



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DISCO DE FRENO
DELANTERO CON DISIPADORES DE CALOR A BASE DE FUNDICIÓN
DE HIERRO NODULAR.**

AUTOR: Guevara Guevara Rommel Roberto

Pérez Imbaquingo Richard Daniel

DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ. MSC.

Ibarra, agosto 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Diseño e implementación de disco de freno delantero con disipadores de calor a base de fundición de hierro nodular" presentado por el señor(es): Guevara Guevara Rommel Roberto con número de cedula 1003076385 y Pérez Imbaquingo Richard Daniel con número de cedula 1003978242, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 03 días del mes agosto del 2022.

Atentamente



Ing. Carlos Mafla, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003076385	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	GUEVARA GUEVARA ROMMEL ROBERTO	
DIRECCIÓN:		El Olivo	
EMAIL:		rrguevara@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0980581187

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003978242	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	PÉREZ IMBAQUINGO RICHARD DANIEL	
DIRECCIÓN:		El Olivo	
EMAIL:		rdperez@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0991646416

DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:		Diseño e implementación de disco de freno delantero con disipadores de calor a base de fundición de hierro nodular.	
AUTOR (ES):		Guevara Guevara Rommel Roberto, Pérez Imbaquingo Richard Daniel	
FECHA: DD/MM/AAAA		03 días del mes de agosto de 2022	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:		<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:		INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ	
ASESOR /DIRECTOR:		Ing. Carlos Mafla, MSc.	

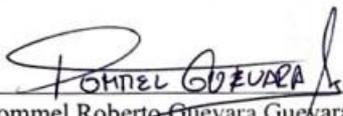
2. CONSTANCIAS

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 03 días del mes de agosto de 2022

EL AUTOR:


Rommel Roberto Guevara Guevara


Richard Daniel Pérez Imbaquingo

Ibarra, a los 03 días del mes de agosto de 2022

DEDICATORIA

A mis padres Edmundo y Graciela por todo el amor y el tiempo que dedicaron en brindarme su apoyo incondicional en mi carrera universitaria a lo largo de todo este tiempo, que con su confianza y su ayuda he logrado alcanzar mi primera meta en mi vida profesional, y también por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad.

A mis hermanos Paúl y Andrea que con su cariño y comprensión me animan día a día a seguir creciendo como persona y como profesional.

A Ruth por brindarme su amor incondicional y sincero durante toda la carrera, por ser aliada en todos mis logros, por ser mi pilar fundamental, que con su ayuda pude superar cualquier obstáculo que se me presente, y porque jamás me faltó un consejo o una mano que me ayude a salir adelante.

A todos mis abuelos, tíos, y primos que estuvieron siempre a mi lado brindándome su apoyo y su buena energía para que pueda conseguir este logro.

Y a mis amigos más cercanos por estar conmigo y ser parte de esta etapa en mi vida, y a todos los que pusieron un grano de arena para que este logro sea posible.

Richard Daniel Pérez Imbaquingo.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de manera especial a mis padres, quienes han sido un pilar fundamental de apoyo constante y ejemplo de trabajo, siendo un modelo de motivación en cada uno de los peldaños atravesados para lograr terminar mi carrera a toda satisfacción.

A mi padre que con su experiencia y conocimientos me han ayudado a desarrollarme profesionalmente, logrando culminar con grandes éxitos.

A mis hermanos quienes, con su apoyo constante, el empuje que me han dado siempre durante todo este proceso.

A mis compañeros y amigos con quienes juntos hemos compartido cada una de las experiencias y conocimientos.

Rommel Roberto Guevara Guevara.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por todo el sacrificio que realizaron, por darme la oportunidad de estudiar una carrera, gracias por brindarme esa confianza para lograr los objetivos que surgieron en esta etapa universitaria, y que nunca faltó un sabio consejo que me ayudó a impulsarme como persona.

A todos mis familiares que con su apoyo me ayudaron a continuar, y que jamás me faltó unas palabras de ánimo. Gracias por siempre estar pendientes en todo momento.

A la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte porque nos abrió las puertas de esta prestigiosa institución, y supo guiarme en este camino profesional. Gracias por esta gran experiencia que viví como estudiante de esta hermosa carrera.

A la Universidad Técnica del Norte y la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas por permitirme culminar mi carrera, y a todos los docentes, que con su ayuda solventaron cualquier dificultad en clases, que sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Al Msc. Carlos Mafla por la oportunidad de trabajar en este proyecto y estar pendiente en sacar adelante este experimento a pesar de los altos y los bajos, gracias por esa confianza y paciencia que tuvo al momento de guiarnos cuando existían eventualidades.

Richard Daniel Pérez Imbaquingo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por darme la oportunidad de haber culminado la carrera de la mejor manera, y lograr obtener mi título.

A la Universidad Técnica del Norte y cada uno de los maestros, que con su profesionalismo supieron inculcarme todos sus conocimientos.

A mi tutor el Ing. Carlos Mafla Msc. que con su paciencia y dedicación nos guio de la mejor manera para lograr culminar la tesis de grado.

A cada una de las personas que directa o indirectamente aportaron de alguna manera para terminar con éxito mi tesis y mi carrera.

Rommel Roberto Guevara Guevara.

ÍNDICE

1	ANTECEDENTES	14
1.1	SITUACIÓN ACTUAL.....	17
1.2	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.3	OBJETIVOS	19
1.4	ALCANCE.....	19
1.5	MARCO TEÓRICO.....	20
2	MATERIALES Y MÉTODOS	39
2.1	INTRODUCCIÓN	39
2.2	MATERIALES, INSUMOS y EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN DEL DISCO DE FRENO DELANTERO	39
2.3	MÉTODOS	46
3	RESULTADOS.....	78
3.1	DISCO DE FRENO	78
3.2	HIERRO NODULAR	82
3.3	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	85
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
4.1	CONCLUSIONES	87
4.2	RECOMENDACIONES.....	88
	BIBLIOGRAFÍA	90
	ANEXOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

FIG.	PÁGINA NÚM.
Tabla 1.1 Especificación de la SAE para piezas fundidas de hierro nodular en la industria automotriz.	30
Tabla 2.1 Datos de producción de vehículos CIAUTO.	47
Tabla 2.2 Datos obtenidos de la simulación para disco original.	48
Tabla 2.3 Datos obtenidos de la simulación para disco con 20 álabes.	49
Tabla 2.4 Datos obtenidos de la simulación para disco de freno con 24 álabes.	50
Tabla 2.5 Valoración y tabulación de los discos de freno analizados.	51
Tabla 2.6 Datos de molde permanente.	52
Tabla 2.7 Datos de molde con resina.	52
Tabla 2.8 Datos de molde arena en verde.	52
Tabla 2.9 Valoración y tabulación en la selección de molde óptimo.	53
Tabla 2.10 Espesores mínimos dependiendo del material.	55
Tabla 2.11 Valores de salida en mm o en porcentaje y ángulo de salida B aconsejables.	56
Tabla 2.12 Contracción de ciertos materiales utilizados en fundición.	56
Tabla 2.13 Espesor de Maquinado.	58
Tabla 2.14 Coeficientes de corrección.	61
Tabla 2.15 Valores de espesores predominantes y velocidades de ascenso recomendadas.	63
Tabla 2.16 Relaciones de colada.	65
Tabla 2.17 Valores de sistema de alimentación.	66
Tabla 2.18 Valores del sistema de alimentación del material.	67
Tabla 3.1 Datos temperatura de trabajo.	80
Tabla 3.2 Datos de tensión del disco.	80
Tabla 3.3 Análisis económico.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG.	PÁGINA NÚM.
Figura 1.1 Formas típicas del grafito ASTM A247	33
Figura 1.2 Diagrama hierro-carbono estable	34
Figura 2.1 Recorte de madera	40
Figura 2.2 Filamento de PLA	40
Figura 2.3 Masilla de poliuretano	41
Figura 2.4 Mezcla de Moldeo	41
Figura 2.5 Plumbagina	42
Figura 2.6 Chatarra de acero	42
Figura 2.7 Horno de inducción eléctrico	43
Figura 2.8 Torno	44
Figura 2.9 Fresadora	44
Figura 2.10 Taladro estático	45
Figura 2.11 Pantalla de inicio Solidworks	45
Figura 2.12 Dimensionamiento del disco de freno	47
Figura 2.13 Simulación disco original	48
Figura 2.14 Simulación disco de 20 álabes	49
Figura 2.15 Simulación disco de 24 álabes	50
Figura 2.16 Delimitación del plano de división	54
Figura 2.17 Espesor requerido del disco de freno	54
Figura 2.18 Sobre espesor para el maquinado	57
Figura 2.19 Dimensiones de disco	60
Figura 2.20 Alimentador y Escoriador plano	67
Figura 2.21 Alimentador y Escoriador dimensiones	68
Figura 2.22 Dimensiones del canal vertical	68
Figura 2.23 Caja de moldeo	70
Figura 2.24 Placa modelo	71
Figura 2.25 Mezcla de moldeo	72
Figura 2.26 Fabricación del molde de fundición	72
Figura 2.27 Fabricación del noyo	73

Figura 2.28 Colado de material	75
Figura 2.29 Torneado del disco de freno	75
Figura 2.30 Fresado del disco de freno	76
Figura 2.31 Taladrado del disco de freno	76
Figura 2.32 Probeta según norma NTE INEN 2 499:2009	77
Figura 3.1 Peso disco de 20 alabes	79
Figura 3.2 Peso disco original	79
Figura 3.3 Modelo de álabes	81
Figura 3.4 Foto disco terminado	82
Figura 3.5 Metalografía 100x	82
Figura 3.6 Metalografía 500x	83
Figura 3.7 Valores Hierro nodular	84
Figura 3.8 Valores ensayo de tracción	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

FIG.	PÁGINA NÚM.
Ecuación masa de la pieza	59
Ecuación altura media	60
Ecuación altura del modelo.....	61
Ecuación cálculo del tiempo de vaciado.....	61
Ecuación de reacción para aleaciones ferrosas.....	62
Ecuación área de control.....	63
Ecuación área de control	64
Ecuación canal vertical	68

RESUMEN

En el mercado Ecuatoriano es difícil encontrar empresas dedicadas a la fabricación de discos de freno, ya sea por el desconocimiento en la fabricación o debido a que no hay una normativa en el país que regule la importación para conocer si cumplen con las exigencia que necesita este sistema de seguridad vehicular, el presente trabajo busca resolver esta dificultad mediante el desarrollo de un prototipo de disco de freno con disipadores de calor a base de hierro nodular, con base en el diseño de disco de freno de una camioneta Wingle.

Para las simulaciones se utiliza la herramienta SolidWorks que permite obtener el 3D de la pieza, donde posteriormente se realiza el diseño de un disco de freno con otra distribución de sus álabes, donde luego de las simulaciones se obtienen los resultados que permitirán la elección adecuada de que disco cumple con las diferentes pruebas realizadas.

En cuanto a la fabricación del disco de freno se realiza el modelo de fundición, el cual es una copia a la pieza con una escala mayor debido a la contracción del material y al sobre dimensionamiento para maquinado que se le realiza cuando el disco de freno esté terminado, posteriormente se realiza el molde donde se vierte el colado de hierro nodular que se funde en un horno de inducción.

Para finalizar y conocer la calidad del material del disco fundido se realizan pruebas metalográficas y de tracción, con esto se obtuvo valores que determinan la calidad del material donde se logra corroborar que el disco posee las características deseadas.

ABSTRACT

Today it is very difficult to find high quality manufactures, specialized in brake disk making, due to lack of knowledge of the fabrication process or the lack of regulation norms on importation process that dismiss the security vehicle systems and laws. The present paper searches for one possible solution by designing a prototype development of a brake disk made of nodular iron of a Wingle wagon.

To achieve the objectives, we use SolidWorks as a tool for simulation in which the simulation process gives us the 3D model in which later we change the distribution of the blades and make a comparison between the two models to finally make a decision of the brake disc that accomplish all the test proposed

The developing process starts with the diecast model which is a slightly bigger replica of the simulation, it is due to pattern shrink and the cutting of the casting process and the later machining process respectively to reach the final stage, then we put molten nodular iron obtained from an induction forge.

Finally, the quality is verified by a series of metallurgical and tensile testing that proves the desired specifications.

INTRODUCCIÓN

Desde la invención del automotor fue necesario la creación de un sistema o mecanizo que ayude a la reducción de la velocidad y detención del vehículo, debido a este motivo se le considera a este mecanizo como un sistema de seguridad que permite salvaguardar la vida de los ocupantes del automotor.

En sus inicios, en los sistemas de freno, consistía en un cable de acero que se accionaba desde un pedal donde se lograba el detener el automotor con un bloqueo total directamente a la rueda, el problema de este sistema es que el conductor debía aplicar demasiada fuerza al pedal para lograr su detención completa, después de este sistema se implementó el sistema de frenos mediante tambores, estos poseían una cinta de acero que se enrollaba en el tambor en el eje trasero para lograr detener el vehículo, al pasar los años se fabricó el disco de freno que en sus comienzos no fue comercializado debido a que eran demasiado ruidosos y era molesto su sonido, después se implementó unas pastillas con recubrimiento de asbesto que mitigo el sonido que producía, y así su invención siguió evolucionando a tal punto que se logró implementar un frenado gracias a la hidráulica que es el que hoy conocemos.

Existen distintos tipos de discos de freno en el mercado que cada marca patenta día a día al mejoramiento de este sistema de seguridad.

El hierro nodular es de la familia de los hierros grises que posee un porcentaje alto en carbono que gracias a sus propiedades mecánicas es utilizado en la industria automotriz, para la producción de este tipo de material debe contener un bajo porcentaje de azufre que permite la creación de sus nódulos. Su obtención es más compleja debido al uso de otros componentes

como el magnesio e inoculante para su obtención, además este hierro nodular se lo puede emplear en distintas ramas en la industria.

SolidWorks es un software que permite el diseño y la simulación, contiene distintas herramientas que permite el diseño exacto de lo que se desea realizar, ya que se puede simular y tener los valores precisos que garanticen el correcto funcionamiento de las piezas, gracias a este software se puede evitar costos innecesarios al momento de fabricar piezas, debido a su interfaz se puede realizar distintas simulaciones, permitiendo conocer como es el comportamiento de un disco de freno al momento de cumplir su trabajo, y así evitando pérdidas de tiempo y pérdidas económicas en la fabricación de este, ayudando a un salto inmenso en los diseño y creaciones de nuevas piezas automotrices.

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES

En la industria automotriz existe muchos factores importantes que genera que un vehículo sea seguro, y uno de esos son los discos de freno, gracias a estos permite que el vehículo se detenga, evitando accidentes, y salvando la vida del conductor y de los pasajeros. Ya que de este depende la detención total o parcial del vehículo, y en consecuencia la integridad de sus pasajeros.

La mayoría de discos de freno que se fabrican tiene origen en la fundición gris nodular de grafito laminar, este material garantiza estabilidad de las prestaciones durante la vida útil del disco de freno, “Se ha desarrollado diferentes tipos de aleaciones para el diseño y fabricación de discos de freno en la industria automotriz” (Martínez Gómez et al., 2018). Por eso se necesita un tipo de material de freno que genere un buen frenado y además más ligero.

El sistema de frenado de un automóvil debe satisfacer un complejo conjunto de requerimientos, entre los cuales la seguridad es lo más importante. Los frenos deben trabajar en forma segura y predecible en cualquier circunstancia, lo cual implica disponer de un nivel estable de fricción, en cualquier condición de temperatura, humedad y salinidad del medio ambiente (García León et al., 2015).

Según (Salazar & Ricardo, 2018). Para un correcto diseño y operación de los discos de freno, es necesario considerar diferentes aspectos, tales como la geometría, el tipo de material, la resistencia mecánica, la temperatura máxima, la deformación térmica, la resistencia al agrietamiento, entre otros.

Para la correcta construcción de un disco de freno se debe tomar en cuenta que, “es necesario considerar diferentes aspectos, tales como la geometría, el tipo de material, la resistencia

mecánica, la temperatura máxima, la deformación térmica, la resistencia al agrietamiento” (García León et al., 2015) para que el disco de freno cumpla con los estándares que lo amerita.

El disco absorbe esta energía, la cual debe ser disipada rápidamente al aire circundante, por medio del fenómeno de la convección. Cuando la temperatura alcanza valores elevados, el fenómeno de la radiación también ayuda a disipar la energía almacenada en el disco (Esteban et al., 2012).

La función principal del disco de freno es la de detener el vehículo, “el principio por el que estos consiguen detener el vehículo es el rozamiento al aplicar una superficie fija a una móvil, convirtiendo la energía absorbida en calor” (Bauzá, 2018). Para luego ese calor sea disipado a la atmosfera.

Según, (Parera, 1998), En las ruedas el mecanismo de frenos, cuando es activado, aplica con una fuerza, proporcional a la ejercida por el conductor sobre el pedal de freno, un forro de material antideslizante contra un elemento metálico, llamado disco.

Las pastillas son el complemento del disco de freno ya que el rozamiento,” entre discos y pastillas produce la transformación de energía cinética en energía calorífica, provocando una reducción de la velocidad” (Lillo Harun, 2006). Pero el componente que se desgasta con mayor rapidez son las pastillas de freno.

El hierro nodular se ha utilizado para piezas de máquinas que necesiten buena resistencia mecánica y lo más importante que tengan un bajo costo a comparación con los aceros. “La fundición nodular tiene varios usos estructurales, particularmente aquellos que requieren resistencia y tenacidad combinados con buena maquinabilidad y bajo costo” (Bacon, 2008, p.13).

El hierro nodular tiene la capacidad de absorber las vibraciones por lo que es un buen material para la fabricación de discos de freno. “La vibración del freno es un síntoma que se percibe como temblores o palpitaciones en algunas zonas del vehículo como la carrocería” (Kashima, 2013).

Para un buen diseño de disco se deberá contemplar la energía que debe disipar el momento de frenado para así lograr que no se sobrecaliente lo que podría producir deficiencia de frenado o daños en el disco. “...la capacidad del hierro dúctil para cumplir y superar incluso las pruebas de calificación más críticas para el rendimiento de los materiales” (Ductil Iron Society, 2013).

Un mal diseño podría provocar un recalentamiento de los sistemas de frenos lo cual podría provocar un accidente. “Análisis de la evolución de las tensiones térmicas en los elementos de fricción durante el frenado demuestra que cuando se calienta se producen tensiones de compresión normales considerables cerca de la superficie de contacto” (Yevtushenko & Kuciej, 2010).

La utilización de hierro nodular para fabricación de componentes automotrices no es nueva ya que existen muchos componentes que se producen para la rama automotriz “En cuanto a la industria automovilística es usado en componentes o accesorios que tienen que ver con la seguridad como lo son las pinzas de freno, dirección, cajas diferenciales, bloque del motor” (Moncada & Vacca, 2010)

Un material idóneo para la fabricación de un disco de freno es el hierro nodular que tiene buenas propiedades mecánicas para ser utilizado para un disco de freno. “El disco absorbe esta energía, la cual debe ser disipada rápidamente al aire circundante” (Esteban et al., 2012).

Para desarrollar una correcta fundición sin que se lleve a fundiciones desperdiciadas después de un mal moldeo de función se debería primero realizar una simulación por computadora del disco

con todas las entradas de material, así como respiraderos para lograr un buen llenado y evitando porosidades. “Otro aspecto interesante es conocer cómo será el proceso de colada del disco de freno antes de realizar la construcción de los útiles de moldeo necesarios para esta tarea. Con un estudio previo empleando un software de proceso de fundición, será posible evitar los problemas que pudieran aparecer durante la colada del nuevo disco” (Esteban et al., 2012).

Hay que tomar muy en cuenta la formación de nódulos ya que una mala formación puede acarrear que el disco se fatigue o fracture “considerando el número, forma y tamaño del grafito nódulos, así como la proporción de fase perlítica, uno puede concluir que los nódulos irregulares más grandes independientemente de la proporción de la fase perlítica tiene una influencia desfavorable” (Čanžar et al., 2012).

