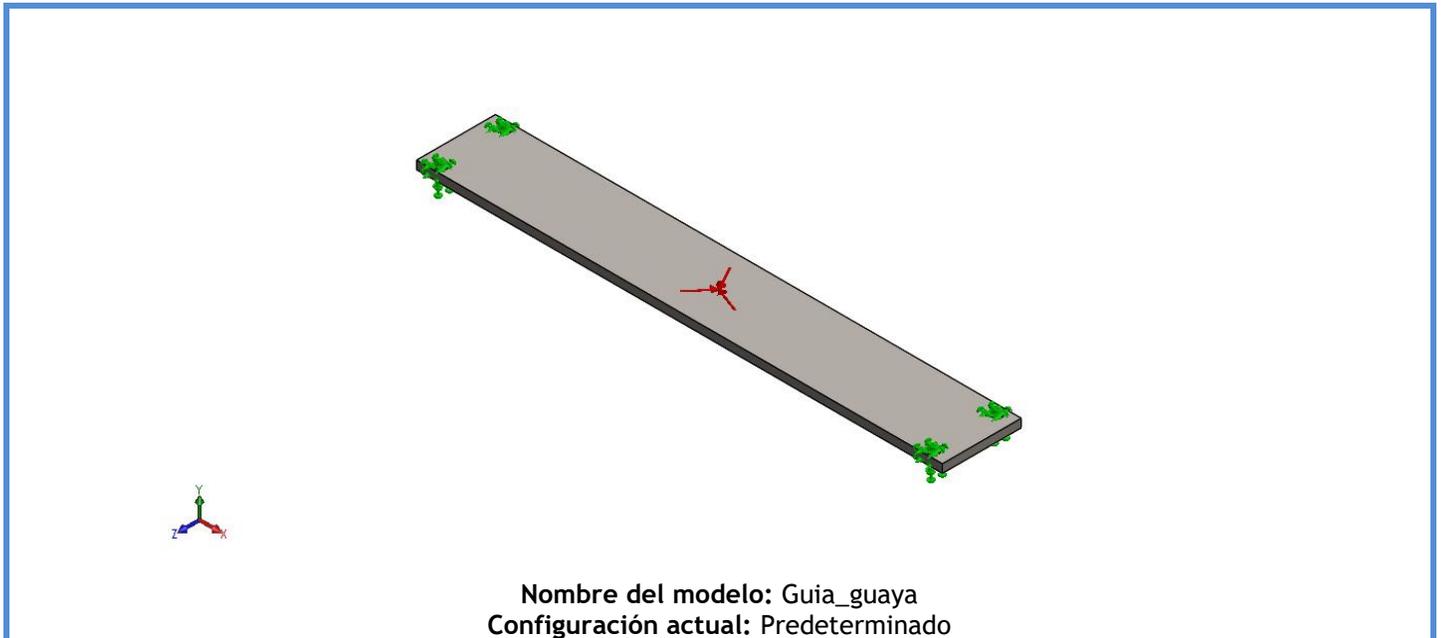
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

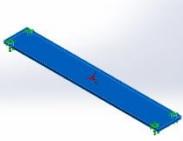
Información de modelo	20
Propiedades de estudio	21
Unidades	21
Propiedades de material.....	22
Cargas y sujeciones.....	22
Información de malla.....	23
Fuerzas resultantes.....	24
Resultados del estudio	25



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa: 1,18185 kg Volumen: 0,000150555 m ³ Densidad: 7.850 kg/m ³ Peso: 11,5822 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Guia_Guaya\Guia_guaya.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

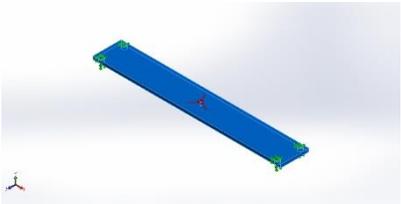
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Guia_Guaya)

Unidades

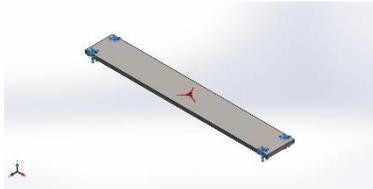
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

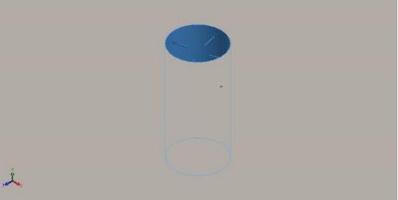


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 4e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m ³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m ²	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Guia_guaya)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	3,75743e-09	1,76325e-11	7,61711e-10	3,8339e-09
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 0,2 Unidades: N/m ² Ángulo de fase: 0 Unidades: deg



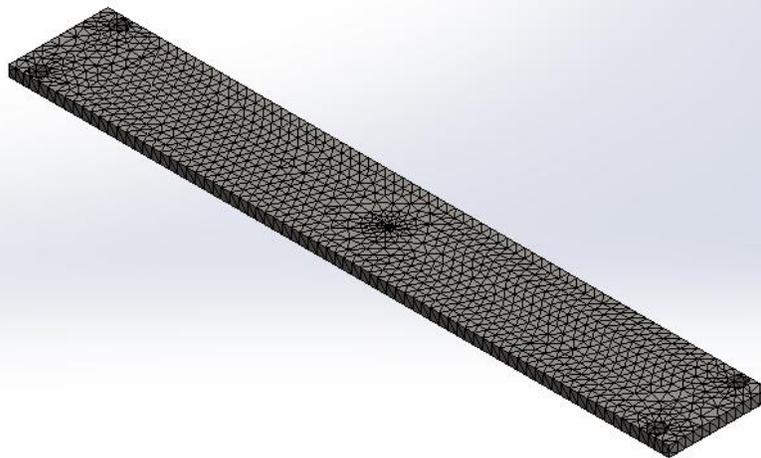
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,3214 mm
Tolerancia	0,26607 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	17835
Número total de elementos	10195
Cociente máximo de aspecto	6,434
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Guia_guaya
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	3,75743e-09	1,76325e-11	7,61711e-10	3,8339e-09

Momentos de reacción

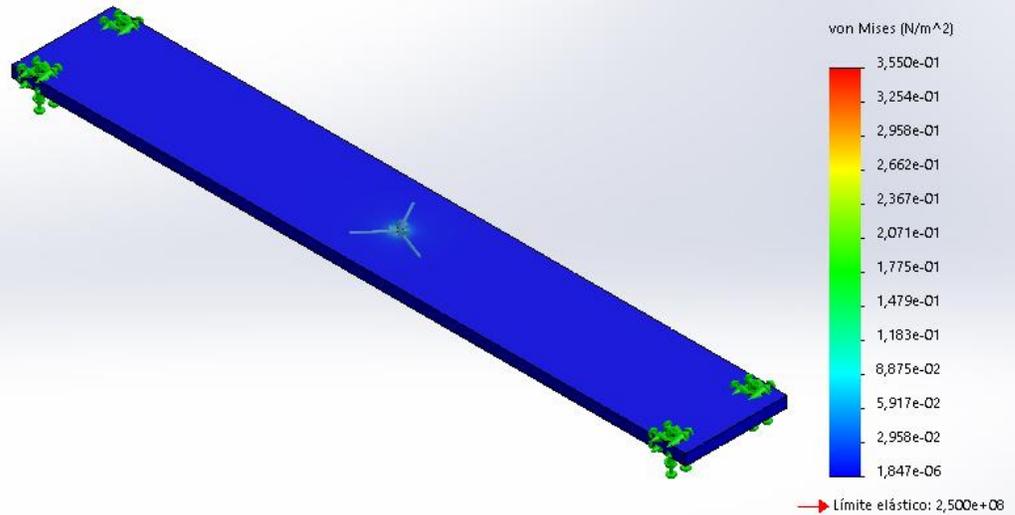
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,847e-06 N/m ² Nodo: 114	3,550e-01 N/m ² Nodo: 17834

Nombre del modelo: Guia_guaya
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1



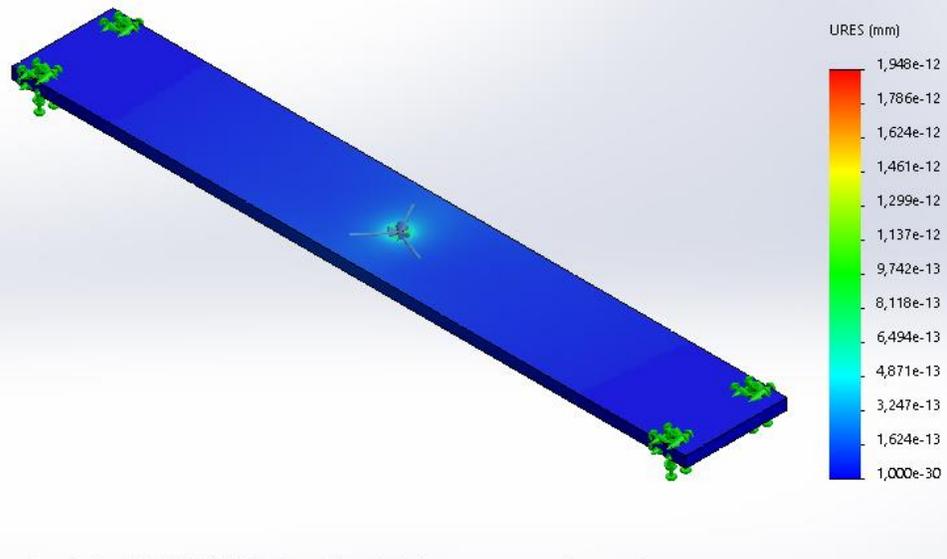
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Guia_guaya-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 24	1,948e-12 mm Nodo: 17813



Nombre del modelo: Guia_guaya
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

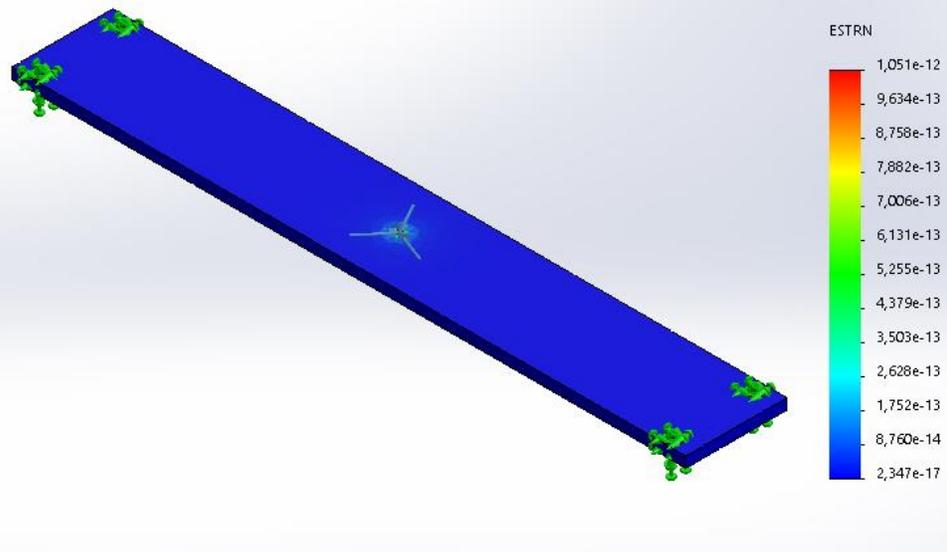


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Guia_guaya-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