1.1 SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad, la producción industrial es mínima ya que el Ecuador no es un país que se encarga de generar industria automotriz, ya que no existe ninguna fabrica que elabore piezas del sistema de freno como: discos de freno, pastillas de freno, mordaza entre otros, lo único que se realiza en el país es ensamblar las piezas que llegan de otros países.

El uso del hierro nodular es muy limitado en el Ecuador, ya que solo se funde objetos como: tapas, cajas de revisión, entre otros. Y no se fabrica ningún componente automotriz a base de este material.

Se han realizado distintos estudios acerca del diseño, y fabricación de un disco de freno en el país, pero jamás se llegó a ejecutar con el material de hierro nodular.

Ya que el disco de freno es un sistema de seguridad actual, este sistema de discos se implementa en los vehículos en remplazo de los frenos de tambor principalmente en las ruedas delanteras

debido a que su acción de frenado es mucho más enérgica, su funcionamiento se basa en la presión que ejerce las pastillas de freno en las caras laterales del disco (Ayala et al., 2018).

Un estudio reciente es el diseño de un disco a base del “material con el que se fabrican los discos de freno es la fundición del grafito laminar, puesto que este material garantiza la estabilidad de las prestaciones durante el tiempo de vida del disco” (Guzmán Tasinchana & Quimbita Panchi, 2018). En cambio, el actual proyecto que se llevara a cabo es usado el material de Hierro Nodular.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Ecuador ha sido dependiente de importaciones de Discos de freno de otros países, por lo cual el dinero emigra al exterior, “Durante el 2018, China exportó frenos y servofrenos al Ecuador, con un valor de 13,9 millones de dólares, seguido de Corea con 5 millones de dólares y Japón con 4,2 millones dólares. Países como Italia y Alemania, hasta el 2018 solo han alcanzado un valor 729 y 694 mil dólares respectivamente” (Xavier et al., 2019), perdiendo así fuentes de trabajo local y teniendo que ser dependientes de importaciones de otros países.

En el país existen fundidoras dedicadas al trabajo con hierro nodular para realizar tapas de alcantarilla, rejillas y accesorios para sistemas de agua potable. A pesar de la fabricación de este material, es inexistente la fabricación de discos de freno automotrices. Estos diseños son realizados en otros países y no son adaptados a las necesidades, o la geografía que se tiene en el país ni al tipo de vehículo que se los emplea.

En el Ecuador, no existe una fabricación pertinente acerca de un diseño óptimo de la disipación de calor de los discos de freno ventilados para que su funcionamiento sea correcto y así evitar daños en el sistema de frenado e impedir accidentes debido al mal diseño de este.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un prototipo de disco de freno delantero con disipadores de calor a base de hierro nodular con una fundición de moldeo en verde, basado en un vehículo.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar las propiedades y características del Hierro nodular.
- Establecer el material idóneo para la fabricación de disco de freno.
- Decidir el proceso de fundición de fabricación de un disco de freno.
- Diseñar el prototipo de disco de freno con disipadores de calor.
- Simular el funcionamiento del disco de freno ventilado.
- Construir un prototipo de disco de freno en hierro nodular.
- Juzgar bajo ensayo metalográfico las propiedades mecánicas.

1.4 ALCANCE

El presente estudio se realizará el diseño por software (SolidWorks), la construcción del prototipo del disco de freno ventilado a base de hierro nodular será fundado en un disco de freno de una camioneta Great Wall Wingle, esta pieza automotriz será creado mediante una fundición moldeo en verde; además de sus pruebas metalográficas a través de un espectrómetro para observar las propiedades de este material se realizará ensayos de dureza y composición química.

1.5 MARCO TEÓRICO

1.5.1 SISTEMA DE FRENOS

El sistema de frenos es una de las partes más importantes de un automóvil debido a que es el encargado de lograr que este se detenga ya sea de forma parcial o total, y asegurando la seguridad de los ocupantes del automóvil, “ Estos sistemas se fundamentan en la fricción para detener el movimiento del vehículo, teniendo como principio la presión hidráulica que empuja las pastillas de freno contra el disco” (García León et al., 2015).

1.5.2 TIPOS DE FRENO

Los avances de las tecnologías en los sistemas de frenado han conllevado a la creación de tres tipos de estos, pero de estos tres tipos en el presente solo se utiliza dos, debido a que el otro ha quedado obsoleto, sin embargo, en este presente trabajo solo se hablara de dos debido a que son los que están más familiarizados con los discos de freno.

Los tipos de frenos de los que se hablara son:

- Frenos Hidráulicos.
- Frenos de Aire.

1.5.3 FRENOS HIDRÁULICOS

Los frenos hidráulicos son los más comunes en la actualidad y se encuentra en la mayoría de los automóviles modernos, estos frenos hidráulicos se encargan de minimizar el esfuerzo que ejerce el conductor gracias al servofreno debido a que cuando se presiona el pedal de freno este se da por medios hidráulicos, y con esto se llega a realizar el trabajo del frenado.

Al accionar el pedal de freno actúa la bomba de freno que envía líquido a presión por las cañerías de freno, hasta los cilindros de las ruedas; los pistones de cada cilindro son desplazados hacia fuera, presionando las zapatas y cerrando las mordazas respectivamente contra la superficie de trabajo del tambor y disco de freno (Manabì et al., 2010).

1.5.3.1 FRENOS DE AIRE

Cuando el conductor aplica el pedal del freno, un émbolo de empuje que está dentro de la válvula del freno de pedal se mueve, abriendo canales dentro de la válvula que permite a la presión del aire esperar ahí para que pase y sea entregada a los frenos de sistema delantero y trasero. La presión se aumenta rápidamente en las cámaras del freno y aplica fuerza a la varilla de empuje, transfiriendo la fuerza al freno de aire de disco o al S-Cam (Commercial et al., 2004).

1.5.4 DISCOS DE FRENO

El freno de disco consiste en un disco de hierro fundido o rotor que gira con la rueda, y una pinza o mordaza (caliper) montada en la suspensión delantera, que presiona las pastillas de fricción (balatas) contra el disco. La mayoría de los frenos de disco tienen pinzas corredizas. Se montan de modo que se puedan correr unos milímetros hacia ambos lados. Al pisar el pedal del freno, la presión hidráulica empuja un pistón dentro de la pinza y presiona una pastilla contra el rotor. Esta presión mueve toda la pinza en su montaje y jala también la otra pastilla contra el rotor (Fernando Guerrero, 2018).

1.5.5 DISCO DE FRENO VENTILADO

Al momento de que el disco de freno trabaja en conjunto con las pastillas de freno estas están sometidas a una gran cantidad de fricción y de calor, El disco de freno ventilado es la sucesión del disco de freno macizo, y estos están presentes en todos los automóviles.

Los frenos de disco son un sistema que obtiene fuerza de frenado por el uso de pastillas de freno (material de fricción), empujando contra ambos lados del disco cuando esta gira con la rueda. Estos frenos tienen un excelente efecto de radiación de calor y una fuerza estable de frenado que es obtenida uniformemente en ambas ruedas del mismo eje, dando una alta estabilidad y seguridad de frenada (Velásquez Angamarca & Heras Castillo, 2012).

1.5.6 DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Para el Diseño, Simulación y Construcción es necesario adquirir conocimientos y técnicas básicas que nos permitan el uso de herramientas de diseño para poder desarrollar el presente estudio.

Para el estudio se utiliza el software SolidWorks debido a su amigable programación, es un software que se puede emplear en la creación de diversas figuras que ayuda al análisis de la pieza que se la está fabricando, además permite la simulación que permite entender el comportamiento de la pieza y tener datos aproximados a como trabajaría en un escenario similar en la vida real.

1.5.6.1 DISEÑO

El diseño es el proceso de concebir o inventar ideas mentalmente y comunicarlas a otros en una forma que sea fácil de comprender. La herramienta de comunicación más utilizada son las gráficas. El diseño se utiliza para dos fines principales: expresión personal y desarrollo de productos o procesos (Toapanta, 2015).

El uso de la computadora ha sido un gran avance para el diseño automotriz que ha ayudado a resolver problemas acerca de un boceto o plasmar la idea que se quiere mostrar, con el fin de economizar recursos al momento de la fabricación de piezas de la industria automotriz.

1.5.6.2 SIMULACIÓN

La simulación en un software de diseño ha generado un gran avance en la creación y construcción de piezas automotrices debido a que se las puede emplear para conocer el comportamiento que va a tener la pieza que se la simula.

Permite resolver problemas de manera intuitiva mientras que diseña, ya que presenta programas de resolución de problemas precisos y rápidos (solvers). Esto permite ahorrar tiempo y esfuerzo en la búsqueda de resultados de diseño óptimos; de esta manera se reduce el tiempo de salida del producto al mercado (Vera Lázaro, 2014).

1.5.6.3 CONSTRUCCIÓN

La construcción de una pieza automotriz es el paso final después de su diseño y simulación, asegurando que los dos primeros estén en lo correcto se procede a la elaboración de la pieza a realizarse para obtener el resultado que se espera, que es la pieza en físico; con esto se evita el uso excesivo de los recursos disponibles al momento de construir sin los pasos previos.

Como resultado se obtiene la pieza fabricada que es la derivación del proceso que se realizó, hasta llegar al objetivo final que es la pieza construida y terminada.

1.5.7 FUNDICIÓN NODULAR

La Fundición Nodular se creó a partir de la necesidad de reducir la fragilidad que existe en las fundiciones de grafito laminar.

“La fundición nodular tiene una estructura de colada que contiene partículas de grafito en forma de pequeños nódulos esferoidales en una matriz metálica dúctil. De este modo la fundición nodular tiene una resistencia mucho mayor que una fundición gris y un considerable grado de ductilidad, estas propiedades y otras tantas pueden mejorarse con la utilización de tratamientos térmicos” (Bacon, 2008, p.13).

Una de las ventajas del hierro nodular es que posee una excelente fluidez como lo tiene la fundición gris con lo cual se puede obtener piezas con bajos espesores,” siempre que se asegure un flujo lineal y calmado a la hora de llenar los moldes, esto es imprescindible para evitar el endurecimiento de los bordes y la formación de carburos en las secciones más delgadas.”

La fundición nodular se obtiene a partir del tratamiento de hierro gris fundido bajo en azufre menor al 0,02% en peso en cuchara, esto se logra colocando aditivo que contiene magnesio del 0,04 a 0,06% en peso, que a continuación es inoculado en la cuchara al ser colocado dentro de la cuchara junto con una aleación de silicio minutos antes de ser vertido el material caliente (Bacon, 2008, p.9).

La fundición nodular tiene rangos de composición química que puede ser similar a la fundición gris, pero existe un importante variado de diferencias. Para que el hierro nodular obtenga una mejor combinación de resistencia, ductilidad y tenacidad, toda la materia prima que se va a fundir debe ser seleccionada para que contenga la menor cantidad de impurezas. En conclusión, debe seleccionarse material con un contenido de bajo de azufre, contenido de silicio mayor al 2,37% y un contenido de fósforo no mayor al 0,6% para así no promover la reacción perlítica de la matriz. “El elemento que controla el tipo de matriz es el manganeso, si se pretende conseguir una matriz ferrítica de colada, el contenido de manganeso no debe superar el 0.2% y si se desea obtener una matriz perlítica sin la utilización de tratamientos térmicos, el contenido de manganeso debe alcanzar el 1% en peso” (Anabel & Pinto, 2010, p.50).

1.5.8 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN UNA FUNDICIÓN NODULAR

1.5.8.1 CARBONO

Un alto contenido de carbono produce que baje las características mecánicas de las fundiciones, una fundición nodular contiene carbono entre 1,8 y 2,8 %. Existen fundiciones donde el porcentaje de carbono es bajo lo que resulta que tenga una mayor resistencia mecánica (Ramírez, 2015, p.10).

1.5.8.2 SILICIO

Este elemento es una parte muy importante en la metalúrgica debido a que incrementa la fluidez en la colada y tiene un efecto en la solidificación de la aleación. Una fundición nodular contiene entre 1,8 % y 2,8 % de silicio, este es un elemento que ayuda a la nodulización del material ya que aumenta el conteo de los nódulos y disminuye significativamente los carburos, todo esto se logra con un proceso adecuado de inoculación (Ramírez, 2015, p.10).

El silicio es un elemento de la aleación que ayuda a la formación de grafito que si no se balancea con la formación de carburos “favorece la solidificación de acuerdo con el sistema estable hierro-grafito. Por ende, durante la solidificación en presencia de silicio, el carbono se precipita como grafito primario en forma de hojuelas. Una vez que se ha constituido el grafito primario, su forma no puede alterarse por ningún método. Estas débiles hojuelas de grafito rompen la continuidad de la matriz y el efecto de muesca (concentración de esfuerzos), lo cual explica la baja resistencia y la poca ductilidad de hierro gris” (Guevara et al., 2015, p.14).

1.5.8.3 AZUFRE

Para la correcta fabricación del hierro nodular es necesario que se desulfure el material antes del depósito del material en los moldes, esto se logra mediante la utilización de magnesio donde reacciona con el azufre formando los sulfuros de magnesio. Dependiendo de la selección de material el contenido de azufre aumenta o disminuye, de esto también depende la cantidad de magnesio que se necesita para la lograr esferoidización de grafito.

Los residuos de esta reacción se observan en la superficie del hierro en forma de escoria. Para la obtención de un hierro nodular de alta calidad se necesita obtener porcentajes menores al 0,02% de azufre, para conseguir buenos nódulos en nuestro material el azufre debe estar entre 0,008 y 0,01% con el uso de solo 0,018% de magnesio (Ramírez, 2015, p.11).

1.5.8.4 FÓSFORO

Si el contenido de fosforo es alto en los límites que rodean los nódulos de grafito forma una red de esteadita (fosfuro frágil), lo que provoca que se vean afectadas negativamente la ductilidad y tenacidad. Si se controla este nivel de fosforo este provoca que se estabilicen y refinan los niveles de perlita logrando así un aumento de la dureza y por lo tanto la relación de resistencia a la cedencia- resistencia a la tensión.

1.5.8.5 MANGANESO

Al hierro nodular se le puede adicionar del 0,50-0,70% de manganeso. Este ayuda a aumentar la dureza y resistencia de la ferrita, “estabilizando y refinando la perlita incluso a bajos porcentajes. Aumentando el porcentaje de manganeso se eleva la resistencia a la cadencia y la resistencia a la tensión, pero reduce la elongación. El manganeso es cinco veces más efectivo formador de perlita que el níquel, pero a contenidos mayores al 0,7% produce una red de carburos” (Ramírez, 2015, p.12).

1.5.9 INFLUENCIA DE ELEMENTOS NODULIZANTES

Existe una gran cantidad de elementos los cuales ayudan a la producción de grafito esferoidal en hierros que contengan bajo contenido de azufre. “Todos esos elementos muestran una baja solubilidad en el hierro fundido y son desoxidantes y desulfurizantes muy efectivos incluso en pequeñas cantidades de estos elementos. Pero el tratamiento más comúnmente utilizado en hierros dúctiles es el magnesio” (Ramírez, 2015, p 012).

1.5.9.1 MAGNESIO

Para realizar una correcta nodulización del material se necesita de 0,02-0,08% dependiendo de la cantidad de hierro existente en el material base. La principal función del magnesio en el hierro en estado líquido es desoxidar, así como extraer el exceso de azufre del metal, por otro lado, es la de modificar del grafito a esferoidal y así promover la formación de carburo eutéctico. Por otra parte, se tiene que verificar los niveles de oxígeno y azufre en el hierro a tratar, ya que una excesiva cantidad de estos puede ocurrir que consuman el magnesio, quedando muy poco de este material para la correcta formación de grafito esferoidal. De la desoxidación del metal fundido surge el óxido de magnesio (MgO) que es sólido y blanquizco, el cual flota como escoria en el material fundido.

“El efecto desulfurizante del magnesio permite remover 1,5 unidades de azufre por cada unidad de magnesio formando sulfuro de magnesio MgS, al igual que el óxido de magnesio es de baja densidad y debe removerse para evitar que se disuelva nuevamente en el metal, aunque también se evapora a la atmosfera. Con un contenido de magnesio de 0,018% se puede obtener grafito completamente esferoidal con niveles bajos de azufre y oxígeno en el metal base” (Ramírez, 2015, p.12).

1.5.9.2 OTRAS TIERRAS RARAS

Otro elemento utilizado para la producción de hierro nodular es el cerio, “Cerio fue el elemento usado por Henton Morrogh de la British Cast Iron Research Asociation para formar el grafito esferoidal en hierros hipereutéticos neutralizando los efectos negativos del plomo, bismuto, titanio” (Ramírez, 2015, p.14).

El cerio es un fuerte desoxidante y es muy útil para la producción de hierro nodular, para la producción de grafito esferoidal es necesario un 0,035% en peso. La utilización de calcio en la producción de fundiciones nodulares es necesario ya que este elemento ayuda la inoculación del magnesio debido a que esta reduce la volatilidad. El calcio nos ayuda a reducir el porcentaje de oxígeno por lo tanto actúa como un elemento nodulizante ya que reaccionan juntos para formar óxidos de calcio, estos flotan en la superficie de la fundición como escoria, si la cantidad de calcio se excede se producirá una fundición sucia por la gran cantidad de óxidos y por ende gran cantidad de escoria.

1.5.10 MICROESTRUCTURAS DE HIERROS NODULARES

Esta microestructura que constituye la matriz del hierro nodular está relacionadas directamente a las propiedades mecánicas que posee dicho material donde según la composición se logra combinaciones de resistencia y elongación. A continuación, los componentes de la matriz de hierro nodular.

1.5.10.1 FERRITA

“Presenta una dureza de orden de 90 HB, posee una resistencia a la tracción de aproximadamente 30Kg/mm² (300 MPa) y tiene un alargamiento de 40%. Es una fase blanda de bajo contenido en carbono que presenta baja resistencia a la tracción pero alta ductilidad. Su forma se puede promover por medio de grafitizantes como el silicio y por una lenta velocidad de enfriamiento tal como aquella que predomina en piezas grandes. La ferrita se encuentra frecuentemente en unión con el grafito sub-enfriando” (Guevara et al., 2015, p.8).

1.5.10.2 PERLITA

“La perlita es una mezcla de láminas de ferrita y cementita alternadas. Con buena resistencia, leve ductilidad y una dureza que va de los 200-300 HB. La cantidad de perlita está influenciada por el grado de grafitización” (Ramírez, 2015, p.17).

1.5.10.3 AUSTENTITA

Esta es una fase de alta temperatura en el diagrama de hierro carbono la cual tiene una estructura cristalina cúbica centrada en las caras. Cuando tiene un enfriamiento lento esta se transforma a perlita, ferrita o una combinación entre estas.

1.5.10.4 BAINITA

“Se forma a partir de la transformación de la austenita, su microestructura consta de agujas o láminas de cementita Fe₃C en una matriz de ferrita, requiere un enfriamiento más rápido que la perlita, debido a esto presenta una mayor dureza, resistencia y ductilidad” (Ramírez, 2015, p.17).

1.5.10.5 CEMENTITA

Esta tiene lugar cuando existe una velocidad de enfriamiento alta, pudiendo encontrarse en lugares como: en toda su superficie, esquinas de piezas o en lugares que posean espesores delgados.

1.5.11 PROPIEDADES DE LOS HIERROS FUNDIDOS

Las diferentes propiedades mecánicas que poseen los hierros nodulares dependen del tamaño y la forma del grafito que se encuentra en su estructura, así como el porcentaje que contiene el material, por otro lado, otro factor es la composición química y la velocidad de enfriamiento.

La SAE (Society of Automotive Engineers) en sus normas nos muestra los estándares de especificaciones para la utilización de hierro nodular para la selección correcta de un hierro nodular dependiendo de las características que necesite el fundidor o el diseñador.

Tabla 1.1 Especificación de la SAE para piezas fundidas de hierro nodular en la industria automotriz.