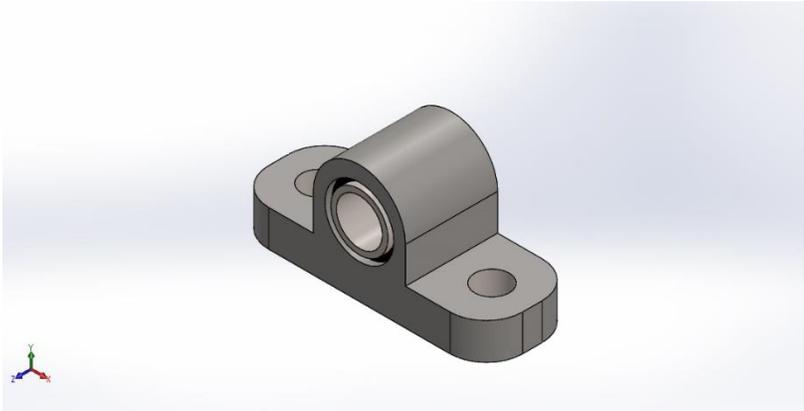
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,347e-17 Elemento: 3620	1,051e-12 Elemento: 3444

Nombre del modelo: Guia_guaya
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Guia_guaya-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Simulación de Chumacera media

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

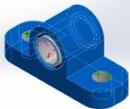
Información de modelo	28
Propiedades de estudio	29
Unidades	29
Propiedades de material.....	30
Cargas y sujeciones.....	31
Información de malla.....	32
Fuerzas resultantes.....	33
Resultados del estudio	34



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir4 	Sólido	Masa:0,193603 kg Volumen:2,48209e-05 m ³ Densidad:7.800 kg/m ³ Peso:1,89731 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto _Felipe\6.Chumacera\Chu macera_media.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

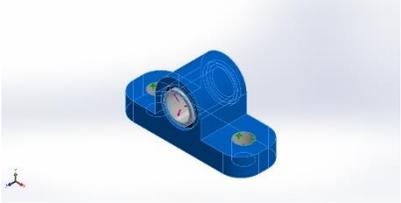
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\6.Chumacera)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Acero al carbono fundido</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,48168e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4,82549e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,32</p> <p>Densidad: 7.800 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,2e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Chumacera_media)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,18358e-07	-1,61337e-07	3,7955e-08	4,49993e-07
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1 N		

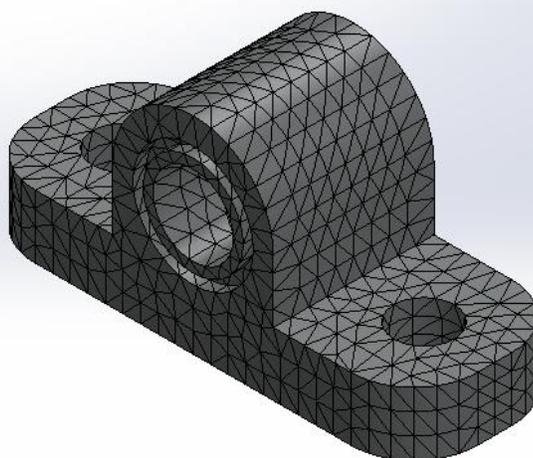
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	2,91805 mm
Tolerancia	0,145902 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	12956
Número total de elementos	8058
Cociente máximo de aspecto	4,5105
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Chumacera_media
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

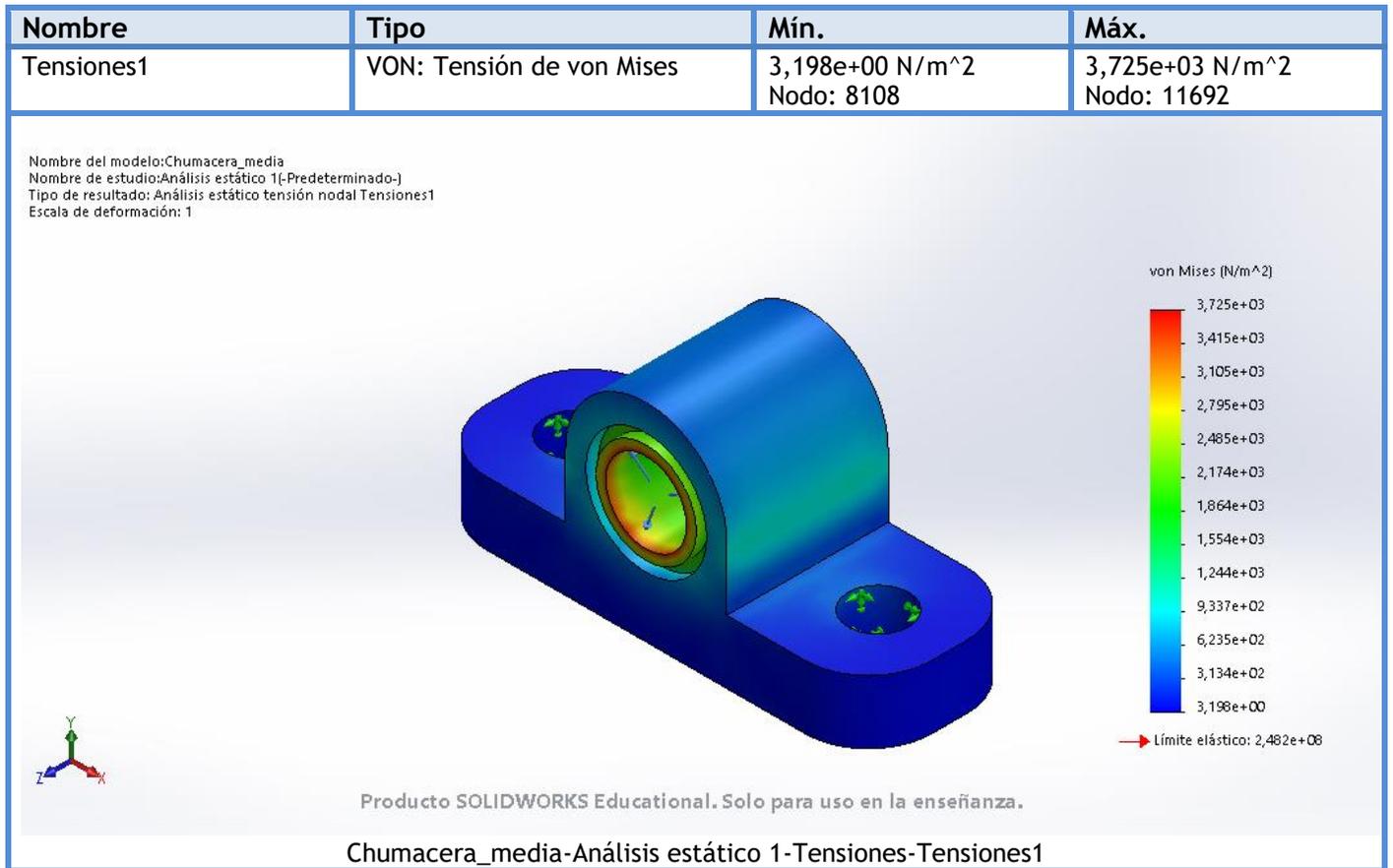
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,18358e-07	-1,61337e-07	3,7955e-08	4,49993e-07

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



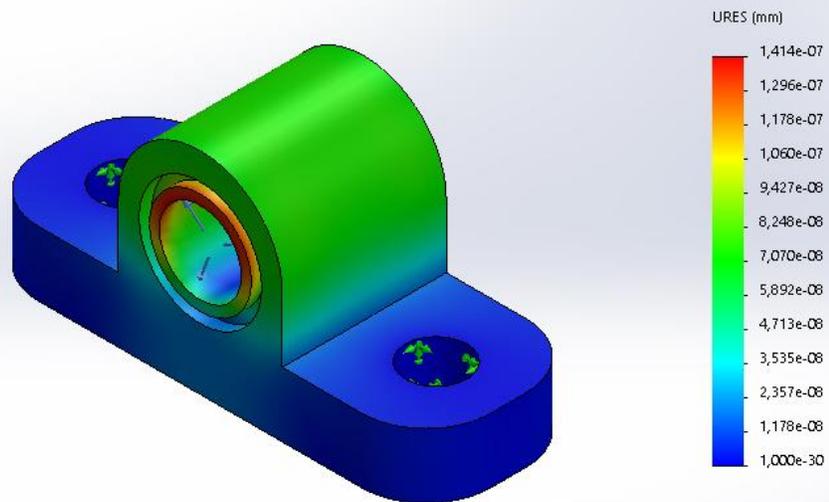
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 215	1,414e-07 mm Nodo: 183



Nombre del modelo:Chumacera_media
 Nombre de estudio:Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

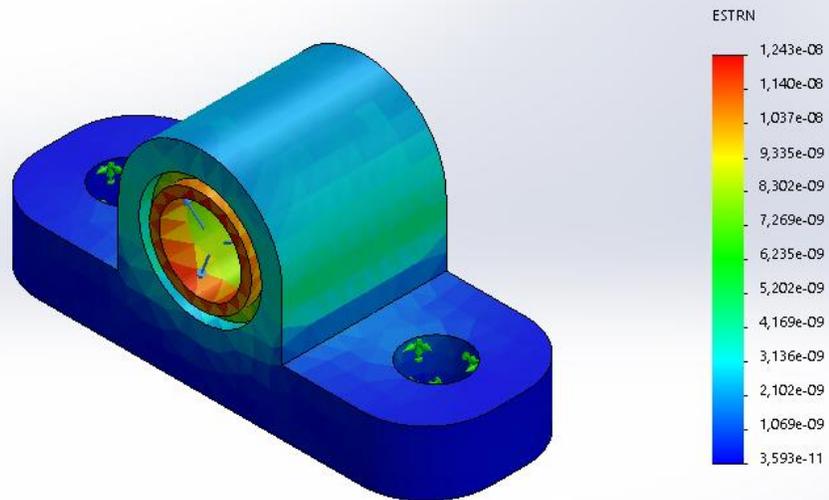


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Chumacera_media-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,593e-11 Elemento: 5497	1,243e-08 Elemento: 2938

Nombre del modelo:Chumacera_media
 Nombre de estudio:Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Chumacera_media-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Simulación de Palanca trinquete

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

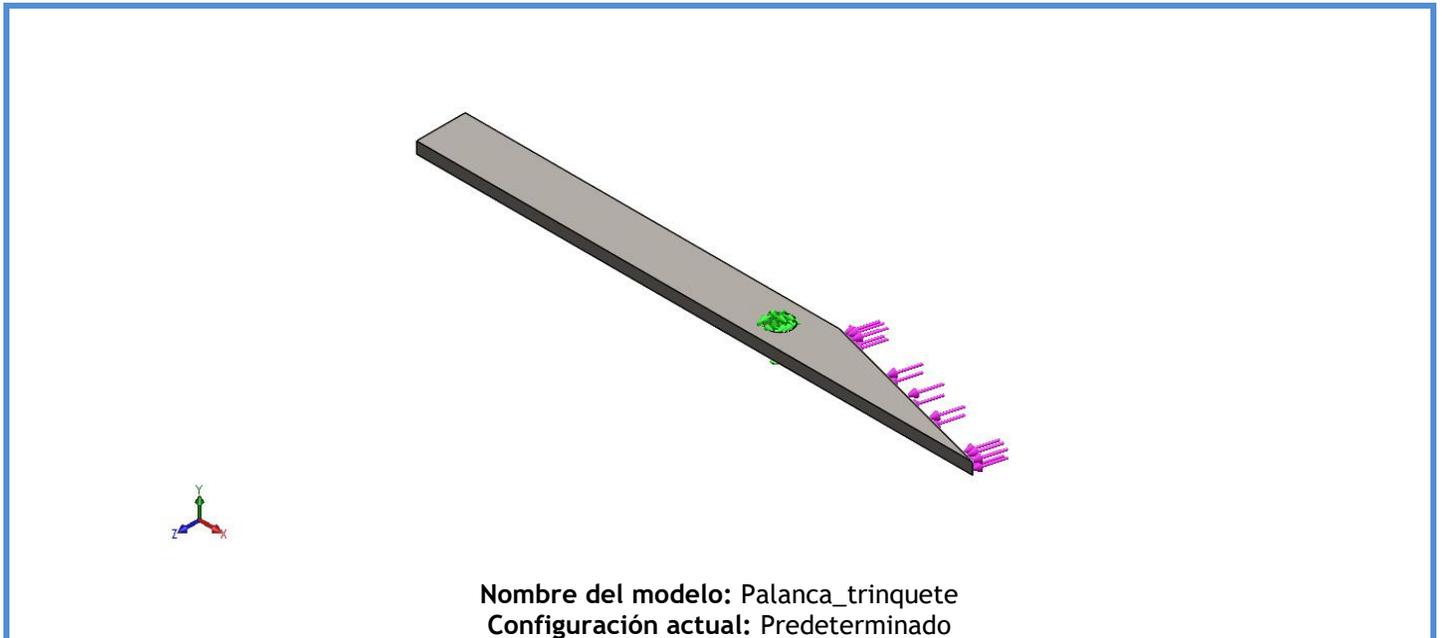
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

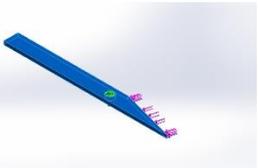
Información de modelo	37
Propiedades de estudio	38
Unidades	38
Propiedades de material.....	39
Cargas y sujeciones.....	39
Información de malla.....	40
Fuerzas resultantes.....	41
Resultados del estudio	42



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0355336 kg Volumen:4,52658e-06 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:0,34823 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto _Felipe\8.PalancaTrinquete\Palanca_trinquete.SLD PRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

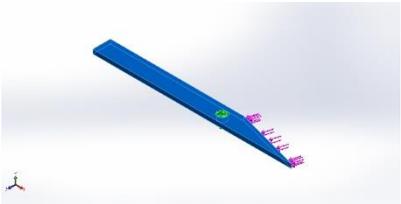
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\8.PalancaTrinquete)

Unidades

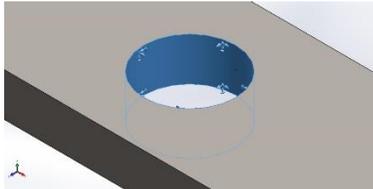
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

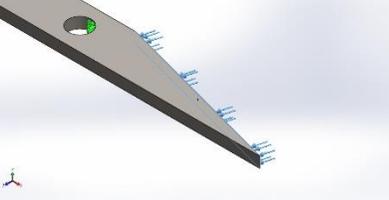


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 4e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m ³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m ²	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Palanca_trinquete)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,258819	-9,77889e-09	-0,965926	1
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1 N



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	1,65489 mm
Tolerancia	0,0827443 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	13536
Número total de elementos	7694
Cociente máximo de aspecto	6,2658
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Palanca_trinquete
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

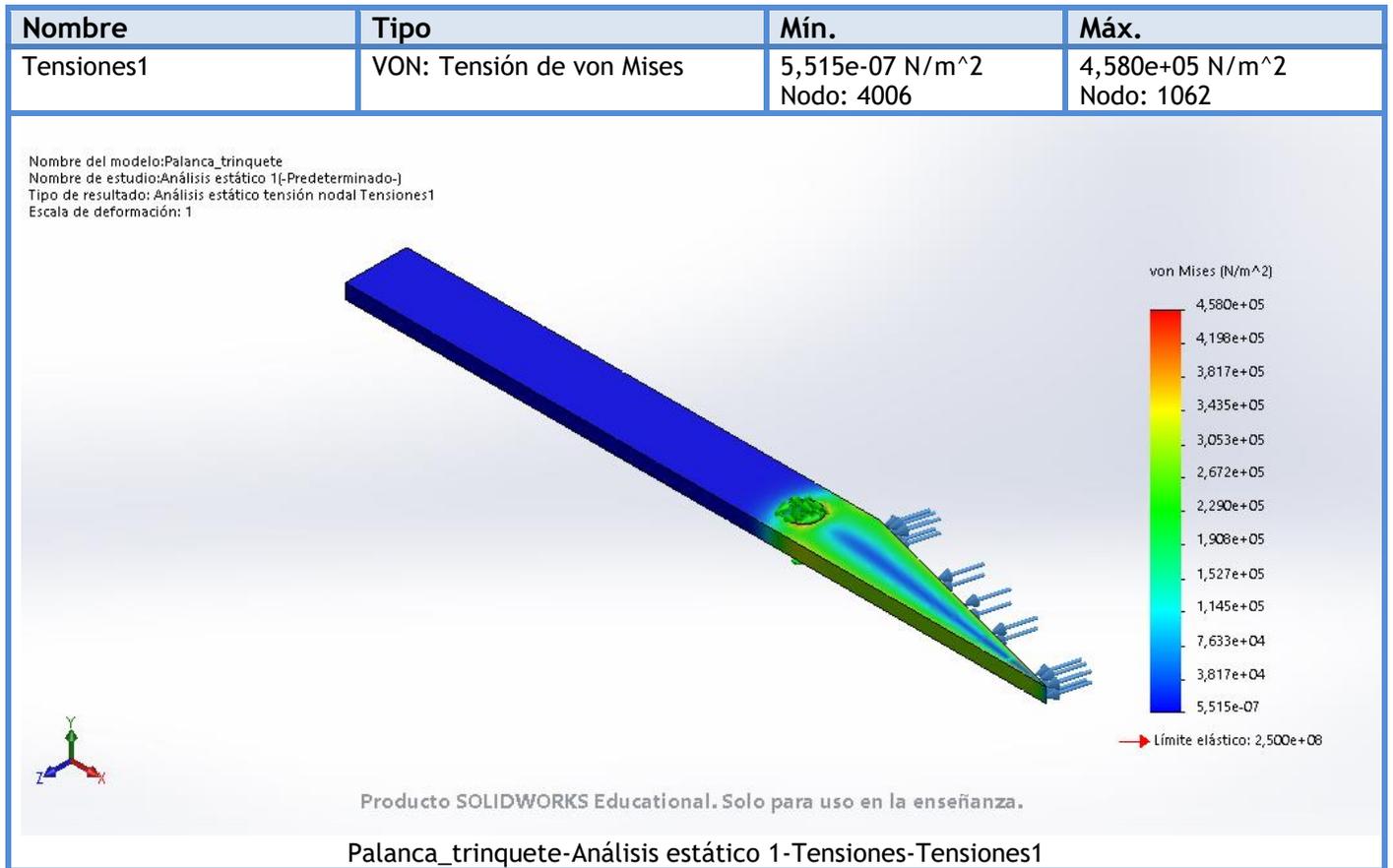
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,258819	-9,77889e-09	-0,965926	1

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



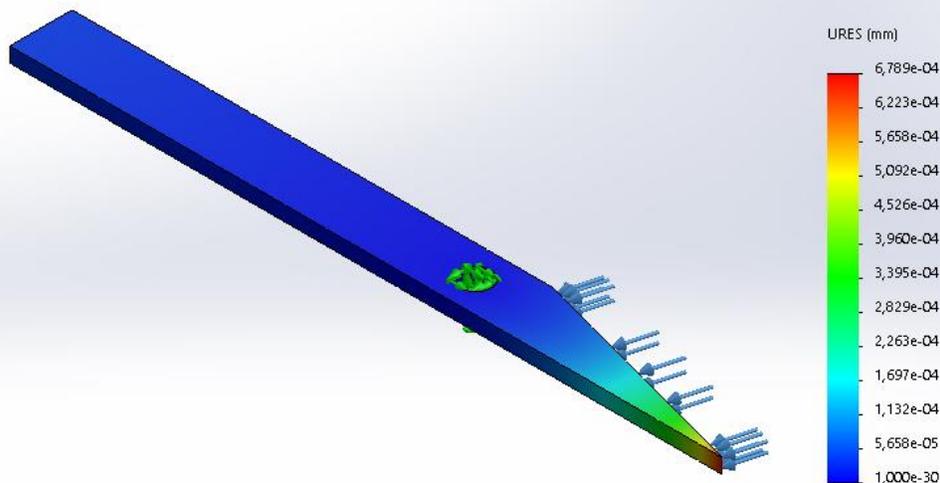
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	6,789e-04 mm Nodo: 91



Nombre del modelo: Palanca_trinquete
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

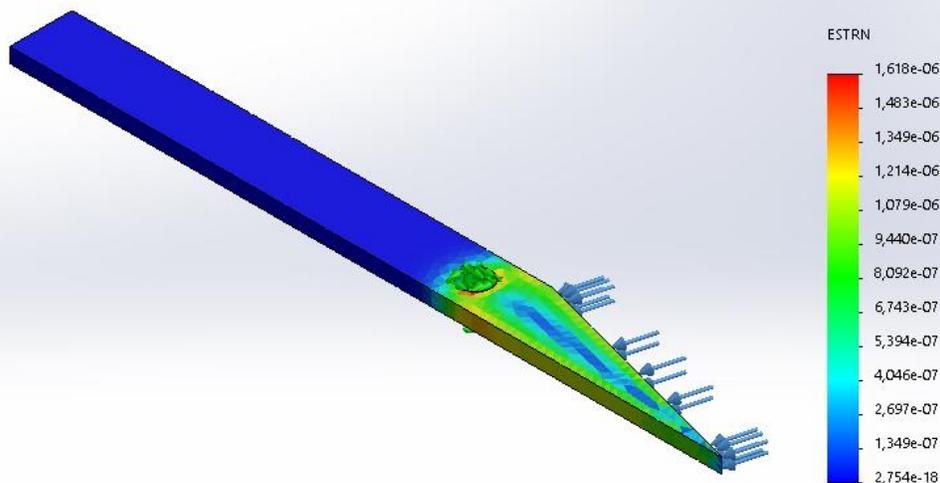


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Palanca_trinquete-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,754e-18 Elemento: 1606	1,618e-06 Elemento: 3145

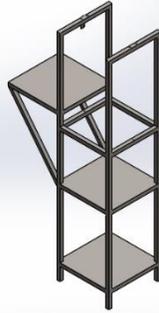
Nombre del modelo: Palanca_trinquete
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Palanca_trinquete-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de Estructura