SAE J434 FEB2004 FUNDICIONES AUTOMOTRICES DE HIERRO NODULAR										
Grado	Esfuerzo máximo a la tensión.		Esfuerzo de cedencia.		Espesor de sección relativo	Energía de impacto Charpy, valores típicos de impacto.		Elongación %	Dureza HBW (MPa)	Estructura
	MPa	ksi	MPa	ksi		N-m	ft.-lb.			
D400 (D4018)	400	58	275	40	<=20mm	120	90	18	143-170 (1402-1667)	Ferrita
D450 (D4512)	450	65	310	45	<=20mm	80	60	12	156-217 (1530-2128)	Ferrita-Perlita
D500 (D5506)	500	73	345	50	<=20mm	54	40	6	187-229 (1834-2246)	Ferrita-Perlita
D550 (D5504)	550	80	380	55	<=20mm	40	30	4	217-269 (2128-2638)	Perlita-Ferrita
D700 (D7003)	700	102	450	65	<=20mm	27	20	3	241-302 (2363-2961)	Perlita
D800	800	116	480	70				2	255-311 (2501-3050)	Perlita de martensita templada
DQ&T	Es posible una amplia variedad de propiedades. Las propiedades mínimas son acordadas por el diseñador y comprador.								Rango especificado por acuerdo	Martensita templada

Fuente: (Ramírez, 2015, p.18).

1.5.12 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL HIERRO NODULAR

Existen diferentes factores en el proceso de producción que pueden cambiar la microestructura de los hierros nodulares lo cual hace que las propiedades mecánicas cambien, entre estos están:

El carbono es un elemento libre que se juntan entre si formando concentraciones de grafito. Estas concentraciones de grafito pueden estar presentes de cuatro formas en el material como son: grafito laminar, grafito vermicular, grafito esferoidal y grafito nodular.

Para una producción de hierro nodular se tiene como base el hierro gris pero ciertos elementos de composición química reducidos como es el caso del azufre y el fosforo.

El hierro nodular se caracteriza por la forma esferoidal del grafito, esto resulta por el contenido de magnesio que se deposita en la aleación donde el este elemento debe estar entre 0.04 a 0.06% (Ramírez, 2015, p.17).

1.5.12.1 NODULARIZACIÓN

Para la nodularización de un hierro nodular tomando en cuenta la calidad que se quiera obtener se pueden tener algunas variantes, dependiendo de la cantidad de magnesio que se vaya a utilizar para el tratamiento.

Para el proceso de nodularización se cuenta:

- Cuchara abierta: esta es la más común, se coloca el magnesio en el fondo de la cuchara y se vierte el material fundido donde se produce la reacción.
- Cuchara abierta (Sándwich): en este proceso se coloca el magnesio en el fondo de la cuchara el cual se protege con pedazos de metal seleccionado para así lograr reducir la temperatura y obtener un mejor rendimiento del magnesio.

- Métodos de cuchara cerrada: esta se produce con cámaras herméticas donde se evita el contacto del metal con el oxígeno, logrando un mejor rendimiento del magnesio y poca pérdida de temperatura.
- Método de inmersión: para este proceso se necesita una cúpula o campana de material refractario con magnesio en su interior, esta se introduce hasta el fondo de la cuchara donde se produce la reacción, este procedimiento se utiliza comúnmente para grandes cantidades de metal.
- Procesos en molde: esta se realiza en la entrada de material del molde donde se coloca la aleación de Fe-Si-Mg, este proceso necesita un mayor control en la velocidad de vaciado.

1.5.12.2 INOCULACIÓN

Este proceso se realiza añadiendo un inoculante al metal fundido, comúnmente se utiliza aleaciones de ferrosilicio, donde se han obtenido mejoras en las propiedades de hierro fundido, adhiriendo directamente a la cuchara o ya sea como una carga directa en el horno.

Este proceso se puede realizar de tres maneras:

1. Directamente en la cuchara de colado.
2. En el chorro de material al vaciar en molde.
3. En los canales de alimentación de la pieza.

1.5.13 NÓDULOS DE GRAFITO

La característica principal de un hierro nodular son los nódulos de grafito donde se toma la calidad del hierro nodular se determina mediante tamaño, forma y cantidad de nódulos.

1.5.13.1 FORMA DE NÓDULOS

Dependiendo de las características del hierro nodular se pueden encontrar diferentes formas de nódulos los cuales se designan por números romanos I, II, III, IV, V, VI y VII.

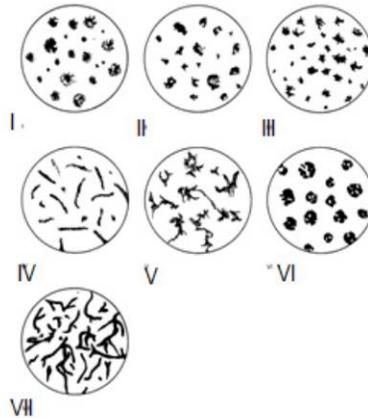


Figura 1.1 Formas típicas del grafito

(ASTM A247-16, 2016)

La figura muestra como son las concentraciones de grafito dependiendo de la forma en que se organicen durante el proceso de fundición desde un hierro nodular hasta un hierro fundido, y según esto se tiene las siguientes formas típicas de las concentraciones:

- I grafito esferoidal
- II grafito esferoidal imperfecto
- III Grafito templado
- IV Grafito compacto
- V Grafito cangrejo
- VI Grafito explotado
- VII Grafito vermicular.

1.5.13.2 CONTEO DE NÓDULOS

Para conocer la cantidad de nódulos se debe establecer una unidad de medida donde esta se expresa en nódulos por milímetro cuadrado (Nod/mm²).

1.5.14 DIAGRAMA DE HIERRO-CARBONO

1.5.14.1 DIAGRAMA HIERRO-CARBONO ESTABLE

Este diagrama ayuda a entender la forma de solidificación de los hierros fundidos, así como dependiendo de la zona la formación de microestructura del material.

“Junto al clásico diagrama de hierro-carbono metaestable, se señala con línea segmentada un diagrama estable que nos servirá para estudiar las transformaciones que experimenta las fundiciones grises en los procesos de calentamiento y enfriamiento, y para conocer las microestructuras que en cada caso se podrán obtener” (Guevara et al., 2015, p.11).

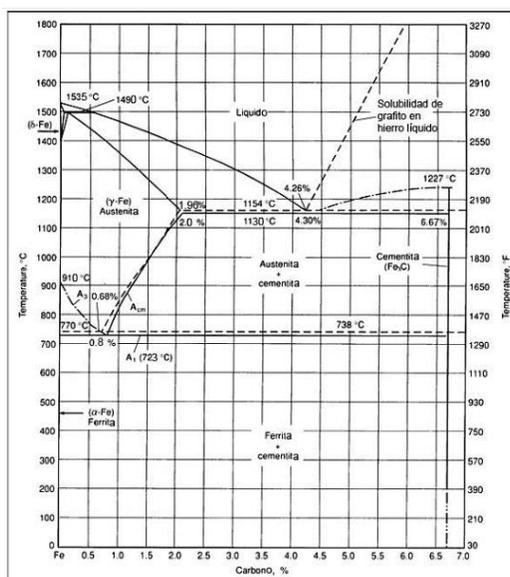


Figura 1.2 Diagrama hierro-carbono estable (línea segmentada) y diagrama hierro-carbono

meta-estable (líneas continuas)

(Franco G, & Madre S. ,1999).

1.5.15 HORNOS PARA PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR

Para la correcta producción de un hierro nodular es común la utilización de hornos eléctricos debido a que se puede obtener material a más alta temperatura y son coladas más limpias, aunque existen hornos de cubilote modificados donde también se pueden obtener hierros fundidos, se utilizan este tipo de hornos debido a su costo de producción bajo.

1.5.15.1 HORNOS ELÉCTRICOS

Los hornos eléctricos son muy utilizados para la producción de aceros debido a que alcanzan temperaturas más altas que otros tipos de hornos, entre estos tenemos los de arco, inducción de alta y baja frecuencia.

1.5.15.2 HORNOS DE ARCO

Este tipo de hornos utilizan dos o más electrodos donde circula corriente formando un arco eléctrico que sirve para fundir el metal. Estos pueden ser de arco directo e indirecto, pero el más utilizado por su configuración es el de arco directo.

- En los hornos de arco directo se tiene una configuración donde el arco se produce directamente entre los electrodos y el metal a fundir. Dependiendo de la capacidad del horno pueden ser: monofásicos para pequeñas cantidades hasta 100 kg o los más comunes que son los trifásicos.

1.5.15.3 HORNOS DE INDUCCIÓN

Se pueden clasificar entre de baja frecuencia y de alta frecuencia.

- El horno de baja frecuencia utiliza 1000 hercios para su funcionamiento, está constituido por un crisol refractario y una espiral de cobre por donde circula corriente para formar el campo electromagnético, además es hueca por donde circula agua para su refrigeración, estos hornos se utilizan para altas cantidades de material.

- El horno de alta frecuencia utiliza 2500 hercios para su funcionamiento, está constituido por un crisol refractario y una espiral de cobre por donde circula corriente para formar el campo electromagnético, además es hueca por donde circula agua para su refrigeración, estos hornos se utilizan para materiales especiales y pequeñas cantidades de material.

1.5.16 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUNDICIONES OBTENIDAS EN LOS HORNOS ELÉCTRICOS

La utilización de este tipo de hornos se caracteriza debido a que se puede obtener materiales más limpios con una composición deseada debido a que no existe contaminación con combustibles alternos.

1.5.16.1 HORNO CUBILOTE

La utilización de un cubilote para la obtención de hierro nodular es posible si se toman en cuenta los siguientes aspectos: la regulación correcta del aire según las tablas de rendimiento de cubilote, selección de chatarra baja en azufre, cálculo de cargas: en estas tenemos la chatarra, fundente y coque, control de la fluidez de escoria, diseño optimizado de entradas de aire.

1.5.16.2 DESCRIPCIÓN DEL CUBILOTE

Un cubilote está constituido por un cilindro de chapa de acero de 10 a 12 mm de espesor con revestimiento refractario en su interior, tiene una altura de 2 a 8 m dependiendo de la capacidad del horno, en la parte superior se encuentra la zona de carga, a aproximadamente 1-1,5 m se encuentra la zona de fusión y en la parte inferior se encuentra el crisol donde se almacena el material fundido, esta soportado por 4 patas y necesita un soplador de aire el cual sirve para que se produzca la combustión del coque.

Este tipo de hornos la producción se establece por velocidad de fusión el cual puede ir desde 500 kg por hora y puede alcanzar hasta más de 2000 kg dependiendo de las necesidades de material fundido.

1.5.17 ENSAYOS

Para conocer las propiedades mecánicas y químicas de un material se realiza los siguientes ensayos:

1.5.17.1 ENSAYO METALOGRÁFICO

La metalografía cuantitativa es una técnica de muestreo utilizada para cuantificar aspectos considerados importantes en las imágenes obtenidas mediante microscopía óptica o microscopía de barrido. La metalografía cuantitativa fundamenta sus procedimientos en la Estereología, ciencia que permite analizar, de manera efectiva, la forma tridimensional de los sólidos a partir de la información obtenida con secciones bidimensionales o secciones planas de los mismos. Dicha ciencia no busca reconstruir un objeto tridimensional en su totalidad, sólo unas pocas secciones o muestras del material en el estudio, aplicado sobre ella técnicas simples de estimación no paramétrica (parámetros geométricos) como el volumen y el área. La estimación es válida solo en la teoría clásica de muestreo estadístico, de manera que los métodos estereológicos son suposiciones libres y, por tanto, son aplicables en diferentes ciencias como la biología y las ciencias de los materiales (Llulluna, 2014).

1.5.17.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Este ensayo, estático y destructivo, es uno de los ensayos mecánicos empleado habitualmente para determinar varias propiedades de los materiales tales como resistencia, fluencia, ductilidad, entre otros (Rodríguez García, 2019).

1.5.17.3 ENSAYO QUÍMICO

Este ensayo permite determinar la composición cualitativa y cuantitativa del material, tipos de enlace químico y cómo se comporta a presencia de diferentes sustancias.

Este ensayo permite conocer como está constituido químicamente los materiales y los compuestos del material analizado.

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 INTRODUCCIÓN

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) la venta de vehículos livianos, las camionetas, aumento las ventas hasta mayo 2021 con un alza de 338%, en venta de Great Wall la camioneta Wingle tuvo un incremento del 29% a comparación de sus competidoras por sus bajos costos de venta, y de ensamblaje que se realiza en el país.

Motivo del crecimiento de venta de la camioneta Wingle, debido a su bajo costo y a su fácil comercialización, se escogió los discos de frenos delanteros que se realiza en esta investigación, considerando al ser una parte fundamental en la seguridad de los ocupantes, que usan esta camioneta para trabajo en su día a día.

2.2 MATERIALES, INSUMOS y EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN DEL DISCO DE FRENO DELANTERO

2.2.1 MATERIALES

2.2.1.1 MADERA

Debido a que se necesita pocas piezas fundidas este material es el más idóneo para la fabricación de la preforma de disco de freno y de la misma manera la caja de noyos del modelo de fundición debido a su bajo costo y su facilidad de maquinado además de la fácil obtención de superficies lisas.



Figura 2.1 Recorte de madera

2.2.1.2 IMPRESIÓN 3D

Gracias a la impresión 3D el uso del material PLA para la creación de los alabes, se logra un trabajo óptimo al momento de dar la forma a los disipadores de calor en el disco de freno, debido a que se los puede pegar al molde de madera y así obtener la forma esperada.



Figura 2.2 Filamento de PLA

2.2.1.3 MASILLA DE POLIURETANO

Este material se usa para emporar y obtener superficies lisas cuando se realiza trabajos de madera, con esto se evita deformidades en el molde de fundición.



Figura 2.3 Masilla de poliuretano

2.2.1.4 MEZCLA DE MOLDEO

En este proceso se usa sílice mezclado con bentonita y agua, a una relación de 30 Kg de arena, 1 litro de agua y 0,5 Kg de bentonita, con el cual se prepara para formar el molde de fundición que será empleado para verter el material fundido.



Figura 2.4 Mezcla de Moldeo

2.2.1.5 PLUMBAGINA

Para la obtención de superficies lisas en piezas fundidas en fundiciones grises se usa grafito mezclado con agua a una relación de 35% en agua y 65% de plumbagina, con esta mezcla se procede a pintar el molde de fundición.



Figura 2.5 Plumbagina

2.2.1.6 CHATARRA DE ACERO

Se utiliza 6000 gramos de este material por cada disco de freno que se fabrica, incluyendo entrada y salida del material, como punto de partida para la obtención de un hierro gris y posterior un hierro nodular.



Figura 2.6 Chatarra de acero

2.2.2 INSUMOS

2.2.2.1 FERROSILICIO

Este se utiliza para mejorar la nodulización del material, debido a que no se inocula no se presenta los nódulos de grafito en la estructura del material.

2.2.2.2 MAGNESIO

Este se emplea para lograr la reacción, donde el hierro gris se transforme en hierro nodular, la temperatura para este proceso debe ser en un rango de 1450 a 1500 grados centígrados debido a que esta reacción absorbe temperatura.

2.2.2.3 GRAFITO

Este se usa para lograr la fabricación del hierro gris que es el punto de partida para obtener el hierro nodular.

2.2.3 EQUIPOS

2.2.3.1 HORNO DE INDUCCIÓN

Debido a la obtención de coladas con una mayor temperatura se usa este tipo de hornos, otro factor importante es que genera coladas limpias ya que no está en contacto con ningún contaminante. Para este estudio se utiliza un horno de inducción de 1000 Hz, con una capacidad de 300 kilogramos, con una temperatura máxima de 1750 grados centígrados.



Figura 2.7 Horno de inducción eléctrico

2.2.3.2 TORNO

Este equipo se usa para la fabricación del modelo de fundición y también para el maquinado final, ya que se lo puede usar diferentes tipos de herramientas para la fabricación de estos. Posee diferentes cambios de marcha, alcanza de 0 revoluciones hasta 2000 revoluciones, consta de un usillo de 60mm y 600mm de volteo sin bancada.



Figura 2.8 Torno

2.2.3.3 FRESADORA

Este equipo se usa para la división exacta de los orificios, ya que posee un plato divisor donde se logra dicho propósito. Posee un rango de velocidades desde 0 revoluciones hasta las 2000 revoluciones, consta de un plato divisor donde se realiza las perforaciones del disco.



Figura 2.9 Fresadora

2.2.3.4 TALADRO

Este equipo se usa para realizar perforaciones en distintos tipos de material, para obtener el diámetro esperado.



Figura 2.10 Taladro estático

2.2.3.5 HERRAMIENTA DE DISEÑO

Para este estudio se utiliza el software SolidWorks con una versión estudiantil, debido a que es un programa amigable al momento de diseñar y simular piezas automotrices.

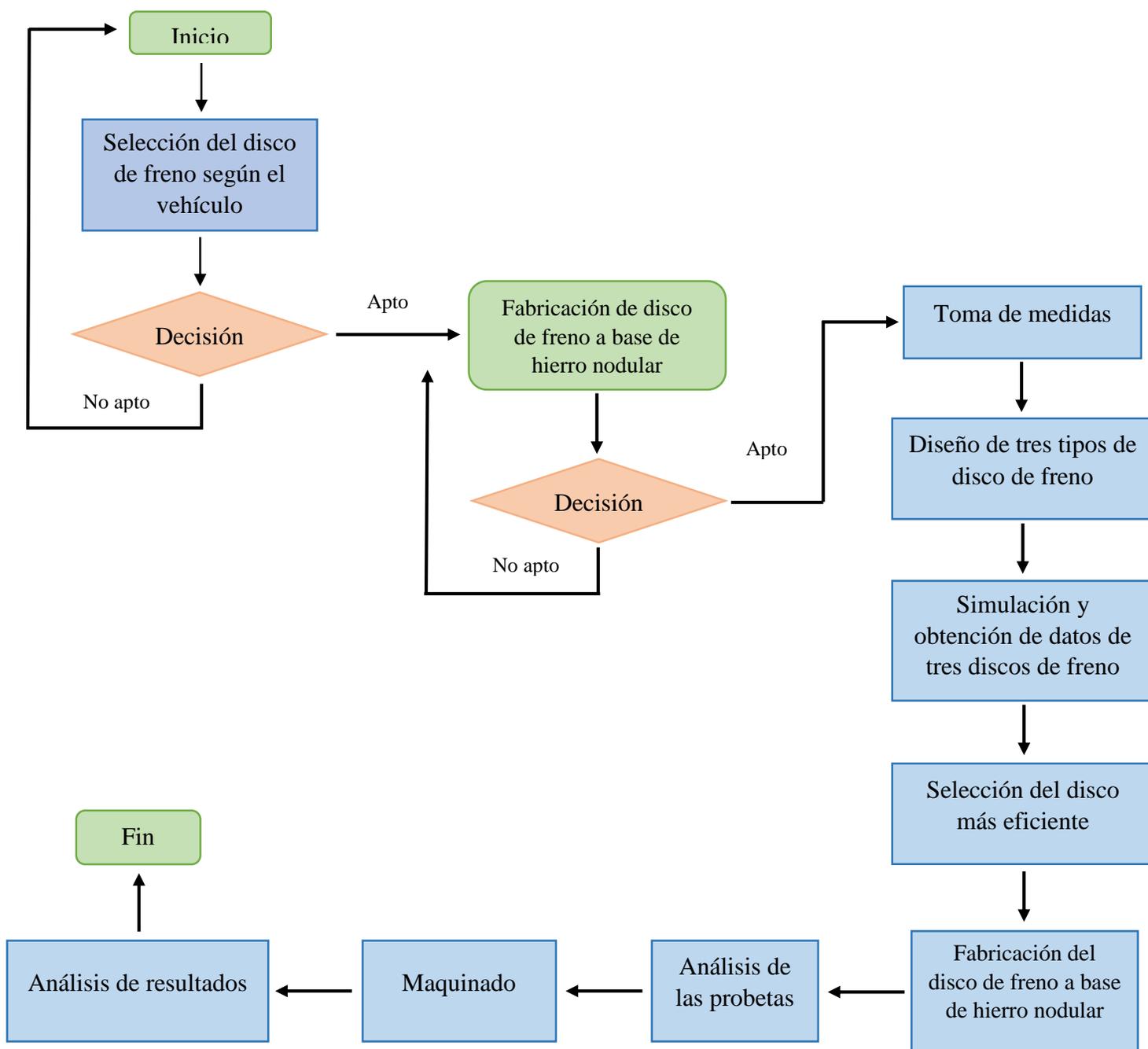


Figura 2.11 Pantalla de inicio SolidWorks

2.3 MÉTODOS

2.3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN

En el siguiente diagrama se explica la toma de decisiones con respecto a la selección del disco de freno, para conocer si es apto su fabricación a base del material con el que se lo quiere fabricar, como pasos se tiene: la toma de medidas, el diseño, la simulación con la obtención de datos, para la fabricación del disco.