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 2

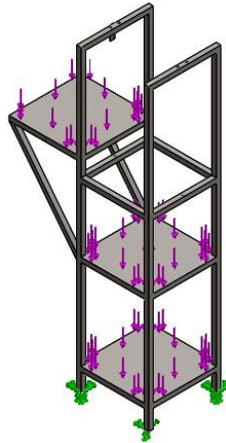
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	45
Propiedades de estudio	46
Unidades	46
Propiedades de material.....	47
Cargas y sujeciones.....	48
Información de contacto.....	49
Información de malla.....	50
Fuerzas resultantes.....	51
Resultados del estudio	52

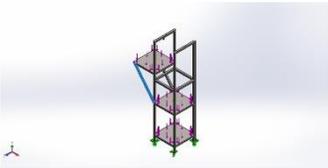
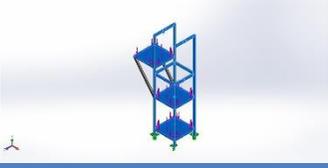
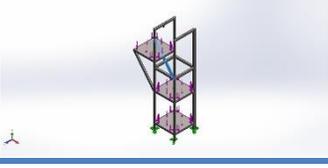


Información de modelo



Nombre del modelo: Estructura
Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada>

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir13 	Sólido	Masa:2,46251 kg Volumen:0,000313696 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:24,1326 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Mesa.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021
Cortar-Extruir21 	Sólido	Masa:138,459 kg Volumen:0,017638 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:1.356,9 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Mesa.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021
Saliente-Extruir14 	Sólido	Masa:2,46251 kg Volumen:0,000313696 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:24,1326 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Mesa.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

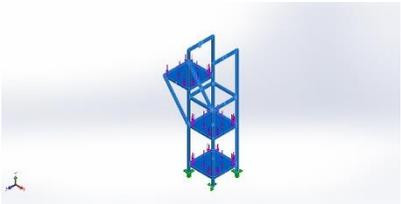
Nombre de estudio	Análisis estático 2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

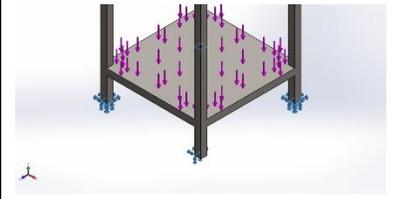


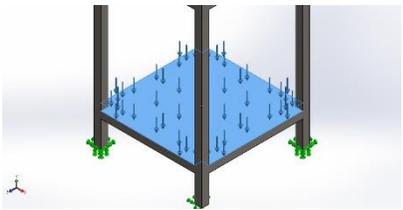
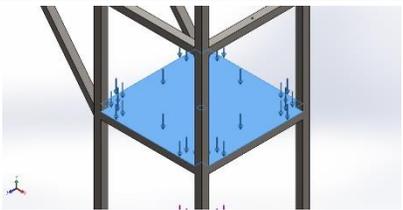
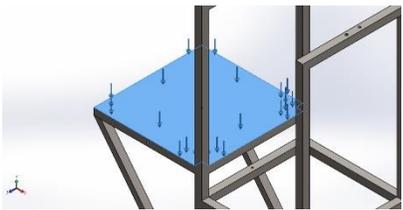
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,5e+08 N/m² Límite de tracción: 4e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m² </p>	<p> Sólido 1(Saliente-Extruir13)(Mesa), Sólido 2(Cortar-Extruir21)(Mesa), Sólido 3(Saliente-Extruir14)(Mesa) </p>
Datos de curva:N/A		

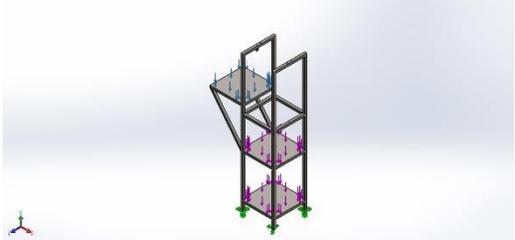


Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 arista(s), 3 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00411892	129,483	0,000501022	129,483
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 8 kgf
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 5 kgf
Fuerza-3		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 2 N

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global	 A 3D CAD model showing a rigid joint contact between two parts of a frame structure. The parts are connected at their top edges, and the contact area is highlighted with a blue mesh. The model is shown in a perspective view with a coordinate system at the bottom left.	Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible

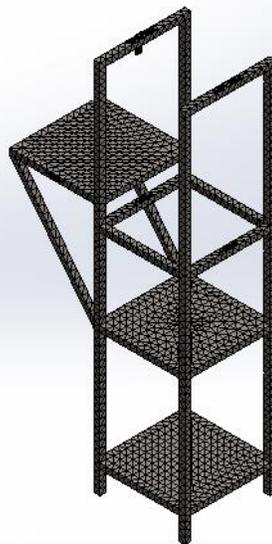
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	28,608 mm
Tolerancia	1,4304 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	20952
Número total de elementos	10308
Cociente máximo de aspecto	16,426
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	90,1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,204
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Mesa
 Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

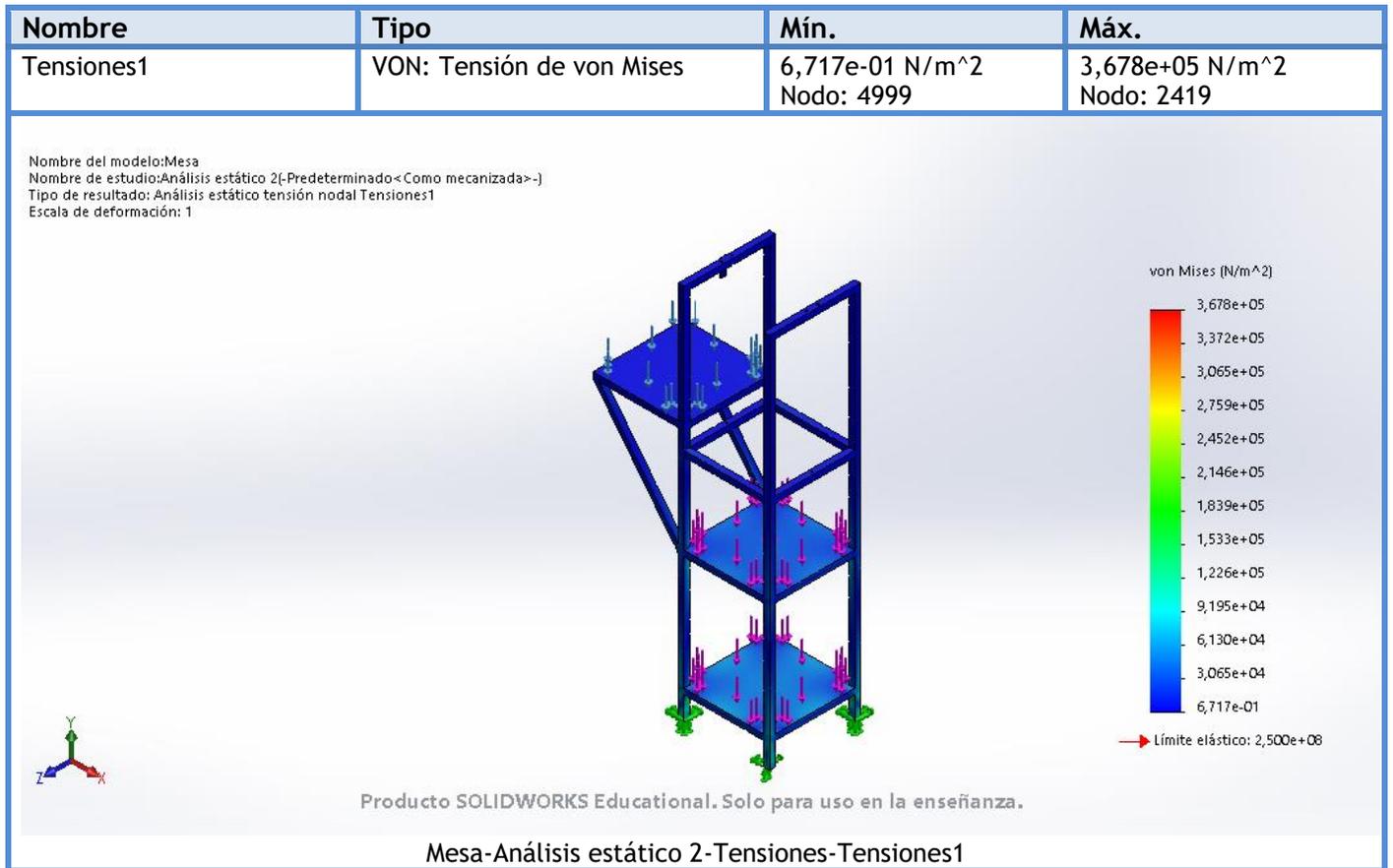
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00411892	129,483	0,000501022	129,483

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



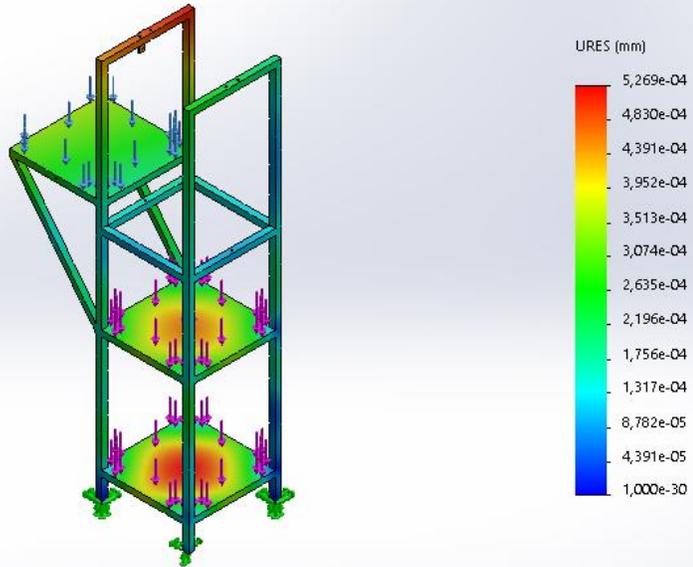
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 522	5,269e-04 mm Nodo: 4330



Nombre del modelo: Mesa
 Nombre de estudio: Análisis estático 2-(Predeterminado-<Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

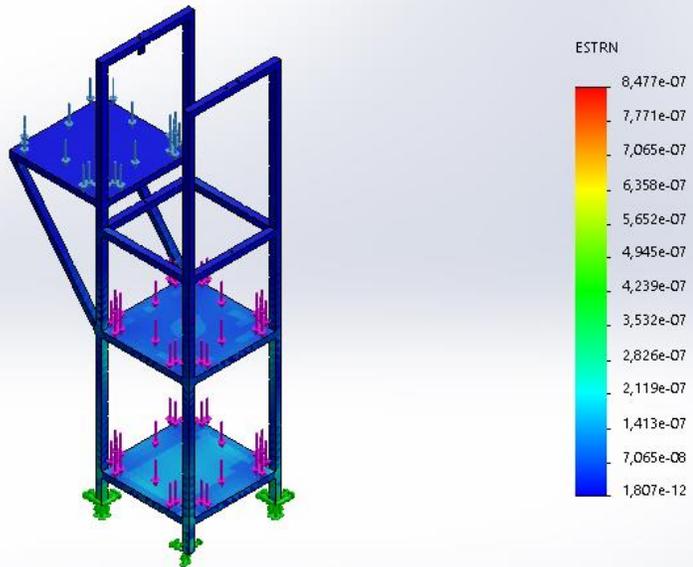


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Mesa-Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,807e-12 Elemento: 4704	8,477e-07 Elemento: 1641

Nombre del modelo: Mesa
 Nombre de estudio: Análisis estático 2-(Predeterminado-<Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Mesa-Análisis estático 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de soporte probeta

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	56
Propiedades de estudio	57
Unidades	57
Propiedades de material.....	58
Cargas y sujeciones.....	58
Información de malla.....	59
Fuerzas resultantes.....	60
Resultados del estudio	61





Simulación de soporte probeta

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

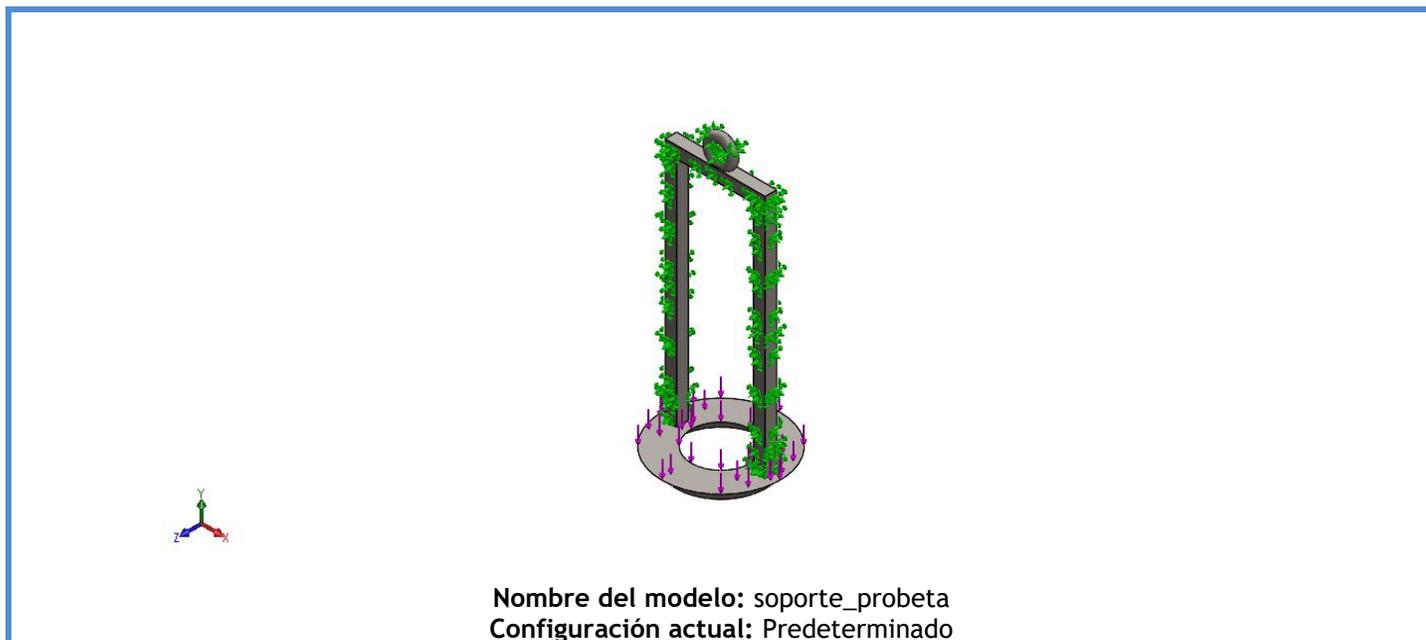
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo.....	56
Propiedades de estudio	57
Unidades.....	57
Propiedades de material	58
Cargas y sujeciones	58
Información de malla	59
Fuerzas resultantes	60
Resultados del estudio	61

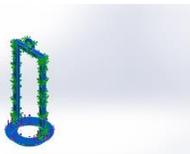


Información de modelo



Nombre del modelo: soporte_probeta
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Revolución1 	Sólido	Masa:0,0883829 kg Volumen:1,1259e-05 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:0,866152 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Sopote_Probeta\soporte_probeta.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

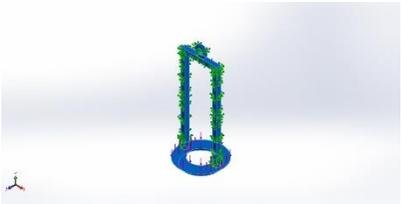
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\Sopote_Probeta)

Unidades

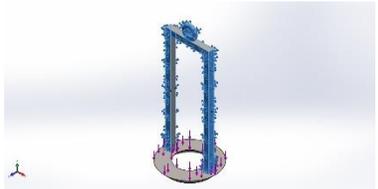
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

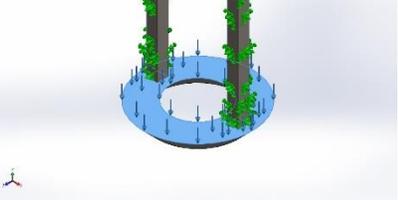


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 4e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m ³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m ²	Sólido 1 (Revolución1)(soporte_prob eta)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 5 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000402203	6,86469	8,43041e-06	6,86469
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 0,7 kgf



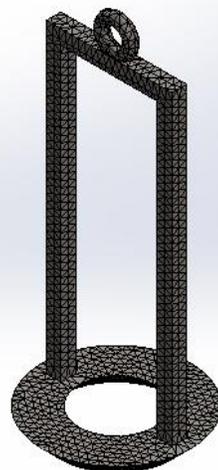
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	2,242 mm
Tolerancia	0,1121 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	12379
Número total de elementos	6498
Cociente máximo de aspecto	6,185
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: soporte_probeta
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

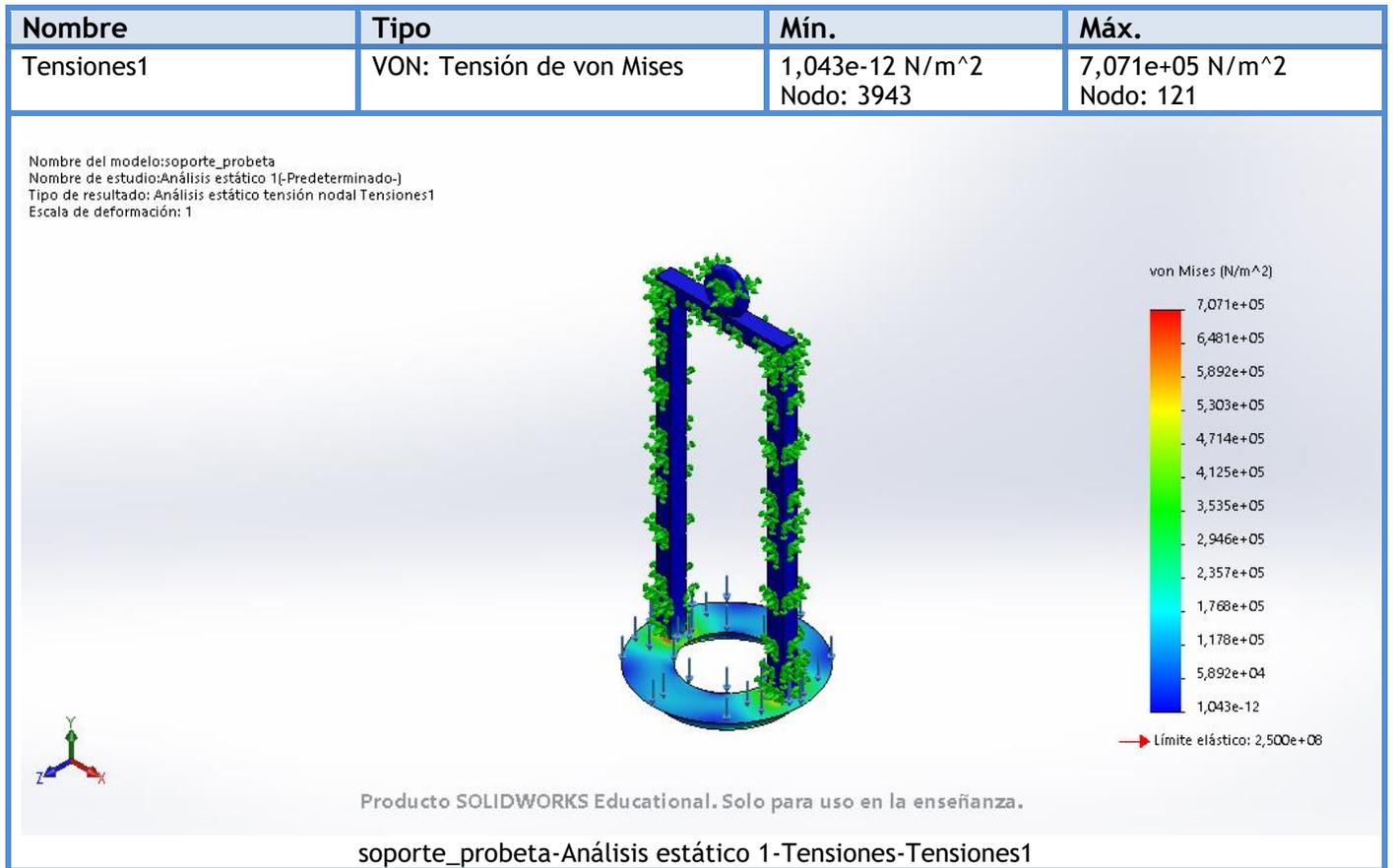
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000402203	6,86469	8,43041e-06	6,86469

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



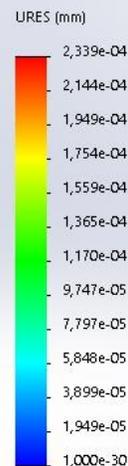
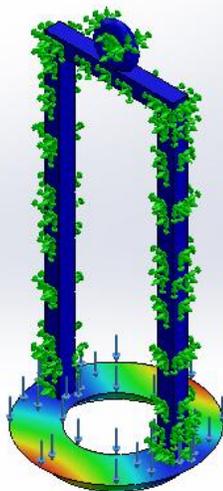
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	2,339e-04 mm Nodo: 365



Nombre del modelo: soporte_probeta
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

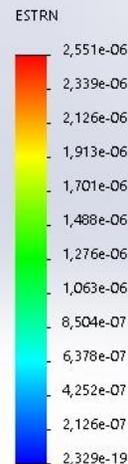
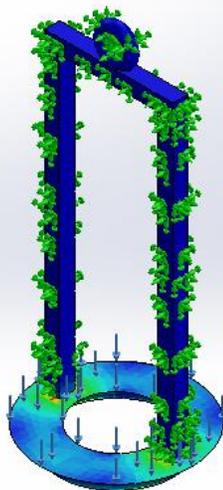


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

soporte_probeta-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,329e-19 Elemento: 3263	2,551e-06 Elemento: 4447