2.3.2 ANÁLISIS DE VEHÍCULOS

Se realiza con datos de la AEADE para conocer la cantidad de vehículos WINGLE para saber el alcance de la tesis, ya que desde el año 2016 hasta el 2020 el ensamblaje de la camioneta fue de 7520 vehículos. Gracias a estos datos se determinó la necesidad de la producción de estos discos debido a la demanda de este vehículo comercial.

Tabla 2.1 Datos de producción de vehículos CIAUTO.

Ensambladora	Año				
	Camionetas				
	2016	2017	2018	2019	2020
CIAUTO	797	1412	1601	1872	2038

Fuente: (PROPALMA, 2020)

2.3.3 OBTENCIÓN DE DIMENSIONAMIENTO DEL DISCO DE FRENO

Las medidas originales del disco de freno se obtienen del disco original de la camioneta, debido a que se respeta las medidas de la manzana y el cáliper. Para la obtención de estas medidas se usa un calibrador pie de rey.



Figura 2.12 Dimensionamiento del disco de freno

2.3.4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DISCO ORIGINAL

Con la simulación del disco de freno original se logra obtener los valores, para conocer el comportamiento bajo las diferentes exigencias a los que se somete el disco en el funcionamiento en un escenario real.

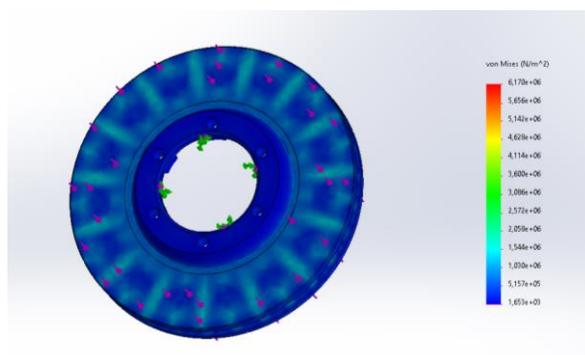


Figura 2.13 Simulación disco original

Tabla 2.2 Datos obtenidos de la simulación para disco original.

Disco original (alabes rectos)	
Tensión	$6,12 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
Desplazamiento	$7,81 \times 10^{-4} \text{ mm}$
Deformación unitaria	$3,47 \times 10^{-5} \text{ ESTRN}$
Mayor velocidad	0,831 m/s
Disipación de calor disco trabajando	0,7 grados Kelvin
Peso	5055.55gr

2.3.5 DISEÑO Y SIMULACIÓN DISCO DE 20 ÁLABES

En la simulación del disco de freno de 20 álabes se revisa los valores obtenidos generados por estos análisis, tales como la tensión, el desplazamiento, deformación entre otros. Y con esto una próxima comparación para determinar cuál disco es el mejor en su diseño.

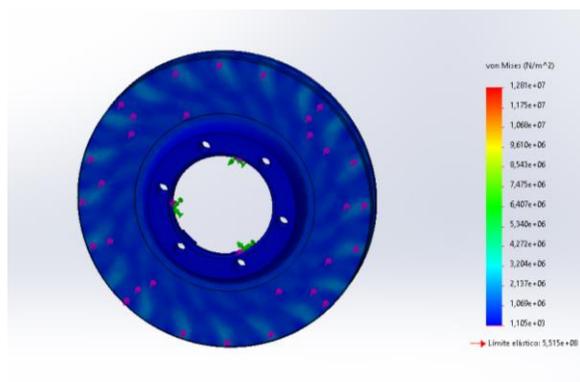


Figura 2.14 Simulación disco de 20 álabes

Tabla 2.3 Datos obtenidos de la simulación para disco con 20 álabes.

Disco de 20 alabes	
Tensión	$1,28 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Desplazamiento	$1,4 \times 10^{-4} \text{ mm}$
Deformación unitaria	$5,17 \times 10^{-5} \text{ ESTRN}$
Mayor velocidad	0,854 m/s
Disipación de calor disco trabajando	6 grados Kelvin
Peso	4877.66 gr

2.3.6 DISEÑO Y SIMULACIÓN DISCO DE 24 ÁLABES

La simulación del disco de freno de 24 álabes es determinante para la elección del disco debido a que responde de una mejor manera bajo las pruebas realizadas y con esto se elige de manera correcta que disco es confiable.

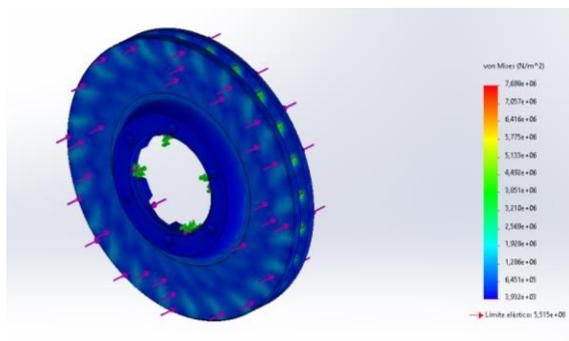


Figura 2.15 Simulación disco de 24 álabes

Tabla 2.4 Datos obtenidos de la simulación para disco de freno con 24 álabes.

Disco de 24 alabes	
Tensión	$4,14 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
Desplazamiento	$7,71 \times 10^{-4} \text{ mm}$
Deformación unitaria	$3,09 \times 10^{-5} \text{ ESTRN}$
Mayor velocidad	0,852 m/s
Disipación de calor disco trabajando	3 grados Kelvin
Peso	5063.91gr

2.3.7 SELECCIÓN DE DISCO ÓPTIMO

La evaluación se determina con una valoración del 1 al 3 para posteriormente tabular y obtener un total, que facilite a la elección del disco de freno que más conviene para su fabricación. Los parámetros para la valorización son: tensión, desplazamiento, deformación unitaria, mayor velocidad, disipación de calor disco trabajando y peso.

Tabla 2.5 Valoración y tabulación de los discos de freno analizados.

Discos/Factores	Tensión	Desplazamiento	Deformación unitaria	Mayor velocidad	Disipación de calor disco trabajando	Peso	Total
Disco original	1	1	2	1	2	2	9
Disco de 20 álabes	3	3	1	3	3	3	16
Disco de 24 álabes	2	2	3	2	1	1	11

Al realizar la matriz de decisión queda determinado por los distintos factores y con una valoración del 1 al 3, que el disco de 20 álabes es el que mejor se defiende en las distintas pruebas, obteniendo el mejor resultado al finalizar su tabulación con un total de 16 puntos que se le ha sometido en la simulación, determinando así que este es el que acuerda al momento de su diseño, su simulación y su posterior fabricación.

2.3.8 ELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN SEGÚN LOS TIPOS DE MOLDE

2.3.8.1 MOLDE PERMANENTE

Se usa para altos volúmenes de producción debido a una compleja fabricación, es más común el uso en fabricación de piezas en serie.

Tabla 2.6 Datos de molde permanente.

Molde Permanente	
Costo	8000 dólares
Fabricación(tiempo)	2 meses
Complejidad	alta

2.3.8.2 MOLDE CON RESINA

Se usa para una producción a media escala debido a su facilidad en la compra de resinas y los modelos son similares a utilizados en proceso de arena en verde.

Tabla 2.7 Datos de molde con resina.

Molde con Resina	
Costo	500 dólares
Fabricación(tiempo)	3 semanas
Complejidad	media

2.3.8.3 MOLDE ARENA EN VERDE

Este proceso es utilizado para bajas producciones debido a su facilidad en el moldeo y además en su rápida producción y la fácil obtención de los materiales para la fabricación del molde.

Tabla 2.8 Datos de molde arena en verde.

Molde Arena en Verde	
Costo	350 dólares
Fabricación(tiempo)	2 semanas
Complejidad	baja

2.3.8.4 SELECCIÓN DE MOLDE ÓPTIMO

La evaluación se determina con una valoración del 1 al 3 para posteriormente tabular y obtener un total, que facilite a la elección del mejor molde que más conviene. Las variables para tomar en cuenta para la selección del molde son: costo, fabricación (tiempo) y complejidad.

Tabla 2.9 Valoración y tabulación en la selección de molde óptimo.

Tipos de molde	Costo	Fabricación	Complejidad	Total
Molde permanente	1	1	1	3
Molde con resina	2	2	2	6
Molde arena en verde	3	3	3	9

Al realizar la matriz de decisión queda determinado por los distintos factores y con una valoración del 1 al 3, que el molde de arena en verde es el mejor proceso para la obtención de piezas que no necesite una compleja y alta producción, obteniendo el mejor resultado al finalizar su tabulación con un total de 9 puntos.

2.3.9 FABRICACIÓN DEL MODELO DE FUNDICIÓN

Para la fabricación del modelo de fundición se toma en cuenta que debe tener las mismas características de la pieza original, aquí también se debe considerar contracciones de material, ángulos de salida, espesor para maquinado y la facilidad de moldeo.

Se utiliza SolidWorks para establecer las características principales del disco original y para la comparación con el nuevo disco de freno a las mismas condiciones en que trabaja para su simulación, y posterior su impresión en PLA.

Para la fabricación de este modelo se necesita varias herramientas y equipos como la impresión 3D, herramientas de modelado y emporamiento del modelo con masilla de poliestireno, las cuales se mencionó en el capítulo anterior.

2.3.10 DELIMITACIÓN DE PLANO DE DIVISIÓN

Esta delimitación se utiliza para facilitar el moldeo de la pieza, así como la extracción del modelo de fundición, evitando así que se tenga que necesitar cajas de moldeo desmontables para el moldeo de la pieza, por otra parte, también debe ser cómodo para el apisonado de la arena, así como el acabado, y sellado de la misma.



Figura 2.16 Delimitación del plano de división

2.3.11 ESPESOR REQUERIDO PARA LA PIEZA



Figura 2.17 Espesor requerido del disco de freno

Para conocer si es factible la fabricación del disco de freno mediante el proceso de fundición se debe verificar los espesores mínimos. En esta sección se necesita conocer el espesor real de la pieza, debido a que piezas realizadas en fundiciones nodulares, existe fallas en el llenado de la pieza, debido a espesores muy delgados, lo que ocasiona a fallas en la pieza.

Tabla 2.10 Espesores mínimos dependiendo del material.

Material	Mínimo (mm)	Recomendable (mm)	Técnica de moldeo
Acero	4,8	6,5	En arena
Fundición gris	3,2	4,8	En arena
Hierro maleable	3,2	4,8	En arena
Aluminio	3,2	4,8	En arena
Magnesio	4,8	6,4	En arena
Aleaciones de cinc	0,5	0,8	Por inyección
Aleaciones de magnesio	1,3	1,5	Por inyección
Aleaciones de aluminio	1,3	1,5	Por inyección

Fuente: (Kohser, R., Black, J. y Garmo, EP 2016, p.367)

2.3.12 ÁNGULOS DE SALIDA Y RETENCIONES

Para un buen diseño de modelo de fundición se debe tomar en cuenta la facilidad de moldeo, ya que piezas con excesivas retenciones puede arrastrar arena lo cual puede afectar al molde de arena y en si la pieza fundida.

Para evitar estas retenciones se debe dar un ángulo de salida dependiendo de la dirección de apertura del molde, donde se asigna el valor s de salida y b al ángulo que se debe formar con esta medida.

Tabla 2.11 Valores de salida en mm o en porcentaje y ángulo de salida B aconsejables.

Altura del Modelo mm	Salida			Observaciones
	mm	%	Angulo	
hasta 40	0,50	1,25	1°30'	Para paredes o nervaduras delgadas conviene aumentar estos valores hasta duplicarlos. Para agujeros y huecos de 15 a 20°
40 a 59	0,75	1,80 a 1,20	1°00'	
60 a 119	1,00	1,70 a 0,80	0°40'	
120 a 159	1,50	1,25 a 0,90	0°40'	
160 a 199	1,75	1,10 a 0,90	0°40'	
200 a 249	2,00	1,00 a 0,80	0°30'	
250 a 299	2,50	1,00 a 0,80	0°30'	
300 a 399	3,00	1,00 a 0,75	0°30'	
400 a 499	3,50	0,90 a 0,80	0°30'	
más de 500	4,00	menos de 0,80	0°30'	

Fuente: (Capello, E. (1971).

2.3.13 TOLERANCIA DE FUNDICIÓN

Piezas realizadas por el proceso de fundición sufren una contracción de volumen debido a la solidificación y enfriamiento de la pieza, debido a esto todo modelo de fundición debe incrementar su volumen en porcentaje, este porcentaje depende del material que se va a utilizar para la fabricación de la pieza.

La selección de la tolerancia de fundición se establece mediante la siguiente tabla:

Tabla 2.12 Contracción de ciertos materiales utilizados en fundición.

Aleaciones	Dimensiones del modelo Piezas Macizas mm	Piezas con Noyos mm	Contracción en 0/00 o mm/m
Fundición Gris	hasta 600	hasta 600	10,0
	de 600 a 1200	de 600 a 920	8,5
	más de 1200	más de 920	7,0
Fundición Gris de gran Resistencia	hasta 600	hasta 600	13,0
	de 600 a 1200	de 600 a 920	10,5
	más de 1200	más de 920	8,5
Fundición Blanca colada en Arena			15,0 a 16,0
Fundición Blanca colada en Coquilla			18,0
Fundición Maleable espesor de 3 mm espesor de 10 mm espesor de 20 mm			13,0
			10,0
			7,0

Fuente: (Capello, E. 1971).

Para el presente proyecto se utiliza 13 mm/m que es la contracción de la fundición gris de alta resistencia que se utiliza en la fabricación del disco de freno. Con este valor se asegura que las dimensiones requeridas para este disco son las necesarias, debido a que el material es un hierro gris y ese es el valor esperado de contracción.

2.3.14 SOBRE ESPESOR PARA MAQUINADO

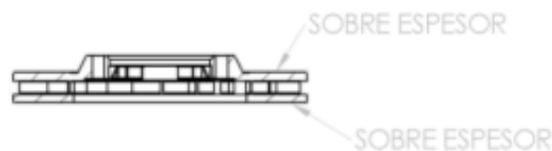


Figura 2.18 Sobre espesor para el maquinado

Muchas piezas realizadas por el proceso de fundición después de fabricarlas necesitan un proceso de maquinado para dar el dimensionamiento final, para esto el modelo de fundición debe tener un espesor adicional que luego se retira con algún proceso de maquinado.

“Las dimensiones de las sobre medidas de maquinado dependen de: la precisión de la producción, la elaboración del modelo, la dimensión básica (Z), la dimensión determinante (S) y de la posición de la superficie maquinada en relación con la colada” (Guevara et al., 2015, p.61).

Para determinar la sobre medida para el maquinado se conoce la dimensión básica y determinante que son 26mm y 44mm respectivamente. Según la tabla 2.13 que se utiliza para dar espesor de maquinado a piezas que no sean de acero se tiene:

Tabla 2.13 Espesor de Maquinado.

Grado de precisión C2											
Dimensión básica (mm)	Dimensión determinante (mm)										
	Más de / hasta (mm)										
Más de - a	30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 8000
0-30	2,5	3	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
30-80	2,5	3	3,5	3,5	4,5	5	6	7	8	9	10
80-100	3	3,5	4	4	4,5	5	6	7	8	9	10
180-315	3	3,5	4	4	4,5	6	7	8	9	10	11
315-500	3,5	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11
500-800	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11
800-1250	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12
1250-2000	4	4,5	5	5,5	6	7	8	10	11	12	13
2000-3150	4,5	5	5,5	6	7	8	9	11	12	13	14
3150-5000	5	6	6,5	7	8	9	10	12	13	14	14
5000-8000	6	7	7,5	8	9	10	11	13	14	14	26

Fuente: Goyos, L. (1994).

Según la dimensión básica y determinante que son 26mm y 44mm se requiere un espesor de maquinado de 2,5 mm que se deberá incrementar al modelo de fundición.

2.3.15 CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Este se encarga del llenado de la cavidad que deja el modelo en la arena de moldeo, esto se realiza mediante conductos que tiene un punto específico de entrada a la pieza, estos conductos dependen del volumen, tipo de material, velocidad de vaciado para su dimensionamiento.

“Las principales funciones que debe cumplir el sistema de alimentación son: conducir el metal líquido a la cavidad del molde en forma controlada, separar la escoria del metal, evitar la presencia de gases en la pieza, garantizar una solidificación dirigida y simultánea” (Guevara et al., 2015, p.62).

El sistema de alimentación contiene los siguientes elementos:

- 1.- Entrada de Material
- 2.- Bebedero
- 3.- Escoriador
- 4.- Canal de alimentación

2.3.16 CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS ENTRADAS DEL MATERIAL.

Para empezar con los cálculos se debe conocer el volumen de la pieza que se va a realizar, la cual es de 727.42 cm³ extraído de SolidWorks

Primero se debe conocer la masa de la pieza:

Ecuación Masa de la pieza

$$G = \rho \times V \quad [2.1]$$

Donde:

ρ : densidad de la aleación, 0,0072 kg/cm³ (fundición gris)

$V = 727.42 \text{ cm}^3$

$G = 0,0072 \times 727.42$

$G = 5.23 \text{ kg}$

A esta masa se le debe aumentar un 25% para el sistema de alimentación debido a que el material es hierro fundido.

$G = 5.23 \times 1,25$

$$G = 6.53 \text{ kg}$$

A continuación, se calcula la altura media de carga:

Ecuación Altura media:

$$H_m = H_t - \frac{h_s^2}{2h_p} \quad [2.2]$$

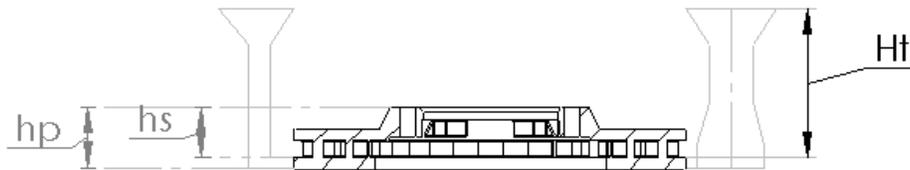


Figura 2.19 Dimensiones de disco

Donde:

Hm: altura media de carga (cm)

Ht: altura del canal vertical desde el lugar de suministro de la masa fundida (cm)

hs: altura del modelo desde el lugar de suministro de la masa fundida (cm)

hp: altura del modelo (cm),

$$H_t = 9 \text{ cm}$$

$$h_s = 3 \text{ cm}$$

$$h_p = 4.05 \text{ cm}$$

Ecuación Altura del modelo:

$$H_m = H_t - \frac{h_s^2}{2h_p} \quad [2.3]$$

$$H_m = 7,88 \text{ cm}$$

Ecuación del cálculo del tiempo de vaciado:

$$\tau = K^t \delta^n G^m \text{ (s)} \quad [2.4]$$

Donde:

τ : tiempo de colada (s)

δ : espesor predominante (mm)

G: masa del metal que circula (Kg)

Kt, n, m: coeficientes de corrección

La tabla 2.14 explica el coeficiente de corrección de los tipos de aleaciones, estos valores cambian dependiendo del material que se va a utilizar.

Tabla 2.14 Coeficientes de corrección.

Tipo de aleación	Kt	n	m
Acero	1,47	0,21	0,34
Hierro gris	0,76	0,23	0,50
Hierro maleable	1,89	0,43	0,50
Hierro nodular	0,97	0	0,50
Aluminio	1,42	0,18	0,50
Bronce	0,47	0,2	0,50

Fuente: (Guevara et al., 2015, p.65)

$$\delta = 7,5 \text{ mm}$$

$$G = 6.53 \text{ kg}$$

$$K_t = 0,97$$

$$n = 0$$

$$m = 0,50$$

$$\tau = 0,97 \times 1 \times 2.55$$

$$\tau = 2,48 \text{ s}$$

Ecuación de relación para aleaciones ferrosas:

$$\frac{h_p}{\tau} > V_{ca} \quad [2.5]$$

Donde:

V_{ca} : velocidad crítica de ascenso y se toma según el espesor predominante δ .

h_p : altura del modelo (cm).

Los valores de δ según la tabla:

Tabla 2.15 Valores de espesores predominantes y velocidades de ascenso recomendadas.

δ (mm)	< 10	10 a 40	> 40
Vca (cm/s)	2	1	0,8

Fuente: (Guevara et al., 2015, p.66)

$$h_p = 7,5 \text{ cm}$$

$$\tau = 2,48 \text{ s}$$

$$\frac{h_p}{\tau} = \frac{7,5}{2,48}$$

$$\frac{h_p}{\tau} = 3.02 \text{ cm/s}$$

De la tabla 2.15 se tiene que para espesores menores a 10 mm la velocidad de ascenso no debe sobrepasar los 2 cm/s, por lo tanto, la relación anterior se cumple $h_p/\tau > V_{ca}$.

Luego de conocer los valores del tiempo de colado y la altura media de carga, se obtiene el área de control que en este caso como se señaló anteriormente corresponde a los alimentadores.

Ecuación área de control

$$A_c = \frac{G}{\mu\tau 0,31\sqrt{H_m}} \quad [2.6]$$

Donde:

Ac: área de control (cm²)

G: Masa de metal que circula (Kg)

μ : coeficiente de gasto general

τ : tiempo de colada (s)

Hm: altura media de carga (cm)

Esta es el área de control donde va a circular una masa G por este en un tiempo determinado.

$$G = 6,53 \text{ kg}$$

$\mu = 0,40$ para fundición gris de paredes delgadas

$$\tau = 2,48 \text{ s}$$

$$H_m = 5,91 \text{ cm}$$

Ecuación área de control

$$A_c = \frac{G}{\mu \tau 0,31 \sqrt{H_m}} (\text{cm}^2) \quad [2.7]$$

Donde:

Ac: área de control (cm²)

G: Masa de metal que circula (Kg)

μ : coeficiente de gasto general

τ : tiempo de colada (s)

Hm: altura media de carga (cm)

$$A_c = 7,56 \text{ cm}^2$$

$$Aa = 7,56 \text{ cm}^2$$

Tabla 2.16 Relaciones de colada.

Aleación	Tipo de pieza	Sistema	Alimentadores	Escoriador	Canal vertical
Acero	Pequeñas	Con presión	1	1,1	1,2
			1	1,2	1,6
	Medias	Presión parcial	1	1	1,05
			1,5	1	1,2
			1	1	1
Grandes	Sin presión	2	2	1	
Hierro gris	Pequeñas y finas	Con presión	1	1,06	1,11
	Medias y pequeñas	Con presión	1	1,1	1,15
	Grandes	Con presión	1	1,2	1,4
Hierro maleable		Sin presión	1,5	1	1
Hierro nodular		Con presión	1	2,7	1,3
			1	1,12	1,25
Magnesio y aluminio		Sin presión	4	2	1
			6	3	1
			1	3	1
			2	4	1
Bronce		Con presión	1	1,3	1,6
Latones y bronce oxidables		Sin presión	1,5	0,6	1

Fuente: (Guevara et al., 2015, p.67)

Según la tabla 2.16 determina las relaciones de colada dependiendo del área calculada:

Con una relación podemos determinar el área del escoriador:

$$Aa: Ae = 1: 1,06$$

$$Ae = 8,01 \text{ cm}^2$$

Mientras que con esta relación podemos conocer el área del canal vertical:

$$Aa: Acv = 1: 1,11$$

$$Acv = 8,39 \text{ cm}^2$$

A continuación, se muestra el diseño del sistema de alimentación dependiendo de las tablas: 2.17 y 2.18.

Tabla 2.17 Valores de sistema de alimentación.

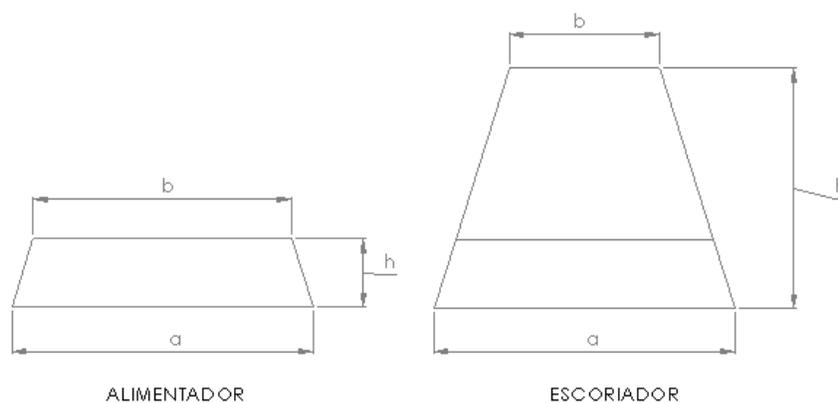
Aa (cm ²)	h = 0,5 a		
	a	b	h
1,0	15,0	12,0	7,5
1,5	18,0	15,5	9,0
2,0	22,0	18,0	11,0
2,5	24,0	20,0	12,0
3,0	26,0	22,0	13,0
3,5	28,0	23,0	14,0
4,0	30,0	24,0	15,0
4,5	31,0	28,0	15,5
5,0	33,0	28,0	16,5
5,5	35,0	29,0	17,5
6,0	36,0	31,0	18,0
6,5	37,0	32,0	18,5
7,0	38,0	33,0	19,0

Fuente: (Guevara et al., 2015, p.68)

Tabla 2.18 Valores del sistema de alimentación del material.

Aa (cm ²)	h = a			h = 1,25 a			h = 1,5 a		
	Dimensiones en mm								
	a	b	h	a	b	h	a	b	h
1,0	11	8	11						
1,3	12	10	12	11	8	14			
1,6	14	10	14	12	9	15	11	7	17
2,0	15	12	15	14	10	17	12	8	20
2,5	16	13	17	15	11	19	14	10	21
3,15	18	14	19	16	12	21	15	11	23
4,0	22	18	21	18	13	25	18	13	26
5,0	24	19	24	22	16	27	20	14	30
6,3	26	20	27	24	18	30	23	16	34
8,0	30	24	30	26	19	35	24	17	38
10,0	34	28	33	30	22	38	28	20	42
12,5	38	30	37	34	26	43	30	22	47
16,0	42	34	42	38	29	48	36	25	54
20,0	48	38	47	42	32	53	40	28	60
25,0	52	42	53	48	36	60	44	32	66
31,5	60	48	59	52	40	66	50	35	75
40,0	66	52	67	60	45	77	56	39	84

Fuente: (Guevara et al., 2015, p.69)

**Figura 2.20** Alimentador y escoriador plano

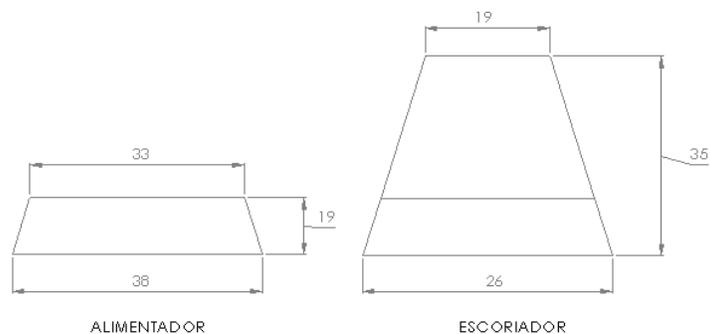


Figura 2.21 Alimentador y escoriador dimensiones

El canal vertical se considera como circular para evitar las caídas de presión en el momento del colado:

Ecuación canal vertical

$$A_{cv} = \pi r^2 \quad [2.8]$$

$$r = \sqrt{\frac{8,39}{\pi}}$$

$$r = 1,63 \text{ cm}$$

Se tiene entonces:



Figura 2.22 Dimensiones del canal vertical (mm)

2.3.16.1 CÁLCULO DE CAJA DE MOLDEO

Para el cálculo de la caja de moldeo se debe tomar las siguientes consideraciones:

- Alto, ancho y largo de la pieza fundida.
- Tamaño y disposición del sistema de alimentación.
- Tamaño de mazarotas.
- Ubicación y tamaño de los noyos.
- Plano de separación y posición de moldeo de la pieza.
- Número de piezas en la misma caja.

Para este estudio no se realiza el cálculo de la caja de moldeo debido a que solo se funde un prototipo.

Los espesores de mezcla de moldeo entre la cavidad que deja el modelo y las paredes de la caja de moldeo deben ser óptimos, debido a la presión metalostática que se produce al momento de verter el material al molde.

Por otra parte, se debe seleccionar una caja de moldeo acorde al modelo para evitar el uso excesivo de mezcla de moldeo y menor el esfuerzo al momento de la fabricación del molde de fundición.

Para la fabricación del disco se debe tomar en cuenta las dimensiones del noyo, ya que esta dimensión aumenta las dimensiones del modelo de fundición.

2.3.17 SELECCIÓN DEL TIPO DE CAJA DE MOLDEO

Para que no exista desfases en la pieza fundida se debe asegurar que la caja de moldeo tenga las guías deben ser precisas para evitar la desubicación de las tapas del molde. Para esto se utiliza una caja metálica con guías de acero.



Figura 2.23 Caja de moldeo

2.3.17.1 DIMENSIONAMIENTO

El modelo de fundición debe colocarse en el centro de la caja de moldeo por este motivo se debe contar con una caja de moldeo con un tamaño apropiado.

Debido a que la pieza a fabricar es redonda y no haya exceso de mezcla de moldeo se utiliza una caja de moldeo de forma circular.

El disco de freno con las contracciones, espesor de maquinado y la medida del sistema de alimentación tenemos un diámetro de 257 mm, y dando una distancia desde la pieza hasta el filo de la caja de aproximada mente 60 mm, necesitamos una caja de moldeo de 400mm de diámetro.

2.3.18 PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DEL MODELO DE FUNDICIÓN

2.3.18.1 CONSTRUCCIÓN DE PLACA MODELO

La placa modelo es un componente que facilitan la utilización y realizar trabajos en serie, que gracias a su composición se reduce costos al momento de usar con una aleación metálica.



Figura 2.24 Placa modelo

La placa modelo que se va a emplear es la de doble cara, por ende, en las dos partes opuestas que son la superior y la inferior serán realizadas de madera, y con esto representa un costo menor, con este se obtendrá una mayor certeza de la mezcla colada, y la parte de la entrada va adyacente a la placa.

2.3.18.2 OBTENCIÓN DE MEZCLA DE MOLDEO

Para obtener el preparado se debe tener listo la arena con los componentes necesarios para que adquiera las propiedades que se requiere, y obtener un excelente colado. Las propiedades que se necesitaran son: unión, permeabilidad, dureza, entre otros.



Figura 2.25 Mezcla de moldeo

2.3.18.3 FABRICACIÓN DEL MOLDE DE FUNDICIÓN

Para realizar el molde se debe tomar en cuenta que se realiza en negativo de la pieza a fabricar, de manera ahueca para poder colar el metal líquido, que, al momento de endurecerse, obtiene la forma del molde, el molde que se requiere se lo emplea a mano y fabricado en cajas y el orificio se lo realiza con un punzón.



Figura 2.26 Fabricación del molde de fundición



Figura 2.27 Fabricación del noyo

Para la fabricación del molde se los hace con los siguientes pasos:

- 1.- Se coloca la placa modelo en la parte superior de la caja, con esto se logra observar la parte inferior de la placa, luego gracias a unos pasadores ubica la caja inferior y se espolvorea el grafito.
- 2.- Con un colador se cierne la arena, y lo que se obtiene es la arena que sirve para el modelo.
- 3.- Con una pala se acarrea la arena y se comienza a colocarla en la caja, conjunto a la arena gruesa de relleno.
- 4.- Se procede a colocar la arena de una manera cuidadosamente para formar el modelo, y además se coloca más arena de relleno hasta que esté completamente lleno la caja.
- 5.- Se compacta la parte superior de la caja, y con una espátula metálica se le retira el exceso.
- 6.- Se procede a elevar la caja ya moldeada y se la gira para que se pueda observar la parte superior de la placa, por donde se establece la parte de alimentación.

7.- Con un punzón delgado se ataca la arena del molde para que resulte más fácil la evacuación de gases y ayudando a una mayor permeabilidad.

8.- Se separa el modelo de la parte de alimentación y se desprende el molde con cuidado la parte de arriba, se retira la placa de modelo.

9.- Se humedece con barniz la arena en toda la arena y se lleva a secar.

10.- Se cierra el molde y con la ayuda de una pala metálica se diseña la entrada de alimentación.

11.- Para garantizar la hermeticidad se coloca unos pasadores y unos pesos en la parte superior de la caja.

2.3.19 PROCESO DE FUNDICIÓN Y COLADO DEL METAL

El calor que genera el horno de inducción es mediante el calentamiento de un metal llamado crisol, es un horno eléctrico que ayuda calentar al metal, el calor que ejerce este horno es más limpio y eficiente y su calentamiento es uniforme. Para la obtención del hierro nodular se necesita una temperatura de 1450 grados centígrados, e ingreso al horno.

2.3.19.1 COLADO

Cuando ya se cierra el molde y este colocado los pesos sobre la parte superior se inicia a fundir el material en el horno de inducción, después de que el metal este líquido se le vierte en una cuchara, con esta cuchara se lleva hasta el molde y se vierte por el sistema de alimentación, y se verifica que ingrese limpiamente.



Figura 2.28 Colado de material

2.3.20 PROCESO DE MAQUINADO

Se debe realizar un maquinado para que la pieza que está sometida a interacción con otras piezas, por eso se da precisión al final a la pieza, para retirar los excesos, después de que la pieza se enfríe y este en estado sólido se separa la caja de moldeo y se extirpa la pieza, el disco de freno se debe tornearlo por el exceso de espesor, con este proceso se obtiene una capa exterior igual en todos sus lados, con su balance correcto. Se realiza a taladrar los orificios para su posterior acoplamiento al vehículo, por último, se realiza la limpieza a la pieza para retirar todo tipo de impurezas que se adhieran en los procesos anteriores.



Figura 2.29 Torneado del disco de freno



Figura 2.30 Fresado del disco de freno



Figura 2.31 Taladrado del disco de freno

2.3.21 FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

Para conocer las características del material obtenido en este estudio se realiza probetas, para hacer ensayos de tracción, ensayos químicos y ensayos metalográficos, con este fin se conoce las propiedades físico-químicas del material obtenido.



Figura 2.32 Probeta según norma NTE INEN 2 499:2009

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

Los primeros resultados del diseño de disco de freno a través de las simulaciones se obtiene datos como: peso, temperatura de trabajo, velocidad de flujo de aire, seguido de esto se logra la realización del modelo con los nuevos álabes, para su futura fabricación física del disco de freno con disipadores de calor, y el terminado del disco de freno con las medidas reales establecidas del disco de freno original.

Por otra parte, se realiza el estudio del material hierro nodular con las pruebas de tracción y composición química que facilita el análisis de este, con el que se fabricó el disco de freno, para obtener resultados que comprueben que el disco soportaría las exigencias que requiere.

3.1 DISCO DE FRENO

Se toma varias consideraciones para la fabricación de este disco de freno desde su diseño, simulación y fabricación con los cuales se obtiene datos que indican un mejoramiento a relación del disco original.

3.1.1 MATRIZ DE DECISIÓN EN LA ELECCIÓN DEL DISCO

En la tabla 2.5 se decide mediante las distintas pruebas que se realiza en la simulación, en el cual el disco con mayor rendimiento es el de 20 alabes principalmente a su peso de 4877,66 gramos, y se logra reducirlo en un valor de 177,89 gramos en comparación al disco original, por otra parte, se tiene una reducción en la temperatura del disco al momento de trabajo aproximadamente de 6 grados kelvin.

3.1.2 Peso

El nuevo diseño del disco de freno a través de la simulación obtuvo un peso de 4877,66 gramos, que es necesario para la toma de decisión de la elección del número de álabes. Después de la fundición y el maquinado se obtiene un peso de 4695 gramos, con esto se logra una reducción significativa del peso a relación del disco de freno original que posee 4810 gramos.



Figura 3.1 Peso disco de 20 alabes



Figura 3.2 Peso disco original

3.1.3 TEMPERATURA DE TRABAJO

Debido a la modificación de los disipadores de calor que dirigen el flujo de aire el valor resultante que se obtuvo de la simulación es de 494 Kelvin con una reducción aproximadamente de 6 grados kelvin con relación al disco original, debido a la forma del alabe que se diseñó.

Tabla 3.1 Datos temperatura de trabajo.

Disco	Temperatura Inicial(K)	Temperatura Final(K)
Original	500	500
20 álabes	500	494
24 álabes	500	497

3.1.4 TENSIÓN EN EL DISCO

Si se observa los valores que se obtuvieron a través de la simulación en los tres discos, la variación en la tensión no es significativa por este motivo cualquier de los tres diseños sería factible para su fabricación.

Tabla 3.2 Datos de tensión del disco.

Disco	Tensión(N/m²)
Original	$6,12 \times 10^6$
20 álabes	$1,28 \times 10^7$
24 álabes	$4,14 \times 10^6$

3.1.5 MODELO NUEVOS ÁLABES

Por la inclinación diseñada del disco de freno de 20 álabes el coeficiente de transferencia de calor y al igual que la velocidad de entrada y salida de aire determina una mejor evacuación de energía térmica generada por la acción del frenado debido a que se genera flujo continuo de aire evitando pérdidas en el caudal de aire como sucede en el modelo original del disco de freno.



Figura 3.3 Modelo de álabes

3.1.6 DISCO FABRICADO

Después del maquinado realizado al disco de freno, se obtiene el dimensionamiento que corresponde al disco original, respetando los valores típicos de disco de la camioneta Great Wall Wingle, con esto se obtuvo las correctas dimensiones del disco con disipadores de calor.



Figura 3.4 Foto disco terminado

3.2 HIERRO NODULAR

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL HIERRO NODULAR

Según los análisis realizados se interpreta que la muestra corresponde a una fundición de tipo nodular, grafito tipo II tamaño 6, con una matriz del tipo ferrítico perlítica.

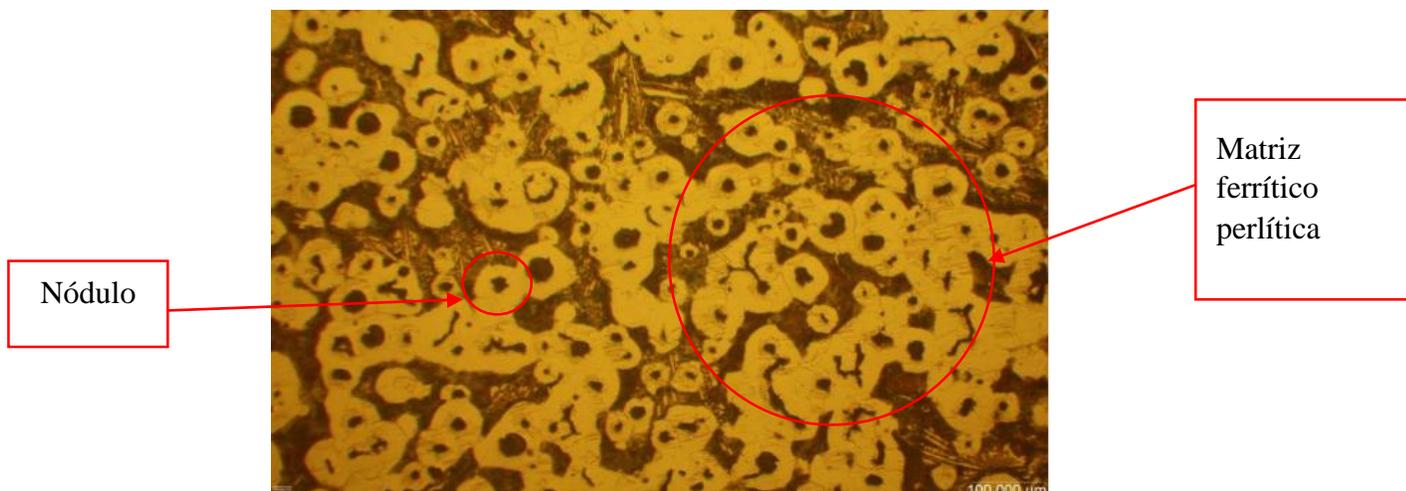


Figura 3.5 Metalografía 100x

En la figura 3.3 se aprecia la matriz típica de un hierro nodular de una prueba metalográfica con un zoom de 100x, donde se logra observar los nódulos los cuales son concentraciones de grafito en forma esferoidal.