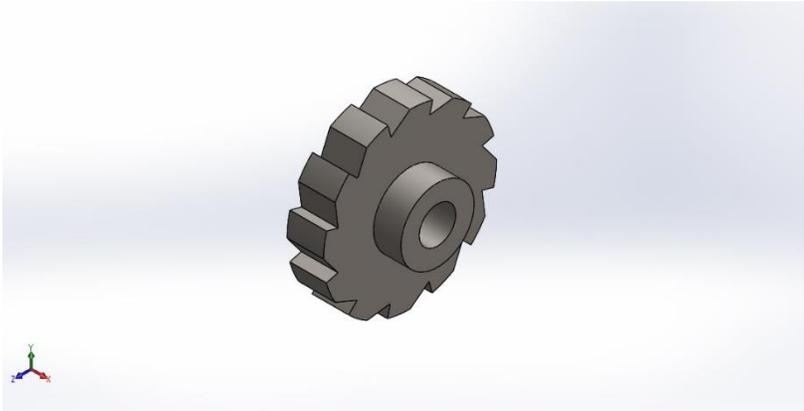
Nombre del modelo: soporte_probeta
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

soporte_probeta-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de Piñón trinquete

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

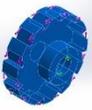
Información de modelo	64
Propiedades de estudio	65
Unidades	65
Propiedades de material.....	66
Cargas y sujeciones.....	66
Información de malla.....	67
Fuerzas resultantes.....	68
Resultados del estudio	69



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,27705 kg Volumen:3,52929e-05 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:2,71509 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto _Felipe\7.PiñonTrinquete \Piñon_trinquete.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

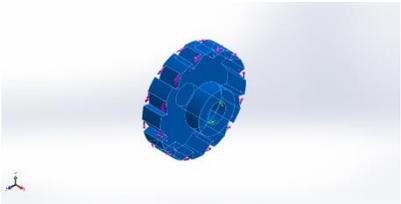
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\7.PiñonTrinquete)

Unidades

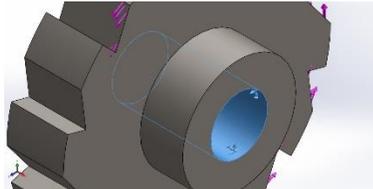
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

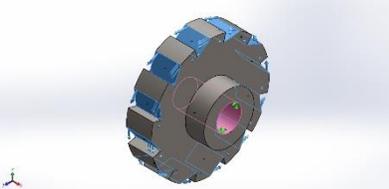


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 4e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m ³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m ²	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Piñon_trinquete)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0181799	0,0138192	0,00151378	0,022886
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-1		Entidades: 12 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 1 N.m



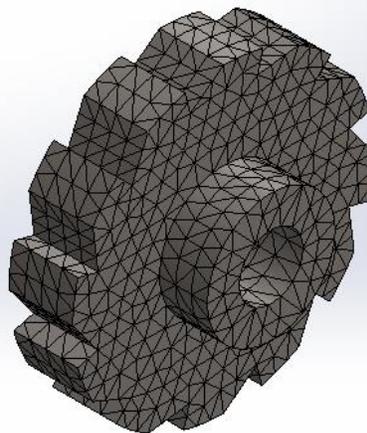
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3,28129 mm
Tolerancia	0,164064 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	12064
Número total de elementos	7536
Cociente máximo de aspecto	4,7599
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo: Piñon_trinquete
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

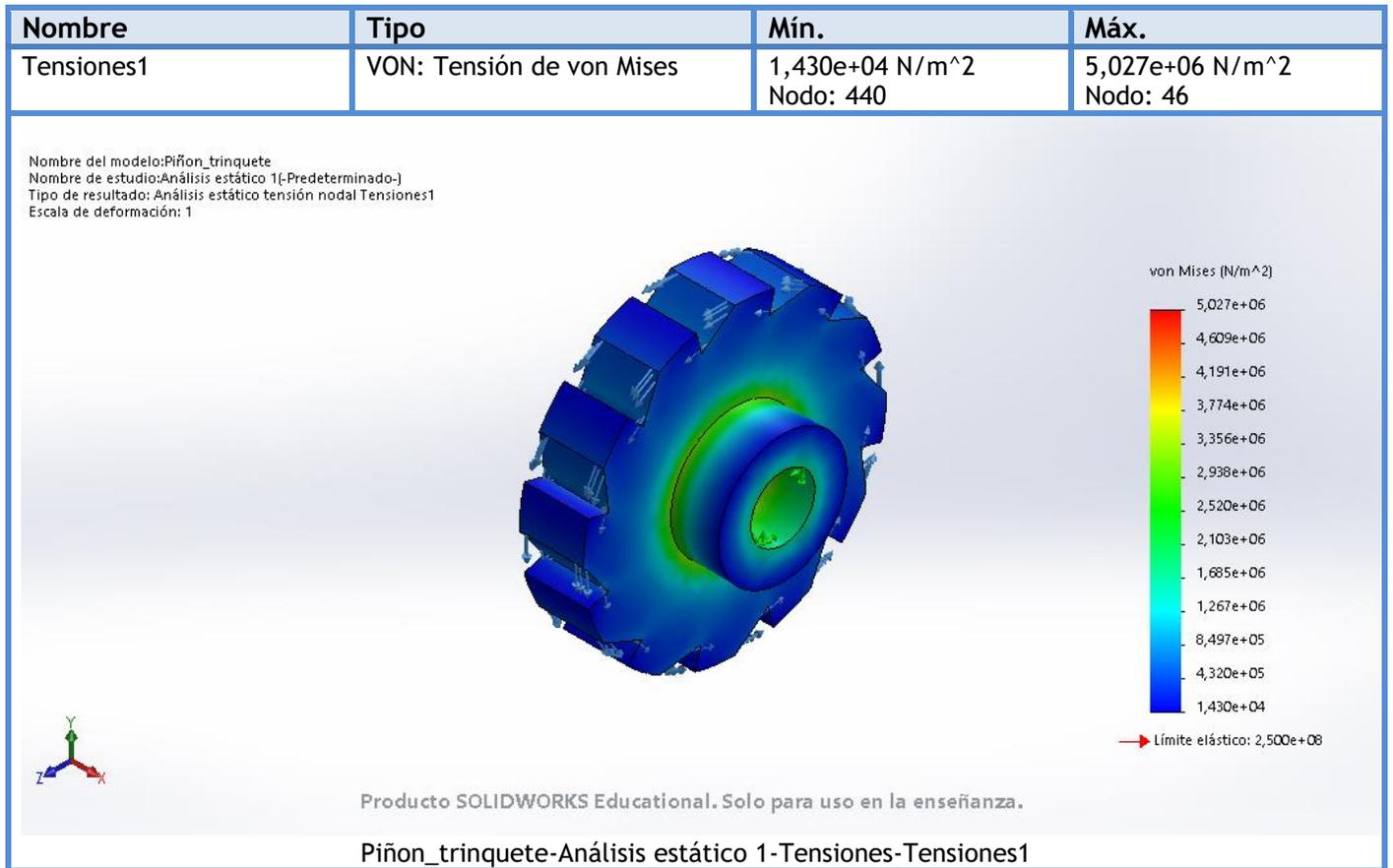
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0181799	0,0138192	0,00151378	0,022886

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



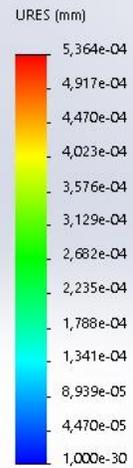
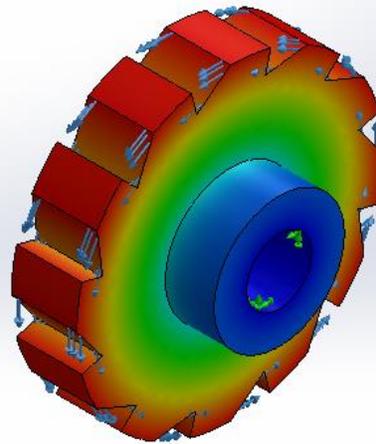
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	5,364e-04 mm Nodo: 509



Nombre del modelo: Piñon_trinquete
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos:1
 Escala de deformación: 1

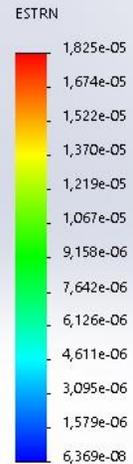
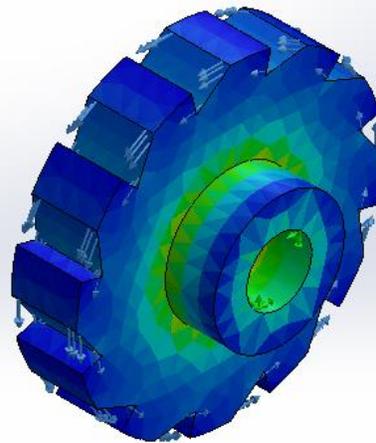


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Piñon_trinquete-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6,369e-08 Elemento: 157	1,825e-05 Elemento: 3622

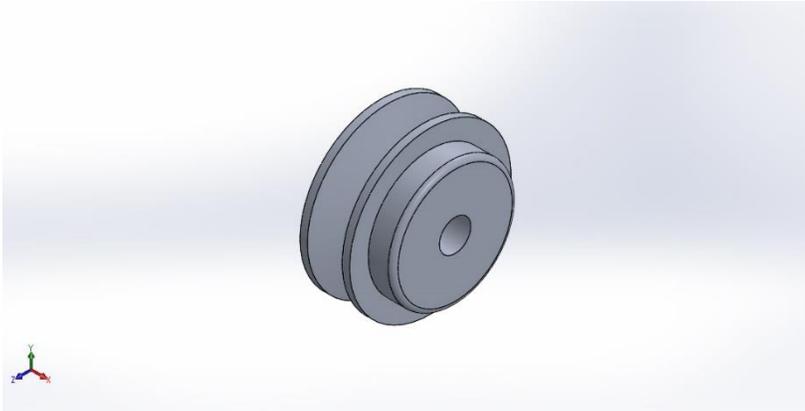
Nombre del modelo: Piñon_trinquete
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias:1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Piñon_trinquete-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de Polea

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

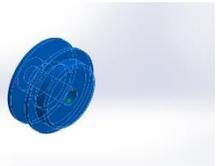
Información de modelo.....	72
Propiedades de estudio	73
Unidades.....	73
Propiedades de material	74
Cargas y sujeciones	75
Información de malla	76
Fuerzas resultantes	77
Resultados del estudio	78



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo1 	Sólido	Masa:0,168546 kg Volumen:6,24245e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:1,65175 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto _Felipe\9.Polea\Polea.SL DPRT Apr 27 16:04:38 2021



Propiedades de estudio

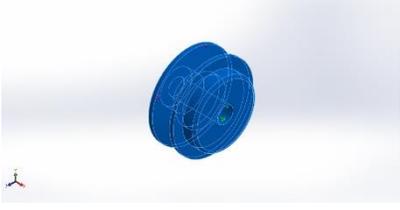
Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\9.Polea)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