3.2.2 Tamaño, tipo, forma

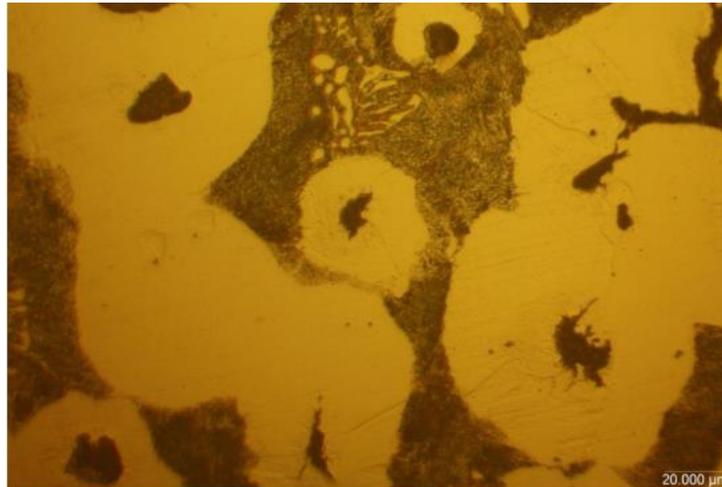


Figura 3.6 Metalografía 500x

3.2.3 Composición Química

Según la prueba de composición química se determina los valores que posee el hierro nodular con una valorización de Hierro (FE) del 93,55% siendo esta su composición más alta, seguido con un 3,78% de Carbono(C), Y al tener un porcentaje bajo de Azufre (S) 0,0043% permite que la nodulización sea más efectiva y más completa generando mayor cantidad de nódulos, ya que esta es una composición típica de hierro gris, y por ende es una composición típica del hierro nodular, por sus elevados porcentajes de carbono.

**REGISTRO DE ENSAYO DE COMPOSICION QUIMICA
MEDIANTE ESPECTROMETRIA DE EMISION OPTICA POR CHISPA
ASTM E415 / ASTM E1086 / ILPM -PT-09**

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
Ø	3,986	2,261	0,249	<0,003	0,0054
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
Ø	0,026	<0,005	0,024	0,015	0,015
	Co [%]	Mg [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]
Ø	<0,003	0,024	0,0082	0,0048	<0,003
	W [%]	B [%]	Sn [%]	Fe [%]	
Ø	<0,01	<0,001	<0,002	93,38	

Figura 3.7 Valores Hierro nodular

3.2.4 Ensayo de Tracción

Según el ensayo de tracción realizado en la prueba de tracción arrojó un valor de 374 (MPa) como valor mínimo cumpliendo con la norma INEN 2 499:2009 que rige en el país.

REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2022-142-T		
Probeta No.	17MAR		
TestDate	2022-03-18	Type	Circle
Size(mm)	12.63	So(mm ²)	125.28
Lo(mm)	50	Lu(mm)	51.58
Fm(kN)	46.80	SUT(MPa)	374
FeL(kN)	46.55	SY(MPa)	372

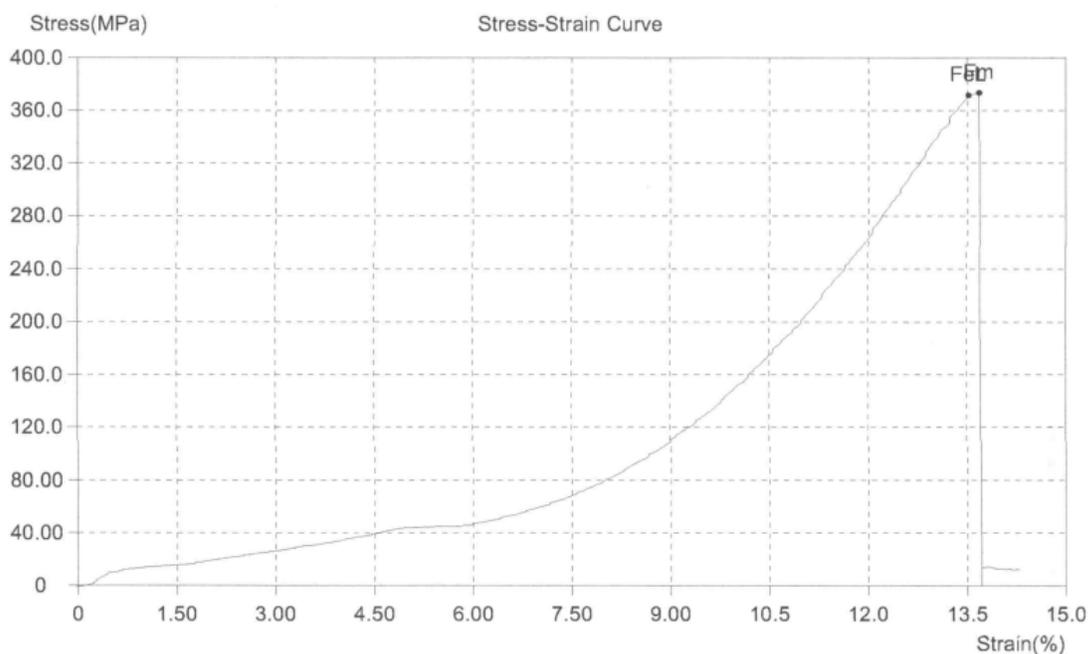


Figura 3.8 Valores ensayo de tracción

3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de esta investigación tiene como resultado los siguientes costos de valores de un disco prototipo y los valores de producción en serie que se puede realizar en el país.

Obteniendo los siguientes valores que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Análisis económico.

PARÁMETROS	VALOR DISCO PROTOTIPO ÚNICO	VALOR DISCO PRODUCCIÓN EN SERIE
Construcción modelo	175 dólares	0,17 dólares
Fundición	60 dólares	18 dólares
Maquinado	50 dólares	15 dólares
Total	285 dólares	33,17 dólares

Para la producción de un prototipo único tomando en cuenta los siguientes parámetros como: construcción de modelo, fundición y maquinado obteniendo un valor de producción de 285 dólares, a su vez con los mismos parámetros la producción en serie es de 33,17 dólares, con esto por la producción en serie se obtiene un menor valor en la fabricación.

Con el valor de la producción en serie en comparación al valor de mercado nacional, es posible una industrialización de este tipo de disco fabricado en el país debido a un menor costo.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El hierro nodular es elegido debido a las propiedades mecánicas que posee tales como: elasticidad, ductilidad y dureza a comparación con el hierro gris, donde la resistencia máxima a la tracción en el hierro nodular es un 40% superior a la del hierro gris, por otra parte, tiene un módulo de Young que 37% superior. Mediante los ensayos realizados se determina que es un material idóneo para la fabricación de un disco de freno. Gracias al ensayo metalográfico desarrollado en el laboratorio se determina que es una fundición de tipo nodular, grafito tipo II, tamaño 6 con una matriz del tipo ferrítico perlítica.

Debido a las simulaciones realizadas con un disco de 20 alabes, 24 alabes y el disco original se determina que el disco de 20 alabes se comporta de manera más eficiente obteniendo un 88,8% de mayor eficacia en la simulación realizada, en cambio el de 24 alabes presenta un 61,1% y el disco original un 50% a comparación de los otros discos analizados, una vez tabulados los valores de las simulaciones se procede a la fabricación del disco con el material deseado.

El proceso de fabricación por moldeo en arena en verde es la mejor opción debido a su bajo costo ya que se usa para producciones de un número reducido de piezas, logrando una producción más económica con 23 veces más barato en comparación con una fundición con molde permanente y rápida, reduciendo el tiempo en un 75% en comparación con la fabricación con el molde permanente. Se utiliza para su fundición un horno de inducción debido a que produce coladas más limpias y temperaturas altas para el tratamiento del material, el cual debe llenarse a toda su capacidad por motivo de evitar daños en su crisol, con esto se obtiene una

fundición limpia a una temperatura de 1450 grados centígrados y 6000 gramos de material que es el deseado para este tipo de fabricaciones.

Se logra obtener un diseño óptimo que facilite la disipación de temperatura, gracias al diseño de los alabes a un porcentaje de inclinación de 60 grados con esto se obtuvo una disipación de calor de 6 grados Kelvin con respecto al diseño original logrando que sea más eficiente con un 88,3%, además que se logró tener un caudal más fluido de aire al momento de la entrada y salida logrando enfriar con mayor rapidez al momento de su trabajo. El peso del disco de freno con disipadores de calor se alcanzó una reducción de 115 gramos con relación al disco original reduciendo un 2,27% del peso del disco original, cambiando así la relación peso-potencia del vehículo.

4.2 RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar distintas pruebas al disco de freno para determinar si cumple con los estándares de calidad que rigen las empresas automotrices, estos ensayos que se le puede realizar son: análisis de vibraciones, análisis de deformación, análisis de esfuerzos, análisis térmicos, análisis de desgaste y falla entre otros. Debido a que no existen laboratorios certificados en el país, se los debe realizar en el exterior, para obtener datos específicos de estos análisis y que sean avalados por organismos que poseen los equipos adecuados para realizarlos.

En el país no existe normas que rigen para obtener un control de calidad en la fabricación de un disco de freno, por este motivo se recomienda una investigación acerca de los materiales con los que se fabrica los discos, y conocer si un material puede cumplir con los estándares internacionales para lograr una producción en lote y puedan ser comercializados.

Para un mejor terminado la arena utilizada para la fabricación del noyo se debe tener un control más estable debido a la fabricación de este disco que tuvo pequeñas deformidades en el interior a causa por noyos con mucha porosidad.

Se debe tener mayor apoyo de las universidades en conjunto de empresas privadas para este tipo de proyectos, para fomentar una industria de piezas automotrices que tengan marca Ecuatoriana y con esto fomentar el desarrollo industrial.

Para complementar este estudio se debe realizar un estudio económico más profundo debido a que existen valores que se deben tomar en cuenta al momento de la producción del disco de freno, así mismo una comparativa con el disco de freno importado para conocer si es factible una producción nacional o su importación para su comercialización.

Para conocer el comportamiento dinámico del prototipo del disco de freno se recomienda realizar ensayos físicos o en comportamiento real para obtener datos según las exigencias que requiere un vehículo al momento de realizar un frenado.

BIBLIOGRAFÍA

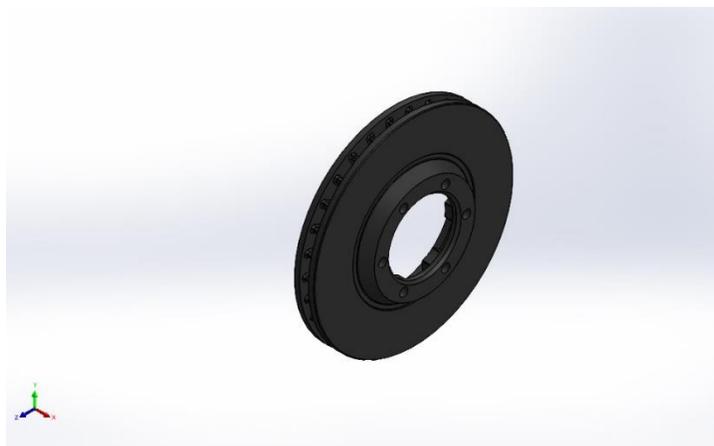
- Anabel, S., & Pinto, G. (2010). Estudio de Tratamientos Térmicos de Templado y Revenido en la fundición de hierro dúctil con matriz metálica ferrítica.
- Ayala, A., Diego, Y., Jorge, I. N. G., & Melo, L. (2018). FRENOS PARA UN VEHÍCULO TIPO FORMULA STUDENT ”.
- ASTM, A247-16. (Abril de 2016). Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings. Estados Unidos.
- Bacon, F. R. (2008). Fundición Nodular. Universidad Católica Argentina, 14.
- Bauzá, F. (2018). Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros. Universidad Politécnica de Catalunyaatalunya, 51. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT_470.pdf
- Čanžar, P., Tonković, Z., & Kodvanj, J. (2012). Microstructure influence on fatigue behaviour of nodular cast iron. *Materials Science and Engineering A*, 556, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.062>
- Commercial, B., Systems, V., & Todos, L. L. C. (2004). Manual de frenos de aire.
- Ductil Iron Society, C. (2013). Ductile iron data for design engineers. Recuperado de <http://www.ductile.org/didata/Section2/2intro.htm>
- Esteban, C. Á., Hernández, G., Ignacio, M., Pérez, R., & Carlos, S. J. (2012). Metodología de trabajo para el diseño de discos de freno. 1. Congreso Internacional SOMIM, 368–377.
- Fernando Guerrero, A. M. (2018). Sistema De Frenos Mecanicos. 8.
- Franco Gimeno, J., & Madre Sediles, M. (1999). Ensayos de metalografía y tratamientos térmicos . [Zaragoza, España]: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- García León, R. A., Acosta Pérez, M. A., & Flórez Solano, E. (2015). Análisis del comportamiento de los frenos de disco de los vehículos a partir de la aceleración del proceso de corrosión. *Revista Tecnura*, 19(45), 53. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a04>
- Goyos, L., & Martínez, H. (1994). Tecnología de Fundición 2. Habana.
- Guevara, G., Hernan, E., Bautista, L., & Andres, J. (2015). Fabricacion en fundicion gris del tambor de freno para un automovil ensamblado en el ecuador.
- Guzmán Tasinchana, H. P., & Quimbita Panchi, M. A. (2018). Eficiencia de frenado entre disco originales y alternos. UIDE, 11.

- Kashima University. (2013). Frenos de disco. Recuperado de <http://kashima.campuseina.com/mod/book/view.php?id=7614&chapterid=9456>
- Lillo Harun, S. (2006). Comportamiento Termomecánico En Un Disco De Freno Macizo Y Uno Auto-Ventilado. 1–113. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfci1729c/doc/bmfci1729c.pdf>
- Llulluna, F. R. L. (2014). Mecánica Procesamiento De Imágenes Mediante Software Libre Python Para El Análisis Metalográfico En Aceros De. Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería, 119. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7171/1/CD-5361.pdf>
- Manabí, P. D. E., El, E. N., & Lectivo, A. Ñ. O. (2010). Universidad tecnológica equinoccial.
- Martínez Gómez, J., Chérrez Troya, M., Llanes Cedeño, E. A., & Peralta Zurita, D. (2018). Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno. *Ingenius*, 20, 83–95. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.08>
- Medidas, E. Y., & Seguridad, D. E. (1987). INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito-Ecuador.
- Moncada, C., & Vacca, J. (2010). Universidad Francisco de Paula Santander. 109.
- Parera, A. M. (1998). Frenos ABS en los automóviles. 33–41.
- PROPALMA. (2020). Anuario 2020. 130.
- Ramírez, J. (2015). Optimización de proceso de obtención de hierro nodular para piezas automotrices.
- Rodríguez García, X. C. (2019). Ensayos físicos. 51–66.
- Salazar, A., & Ricardo, V. (2018). Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia Formula SAE eléctrico.
- Toapanta, E. (2015). Diseño e implementación de un laboratorio de modelado y diseño mecánico asistido por computadora mediante software CAD 3D-2D y solidworks en la Universidad Técnica de Cotopaxi sede la Maná Cantón la Maná Provincia de Cotopaxi.
- Urrutia, G., & Bernardo, S. (n.d.). Fundición nodular. 1–3.
- Velásquez Angamarca, J. C., & Heras Castillo, C. D. (2012). Diseño, construcción e implementación de un sistema de ventilación para los discos de freno de un vehículo y sistema de control de temperatura. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2135>
- Xavier, E., Guevara, D., Universitario, M., & Dirección, E. N. (2019). “ Manual de procedimientos para la importación de frenos y servofrenos automotrices a Ecuador desde la Unión Europea ”. Resumen.

Yevtushenko, A., & Kuciej, M. (2010). Temperature and thermal stresses in a pad/disc during braking. *Applied Thermal Engineering*, 30(4), 354–359.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.09.015>

ANEXOS

ANEXO 1



Simulación de disco

Fecha: jueves, 3 de febrero de 2022

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Térmico 1

Tipo de análisis: Térmico(Transitorio)

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

SUPOSICIONES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MODELO 97

PROPIEDADES DE ESTUDIO 98

UNIDADES 98

PROPIEDADES DE MATERIAL 98

CARGAS TÉRMICAS 99

INFORMACIÓN DE CONTACTO
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MALLA 100

DETALLES DEL SENSOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

RESULTADOS DEL ESTUDIO 101

CONCLUSIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1 Información de modelo

			
			
Nombre del modelo: disco Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Chaflán2 	Sólido	Masa: 5.05579 kg Volumen: 0.000712064 m ³ Densidad: 7 100.2 kg/m ³ Peso: 49.5468 N	C:\Descargas\Compressed\te\Disco1\disco.SLDPRT Feb 3 18:40:13 2022

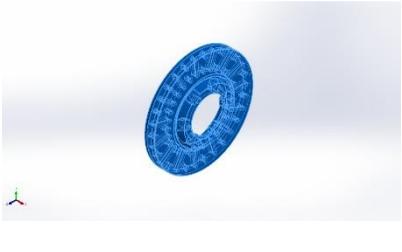
2 Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Térmico 1
Tipo de análisis	Térmico(Transitorio)
Tipo de malla	Malla sólida
Tipo de solver	FFEPlus
Tipo de solución	Transitorio
Tiempo total	3 Segundos
Incremento de tiempo	0.1 Segundos
¿Se definió la resistencia de contacto?	No
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Descargas\Compressed\te\Disco1)

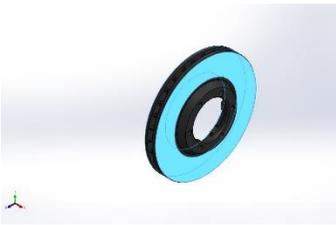
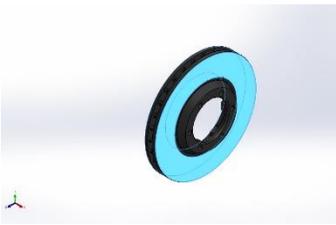
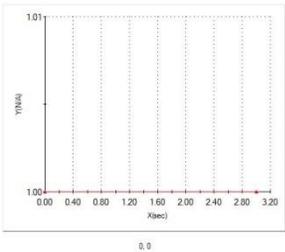
3 Unidades

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

4 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Hierro dúctil Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Conductividad térmica: 0.75 W/(cm.K) Calor específico: 107.553 Cal/(kg.C) Densidad: 7.1 g/cm ³	Sólido 1(Chaflán2)(disco)
Datos de curva:N/A		

5 Cargas térmicas

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	Curva de función
Temperatura-1		Entidades: 2 cara(s) Temperatura inicial: 293 Kelvin	
Convección-1		Entidades: 1326 cara(s) Coefficiente de convección: 150 W/(m ² .K) Variación de tiempo: Activar Variación de temperatura: Desactivar Temperatura ambiente: 293 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar	 <p>Curva de tiempo</p>
Potencia calorífica-1		Entidades: 2 cara(s) Energía térmica Valor: 150000 W Variación de tiempo: activada	 <p>Curva de tiempo</p>

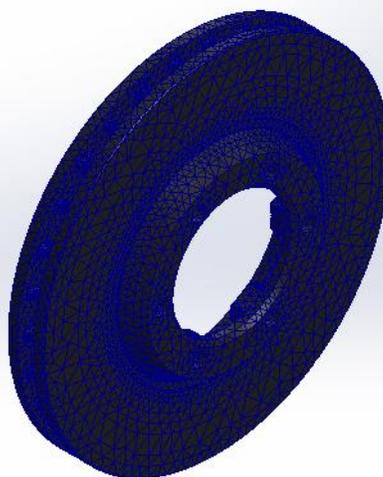
6 Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	17.8918 mm
Tamaño mínimo del elemento	3.57836 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

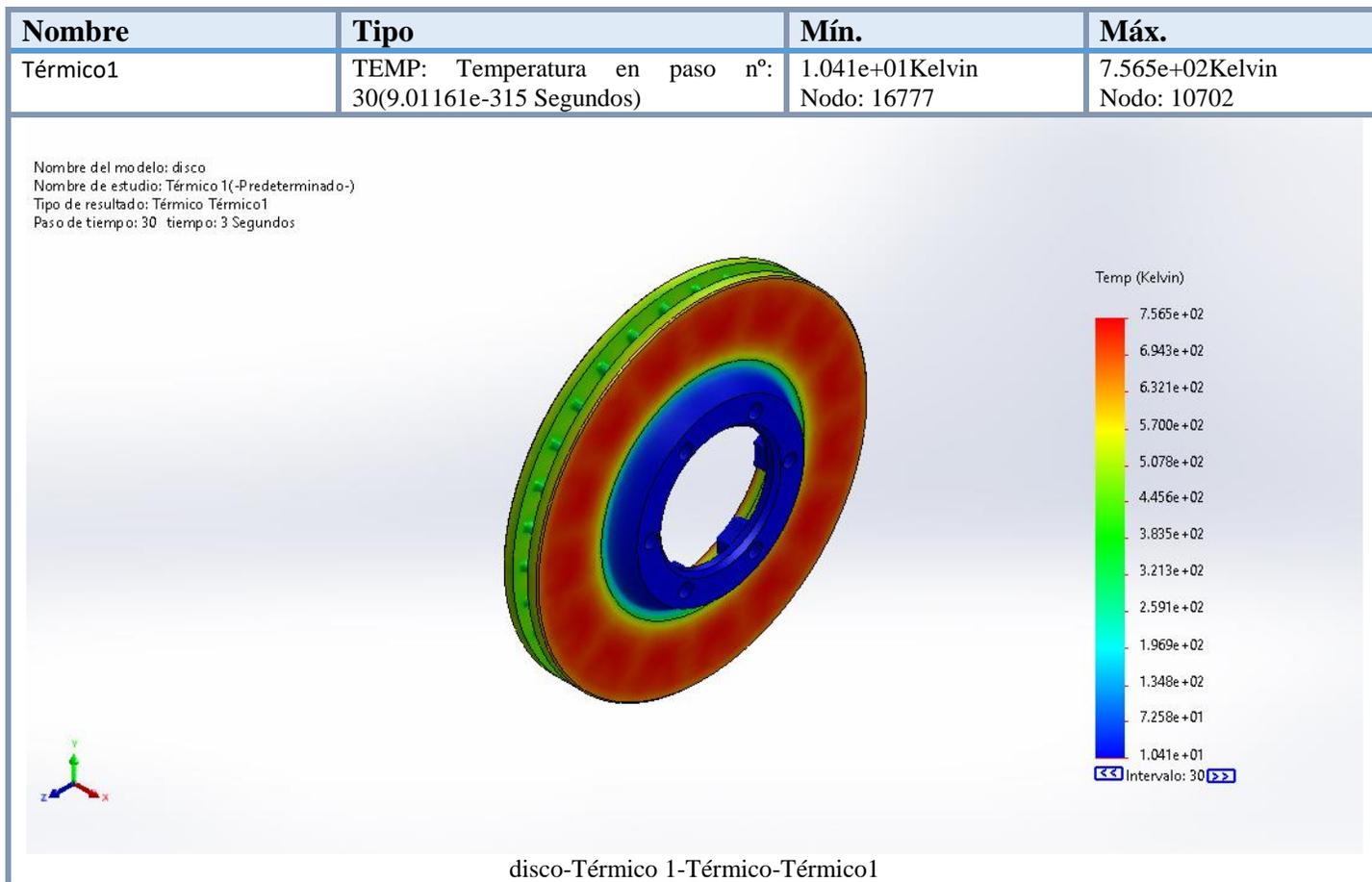
6.1 Información de malla - Detalles

Número total de nodos	140611
Número total de elementos	84751
Cociente máximo de aspecto	181.76
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	81.2
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.271
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):	00:00:13
Nombre de computadora:	LENOVO

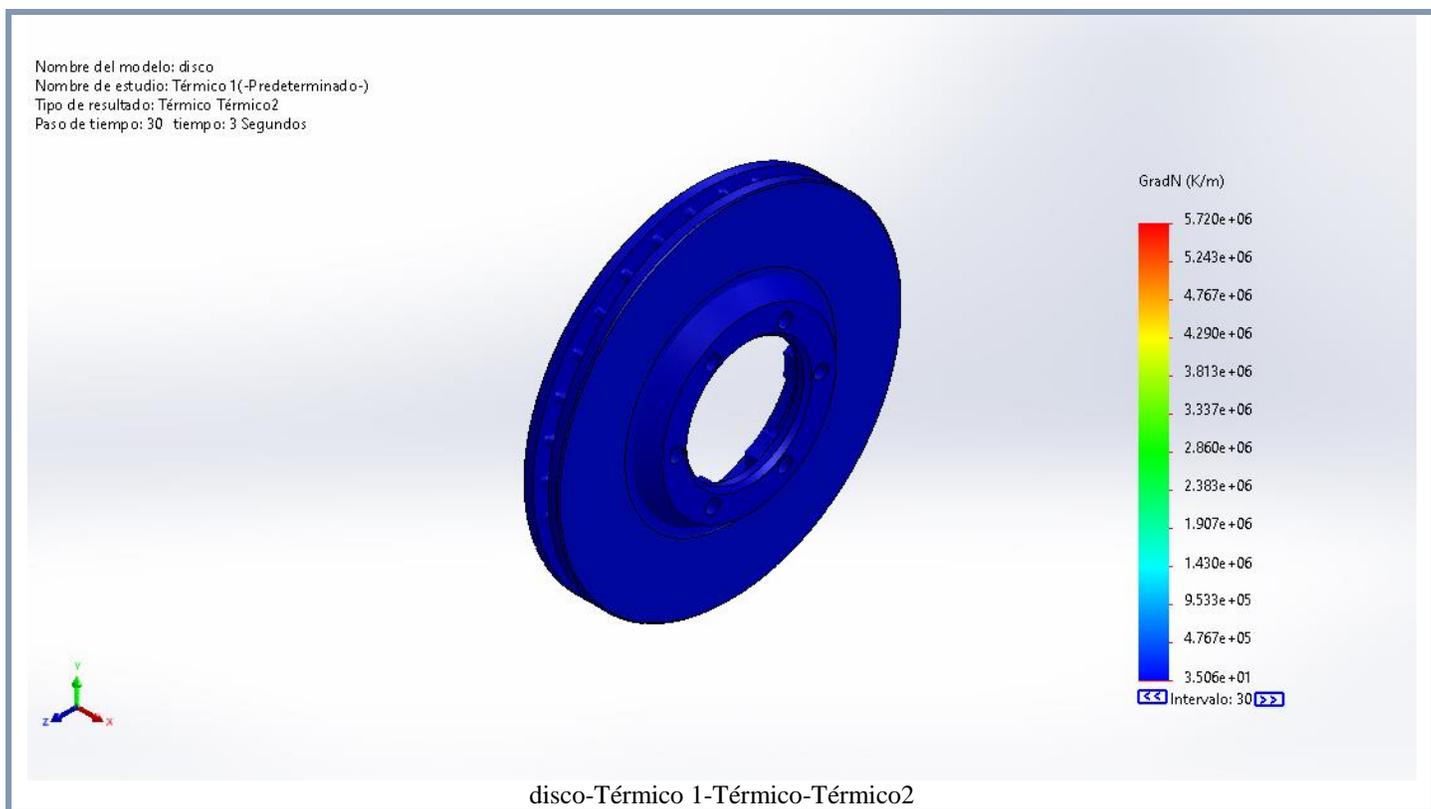
Nombre del modelo: disco
 Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



7 Resultados del estudio

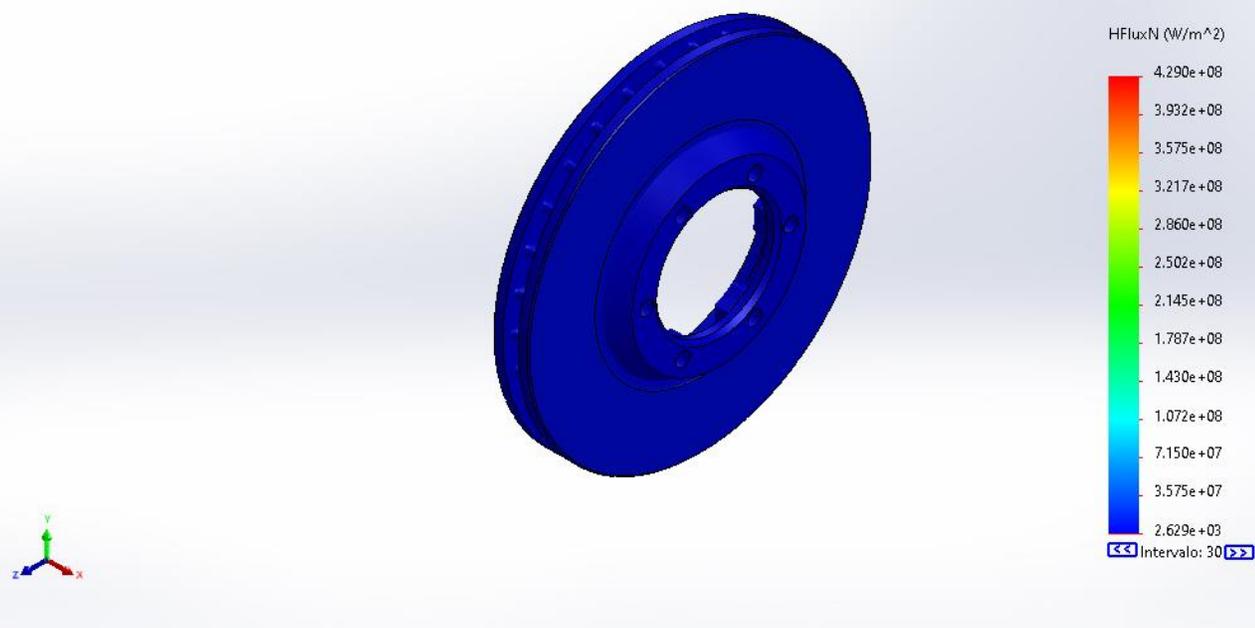


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico2	GRADN: Gradiente de temperatura resultante en paso n°: 30(9.01162e-315 Segundos)	3.506e+01K/m Nodo: 96228	5.720e+06K/m Nodo: 6129



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico3	HFLUXN: Flujo de calor resultante en paso n°: 30(9.01162e-315 Segundos)	2.629e+03W/m ² Nodo: 96228	4.290e+08W/m ² Nodo: 6129

Nombre del modelo: disco
Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico3
Paso de tiempo: 30 tiempo: 3 Segundos





Simulación de disco

Fecha: jueves, 3 de febrero de 2022

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

SUPOSICIONES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MODELO 105

PROPIEDADES DE ESTUDIO 106

UNIDADES 106

PROPIEDADES DE MATERIAL 107

CARGAS Y SUJECIONES 107

DEFINICIONES DE CONECTOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE CONTACTO
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MALLA ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

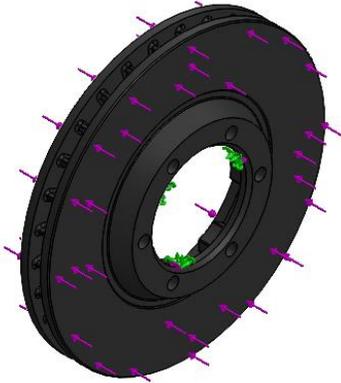
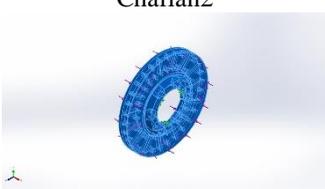
DETALLES DEL SENSOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

FUERZAS RESULTANTES 108

VIGAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

RESULTADOS DEL ESTUDIO 109

1 Información de modelo

			
			
<p>Nombre del modelo: disco Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Chaflán2 	Sólido	Masa: 5.127 kg Volumen: 0.000712064 m ³ Densidad: 7 200.2 kg/m ³ Peso: 50.2446 N	C:\Descargas\Compresed\te\Disco1\disco.SLDPRT Feb 3 18:42:21 2022

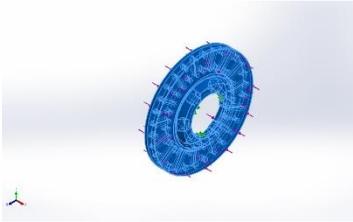
2 Propiedades de estudio

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:\Descargas\Compressed\te\Disco1)

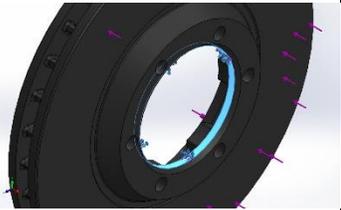
3 Unidades

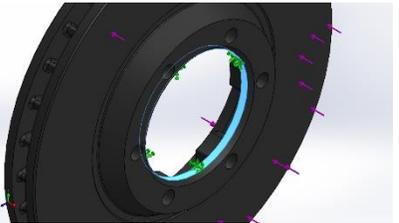
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

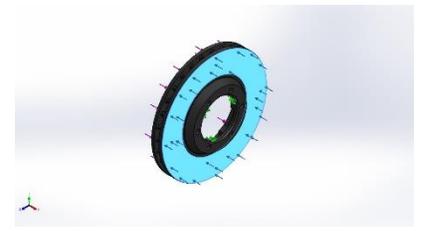
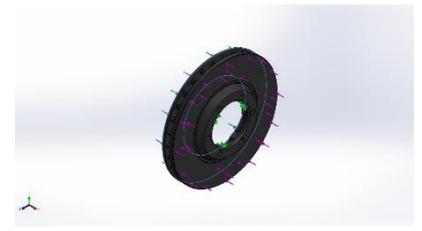
4 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Fundición gris Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de Mohr-Coulomb Límite de tracción: 151.658 N/mm ² Límite de compresión: 572.165 N/mm ² Módulo elástico: 66 178.1 N/mm ² Coefficiente de Poisson: 0.27 Densidad: 7.2 g/cm ³ Módulo cortante: 50 000 N/mm ² Coefficiente de dilatación térmica: 1.2e-05 /Kelvin	Sólido 1(Chaflán2)(disco)
Datos de curva:N/A		

5 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)		0.0011555	-9.29832e-06	0.000530958	0.00127163
Momento de reacción(N.m)		0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 10 N.m

Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10 000 N
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 10 000 N

6 Fuerzas resultantes

6.1 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.0011555	-9.29832e-06	0.000530958	0.00127168

6.2 Momentos de reacción

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

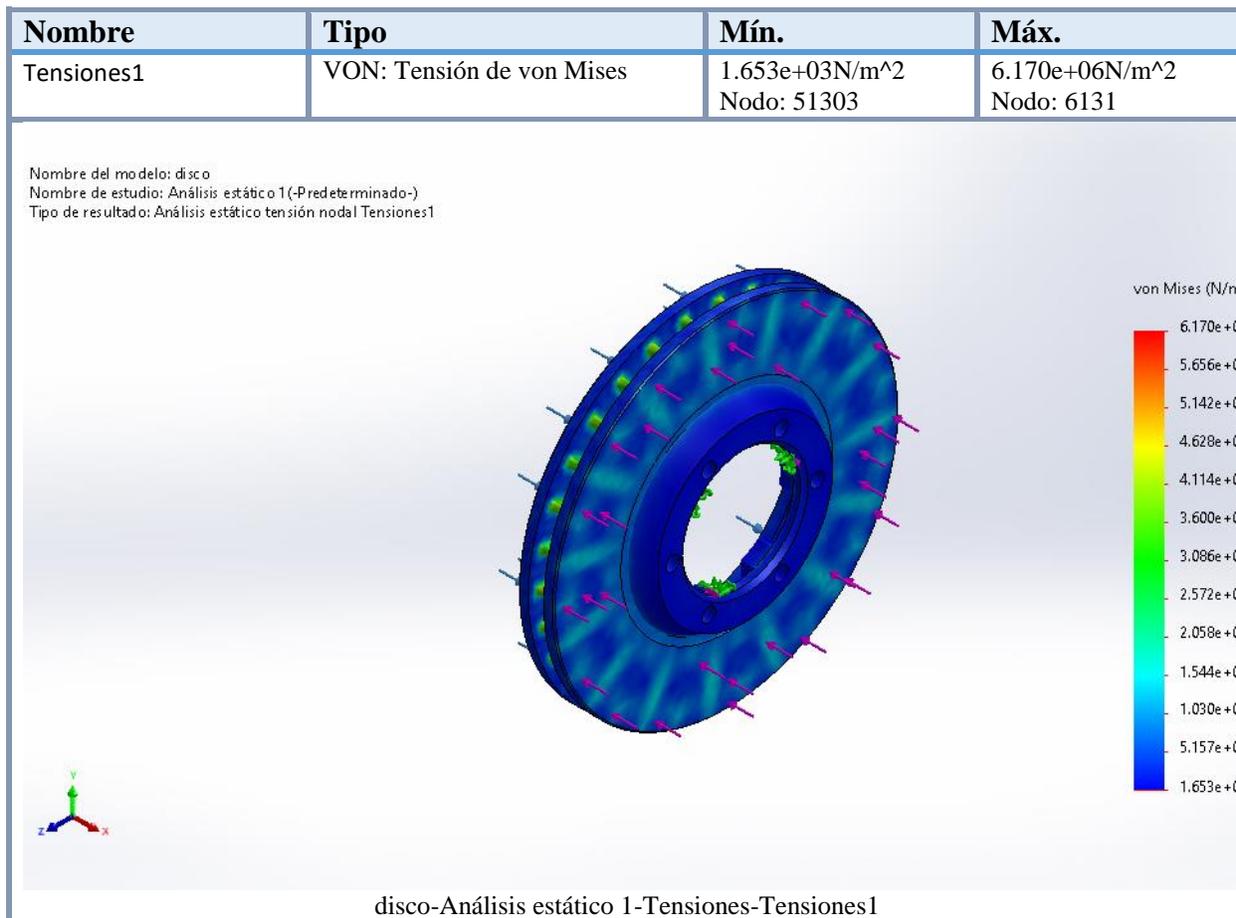
6.3 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.067651	0.00624167	0.107448	0.127125