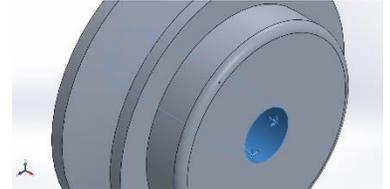


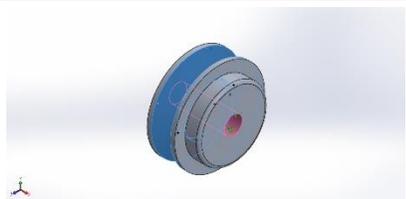
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Aleación 1060 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75742e+07 N/m² Límite de tracción: 6,89356e+07 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,7e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo1)(Polea)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0031828	-0,00179636	0,0137027	0,0141817
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Torsión-1		Entidades: 3 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 1 N.m		

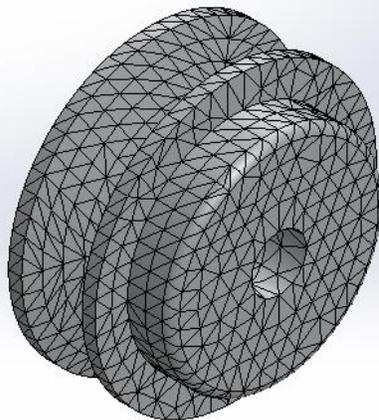
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3,96819 mm
Tolerancia	0,198409 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	11834
Número total de elementos	7097
Cociente máximo de aspecto	10,434
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	95,4
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0141
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo:Polea
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

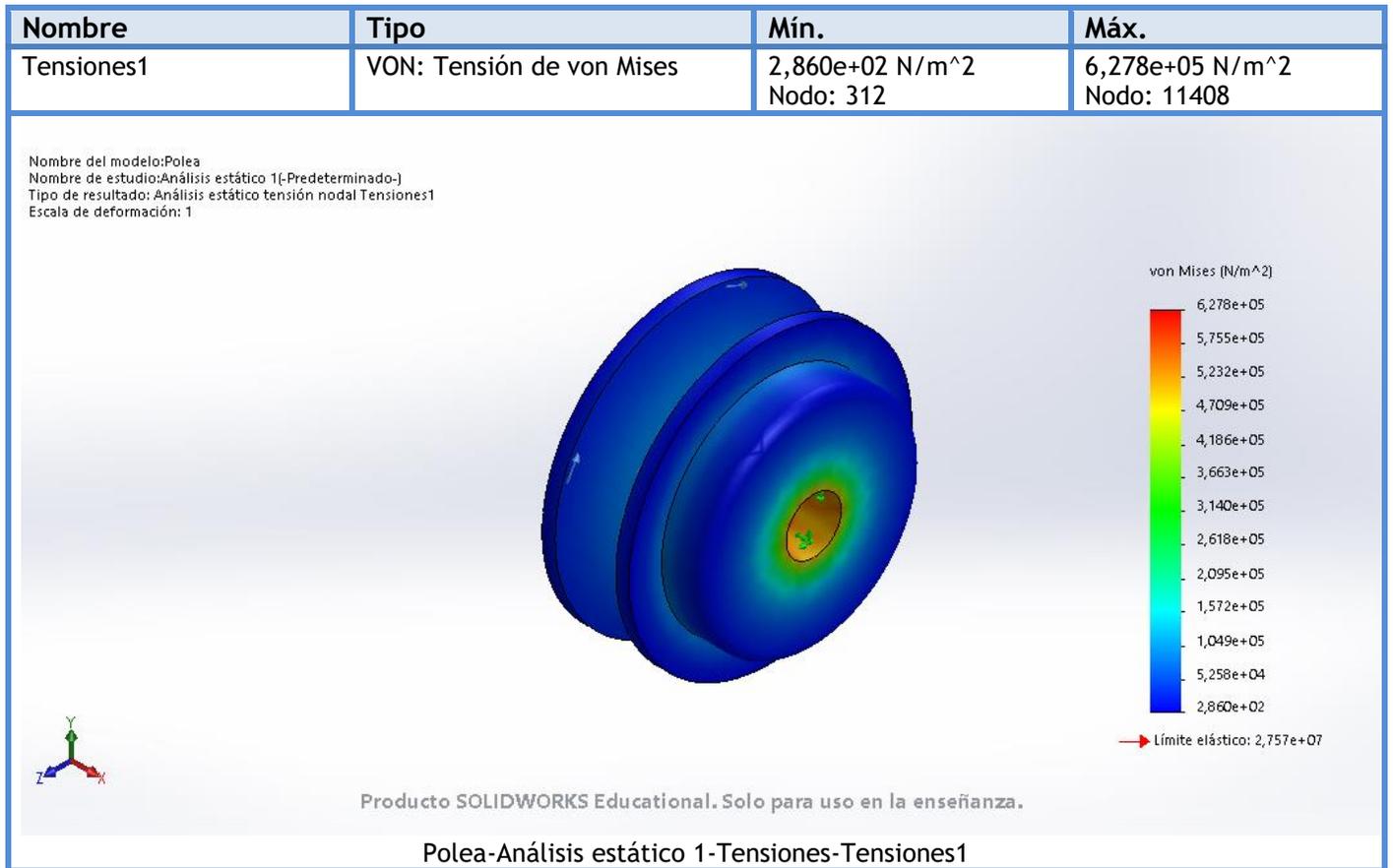
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0031828	-0,00179636	0,0137027	0,0141817

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



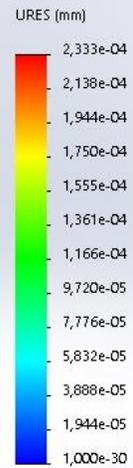
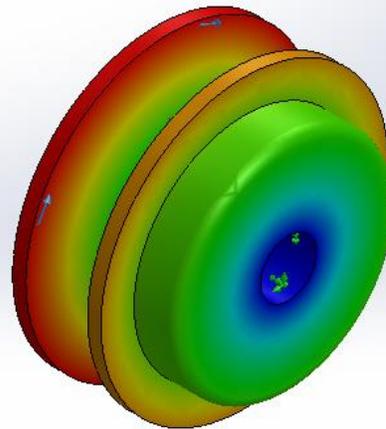
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 60	2,333e-04 mm Nodo: 658



Nombre del modelo:Polea
 Nombre de estudio:Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1

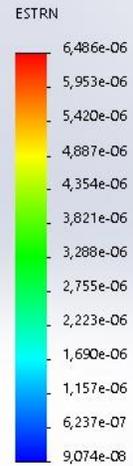
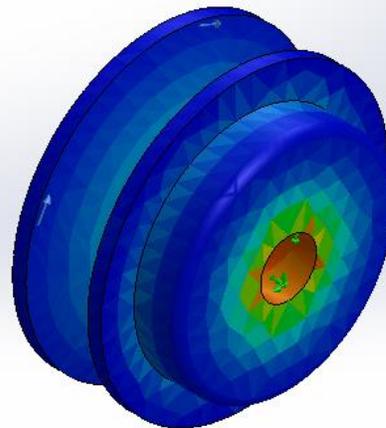


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Polea-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9,074e-08 Elemento: 2181	6,486e-06 Elemento: 6105

Nombre del modelo:Polea
 Nombre de estudio:Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Polea-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Simulación de volante

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

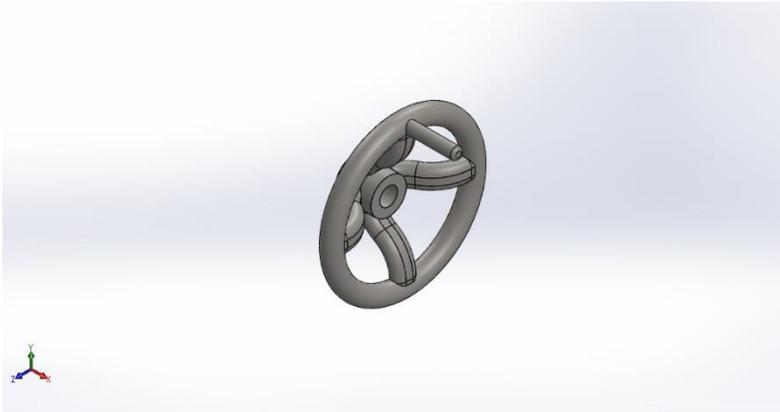


Tabla de contenidos

Información de modelo	81
Propiedades de estudio	81
Unidades.....	82
Propiedades de material	82
Cargas y sujeciones	83
Información de malla	83
Fuerzas resultantes	84
Resultados del estudio	85



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo1 	Sólido	Masa:0,571341 kg Volumen:7,3248 8e-05 m ³ Densidad:7.800 kg/m ³ Peso:5,59914 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\10.Volante\volante.SLDPRT Apr 27 16:04:38 2021

Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar



Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\10.Volante)

Unidades

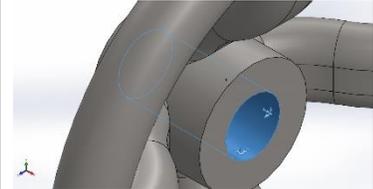
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

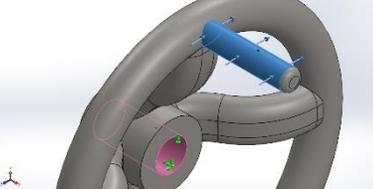
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Acero al carbono fundido</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,48168e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4,82549e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,32</p> <p>Densidad: 7.800 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,2e-05 /Kelvin</p>	Sólido 1(Redondeo1)(volant
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,000193	0,00331964	19,8075	19,8075
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Torsión-1		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 1 N.m		

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,18529 mm
Tolerancia	0,209265 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	15109
-----------------------	-------



Número total de elementos	8915
Cociente máximo de aspecto	6,5907
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelowolante
Nombre de estudio:Análisis estático 1-(Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,000193	0,00331964	19,8075	19,8075

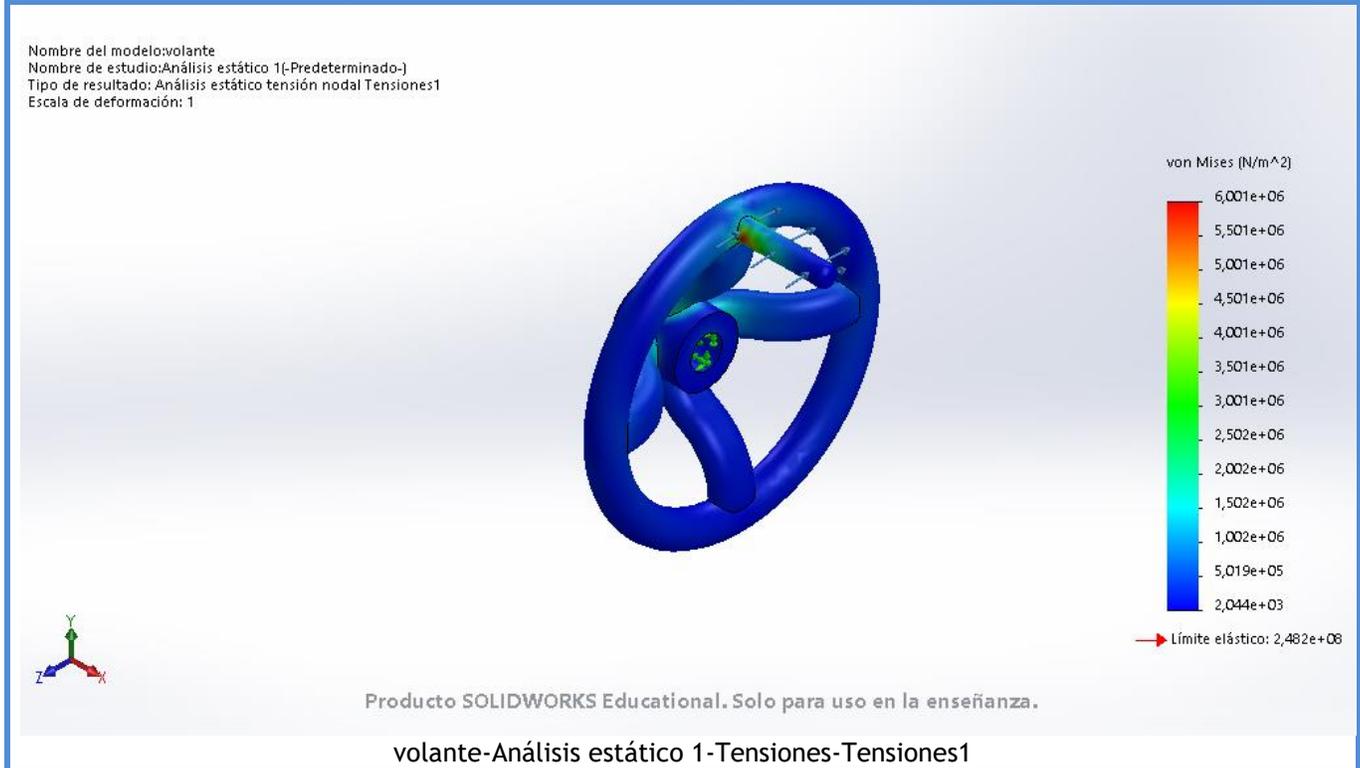
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

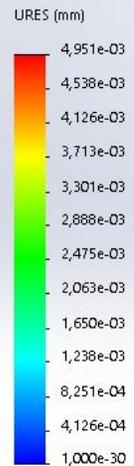
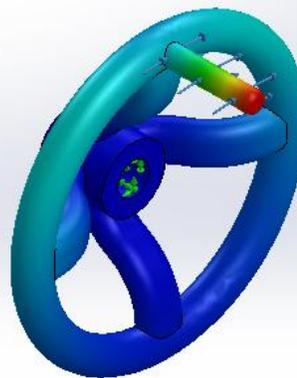
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2,044e+03 N/m ² Nodo: 1500	6,001e+06 N/m ² Nodo: 11328



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 927	4,951e-03 mm Nodo: 790



Nombre del modelo: volante
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1

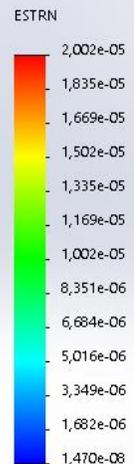
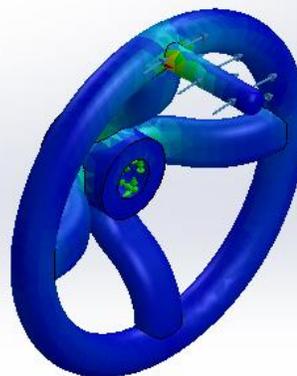


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

volante-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,470e-08 Elemento: 2197	2,002e-05 Elemento: 3181

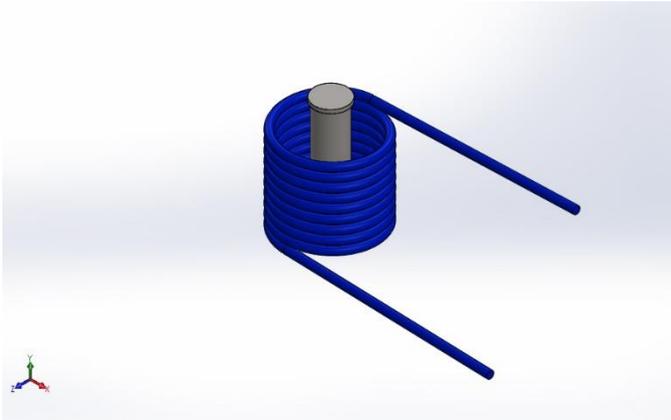
Nombre del modelo: volante
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

volante-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1





Simulación de Ensamble Térmico

Fecha: miércoles, 28 de abril de 2021
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Térmico 1
Tipo de análisis: Térmico(Estado estable)

Descripción

Analisis Térmico

Tabla de contenidos

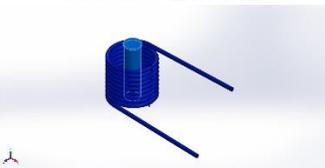
Descripción	87
Información de modelo	88
Propiedades de estudio	88
Unidades	89
Propiedades de material	89
Cargas térmicas	89
Información de contacto	90
Información de malla	90
Resultados del estudio	91



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Saliente-Extruir2	Sólido	Masa:0,742755 kg Volumen:8,34556e-05 m ³ Densidad:8.900 kg/m ³ Peso:7,279 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\11.Probeta analisis termico\Espiral_Modulo.SLDPRT Apr 28 21:11:33 2021
 Saliente-Extruir2	Sólido	Masa:0,404157 kg Volumen:5,11591e-05 m ³ Densidad:7.900 kg/m ³ Peso:3,96074 N	C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\11.Probeta analisis termico\Probeta.SLDPRT Apr 28 21:10:53 2021

Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Térmico 1
Tipo de análisis	Térmico(Estado estable)
Tipo de malla	Malla sólida
Tipo de solver	FFEPlus

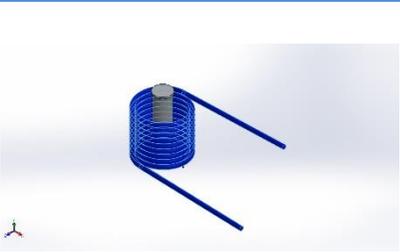
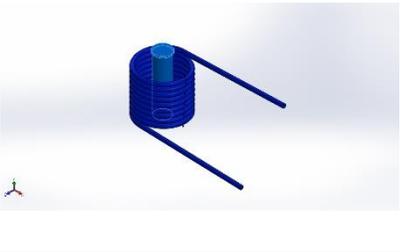


Tipo de solución	Estado estable
¿Se definió la resistencia de contacto?	No
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\JAIRO GARCIA\Desktop\Proyecto_Felipe\11.Probeta analisis termico)

Unidades

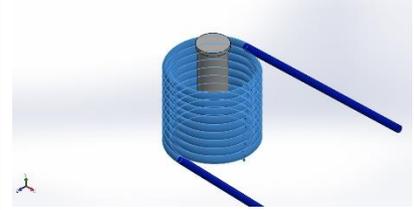
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

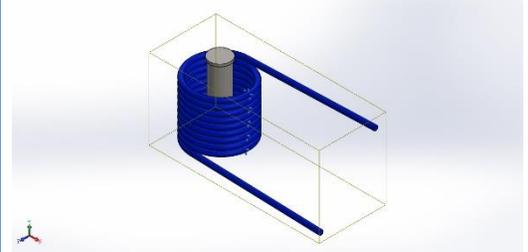
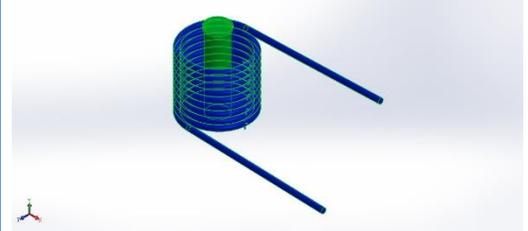
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Cobre</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Conductividad térmica: 390 W/(m.K)</p> <p>Calor específico: 390 J/(kg.K)</p> <p>Densidad: 8.900 kg/m³</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Espiral_Modulo-1)
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: AISI 1020</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Conductividad térmica: 47 W/(m.K)</p> <p>Calor específico: 420 J/(kg.K)</p> <p>Densidad: 7.900 kg/m³</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Probeta-1)
Datos de curva:N/A		

Cargas térmicas



Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Potencia calorífica-1		Entidades: 1 cara(s) Energía térmica Valor: 2500 W

Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible
Contacto entre componentes-1		Tipo: Unión rígida Componentes: 2 Sólido(s) Opciones: Mallado compatible

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,1251 mm
Tolerancia	0,256255 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

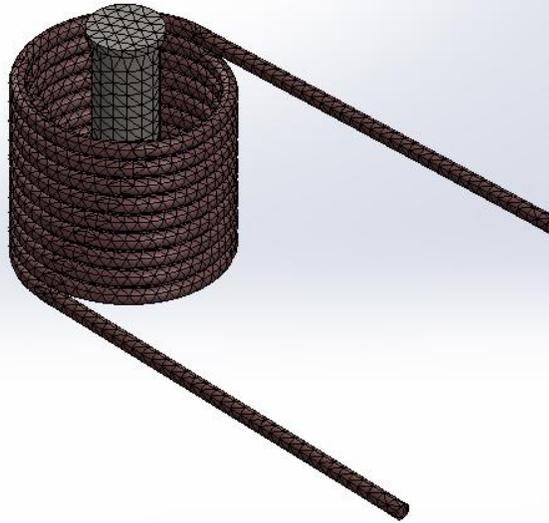


Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
--	------------

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	24349
Número total de elementos	11999
Cociente máximo de aspecto	11,329
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	91,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0417
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:09
Nombre de computadora:	CMA

Nombre del modelo:Ensamble_Termico
Nombre de estudio:Térmico 1(-Default-)
Tipo de malla: Malla sólida



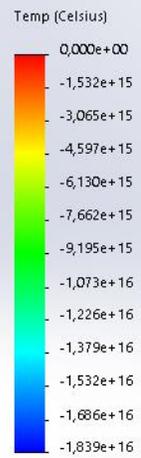
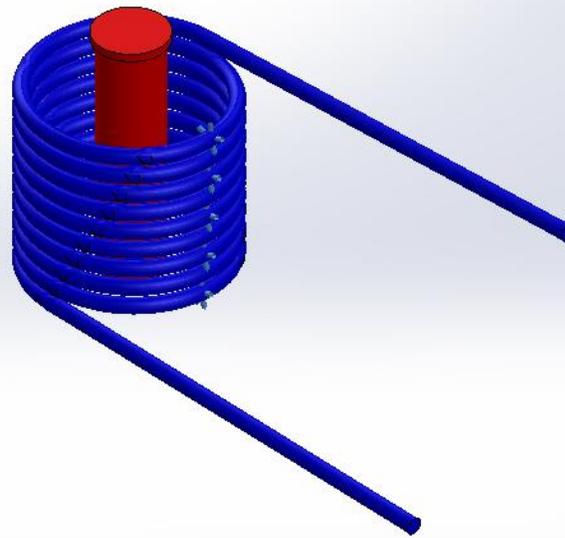
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico1	TEMP: Temperatura	-1,839e+16Celsius Nodo: 1	-2,731e+02Celsius Nodo: 20288



Nombre del modelo:Ensamble_Termico
Nombre de estudio:Térmico 1(-Default)
Tipo de resultado:Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamble_Termico-Térmico 1-Térmico-Térmico1