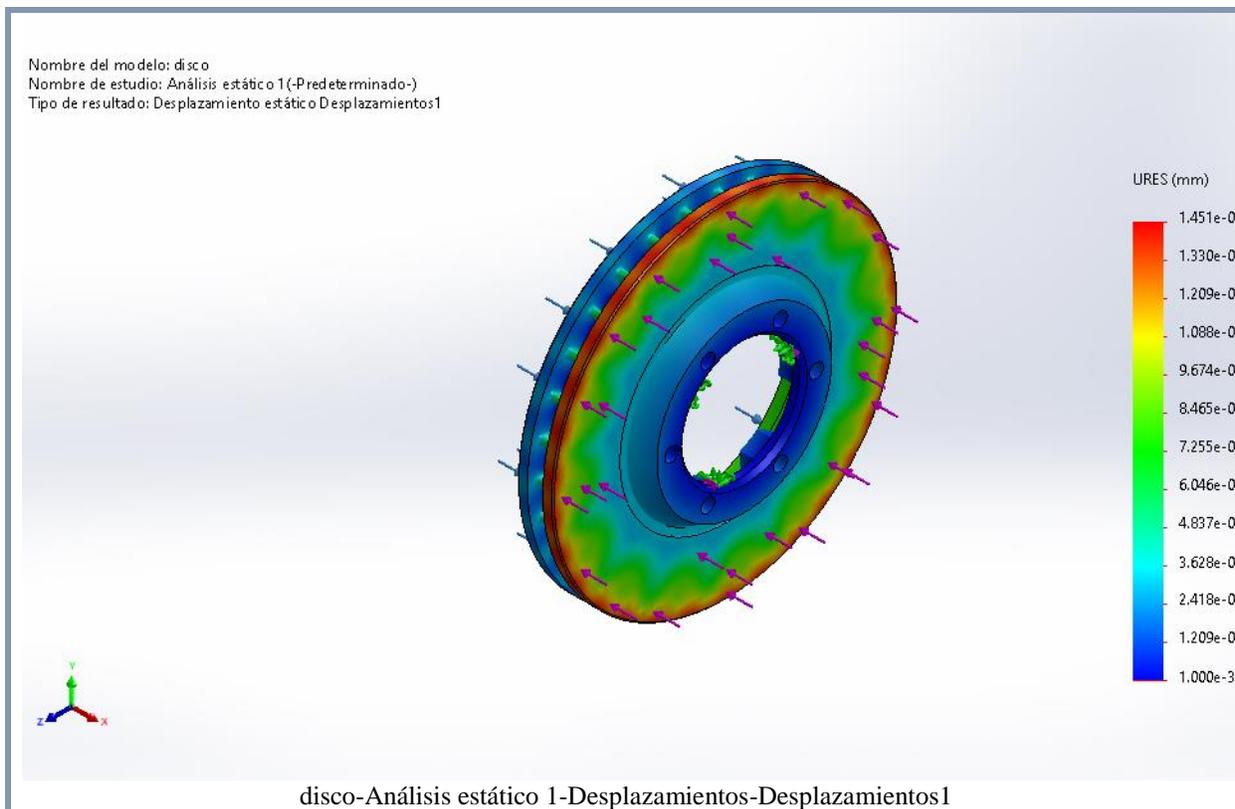
6.4 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

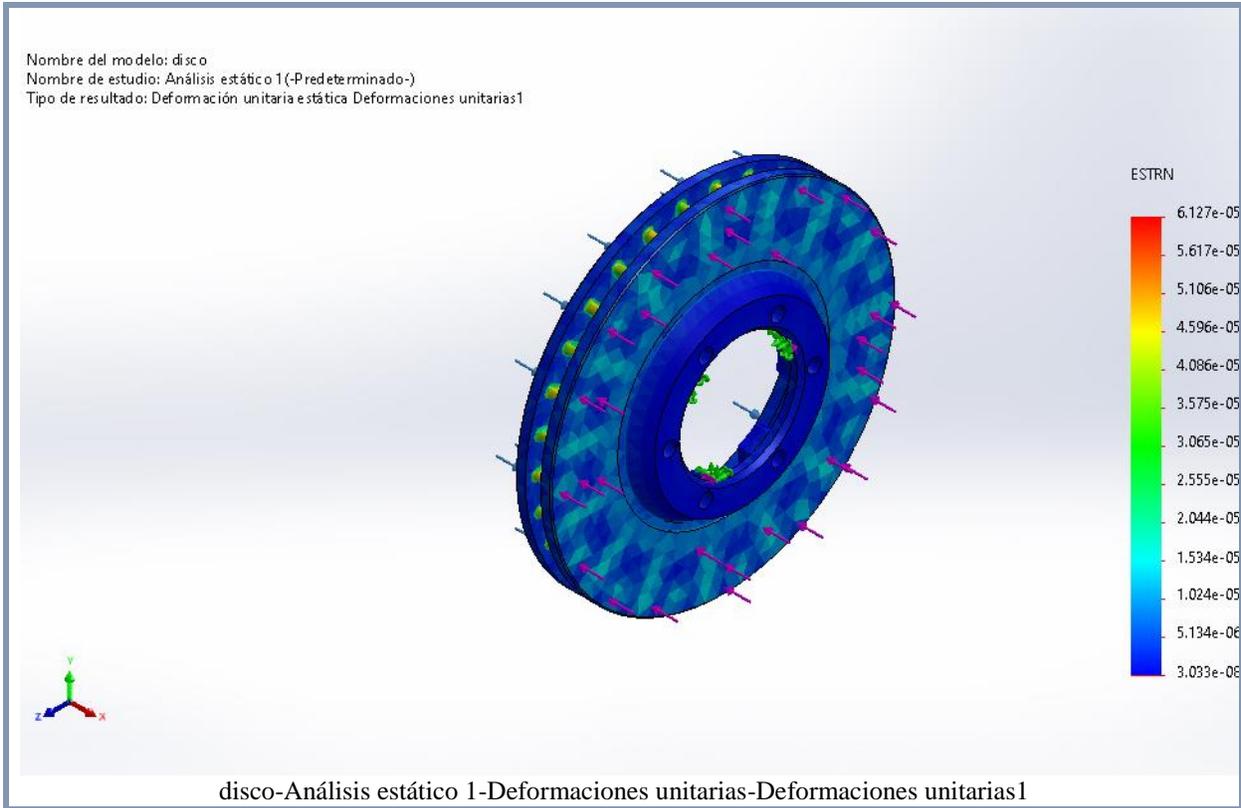
7 Resultados del estudio



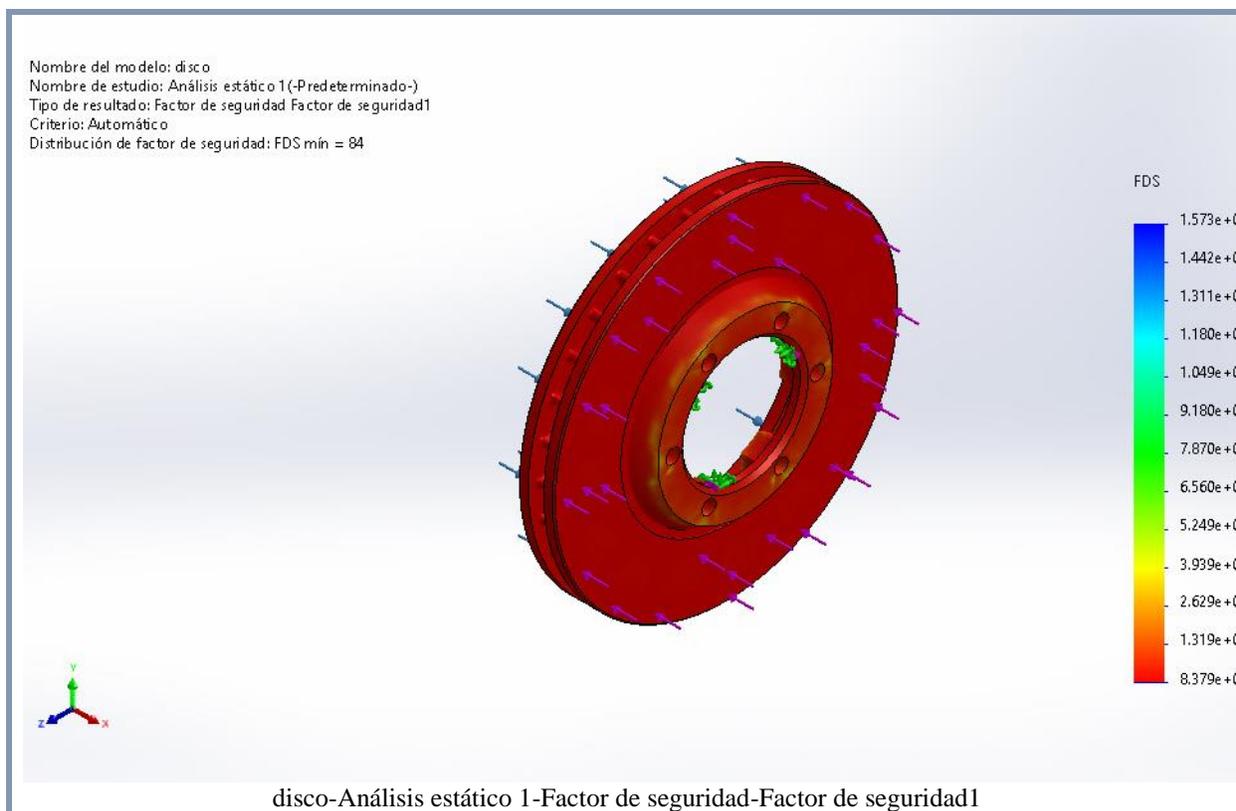
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: resultantes	Desplazamientos 0.000e+00mm Nodo: 221	1.451e-03mm Nodo: 355



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.033e-08 Elemento: 11297	6.127e-05 Elemento: 25214



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	8.379e+01 Nodo: 17829	1.573e+05 Nodo: 51303



ANEXO 2



Simulación de disco2

Fecha: jueves, 3 de febrero de 2022

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Térmico 1

Tipo de análisis: Térmico(Transitorio)

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

SUPOSICIONES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MODELO 116

PROPIEDADES DE ESTUDIO 117

UNIDADES 117

PROPIEDADES DE MATERIAL 117

CARGAS TÉRMICAS 118

INFORMACIÓN DE CONTACTO
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

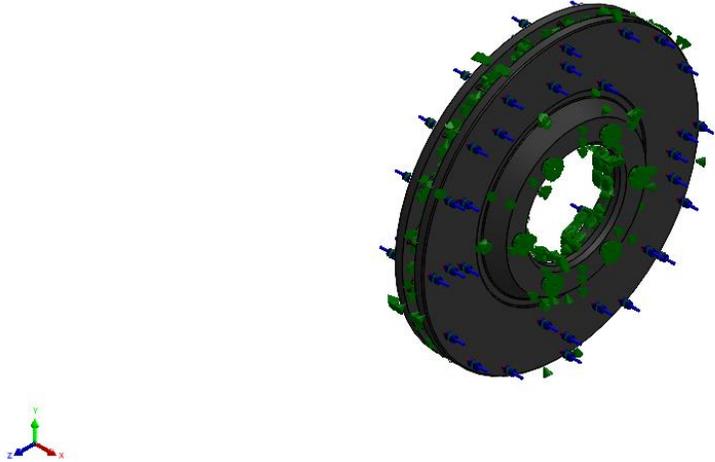
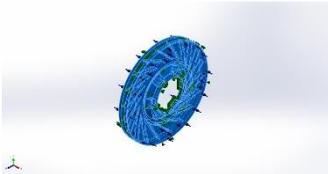
INFORMACIÓN DE MALLA 119

DETALLES DEL SENSOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

RESULTADOS DEL ESTUDIO 120

CONCLUSIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1 Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: disco2 Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo12 	Sólido	Masa:4.8778 kg Volumen:0.000686994 m³ Densidad:7 100.21 kg/m³ Peso:47.8024 N	C:\Descargas\Compressed\te 2\Disco 20 alabes\Disco 2\disco2.SLDPRT Feb 3 16:44:03 2022

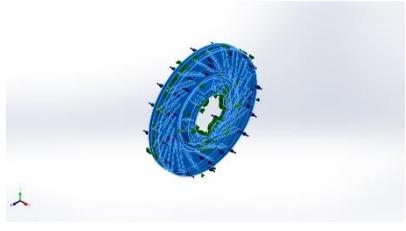
2 Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Térmico 1
Tipo de análisis	Térmico(Transitorio)
Tipo de malla	Malla sólida
Tipo de solver	FFEPlus
Tipo de solución	Transitorio
Tiempo total	3 Segundos
Incremento de tiempo	0.1 Segundos
¿Se definió la resistencia de contacto?	No
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Descargas\Compressed\te2\Disco 20 alabes\Disco 2)

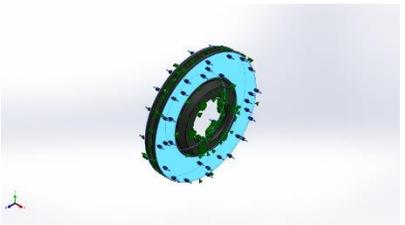
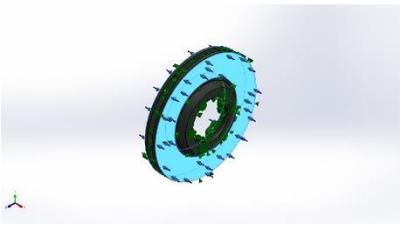
3 Unidades

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

4 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Hierro dúctil Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Conductividad térmica: 0.75 W/(cm.K) Calor específico: 107.553 Cal/(kg.C) Densidad: 7.1 g/cm ³	Sólido 1(Redondeo12)(disco2)
Datos de curva:N/A		

5 Cargas térmicas

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		Entidades: 2 cara(s) Temperatura inicial: 293 Kelvin
Convección-1		Entidades: 366 cara(s) Coefficiente de convección: 150 W/(m ² .K) Variación de tiempo: Desactivar Variación de temperatura: Desactivar Temperatura ambiente: 293 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar
Potencia calorífica-1		Entidades: 2 cara(s) Energía térmica Valor: 150000 W

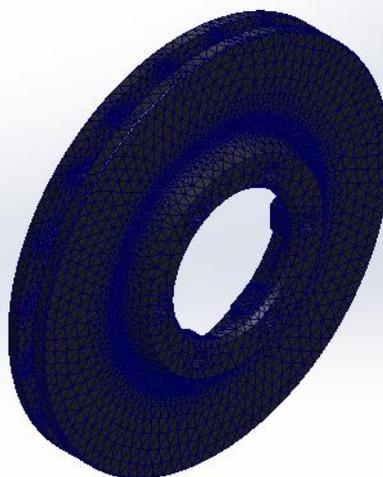
6 Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	9.14928 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.82986 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

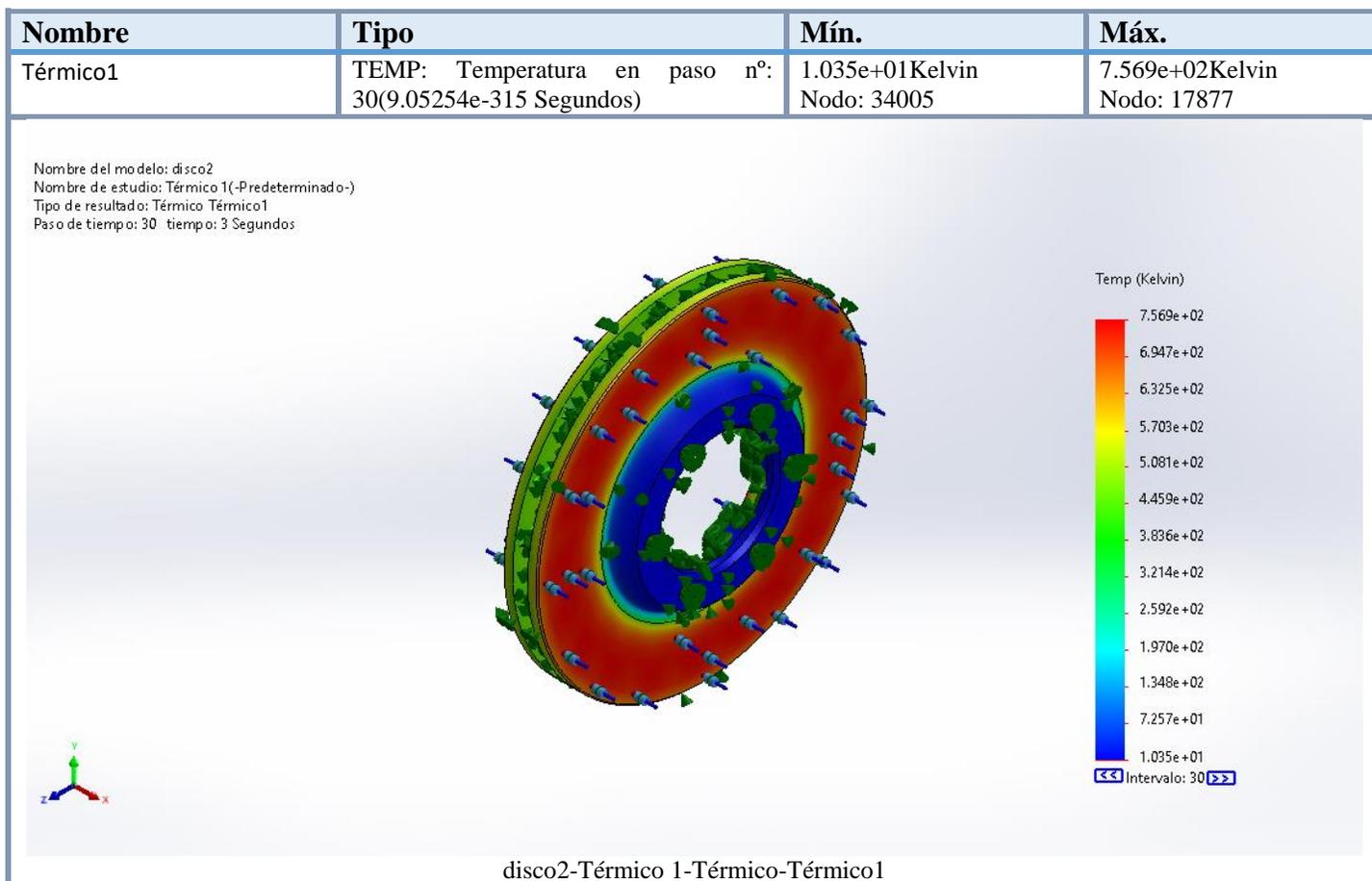
6.1 Información de malla - Detalles

Número total de nodos	247652
Número total de elementos	151613
Cociente máximo de aspecto	71.759
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	95.5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0897
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:01:00
Nombre de computadora:	LENOVO

Nombre del modelo: disco2
 Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida

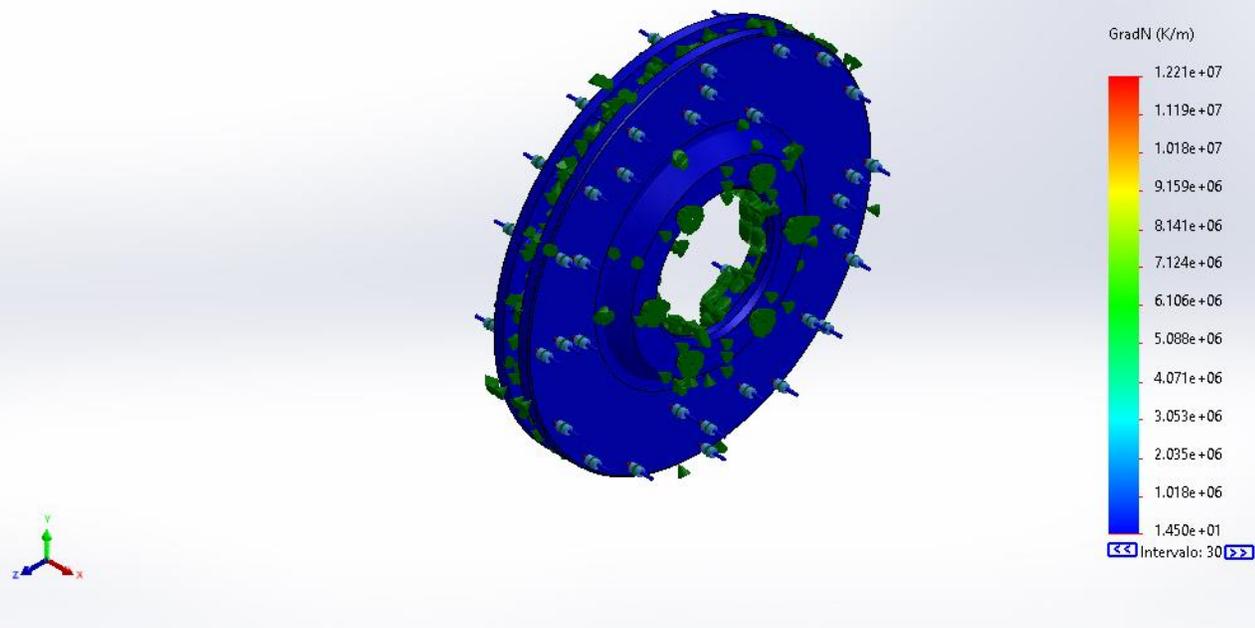


7 Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico2	GRADN: Gradiente de temperatura resultante en paso n°: 30(9.05253e-315 Segundos)	1.450e+01K/m Nodo: 211941	1.221e+07K/m Nodo: 9473

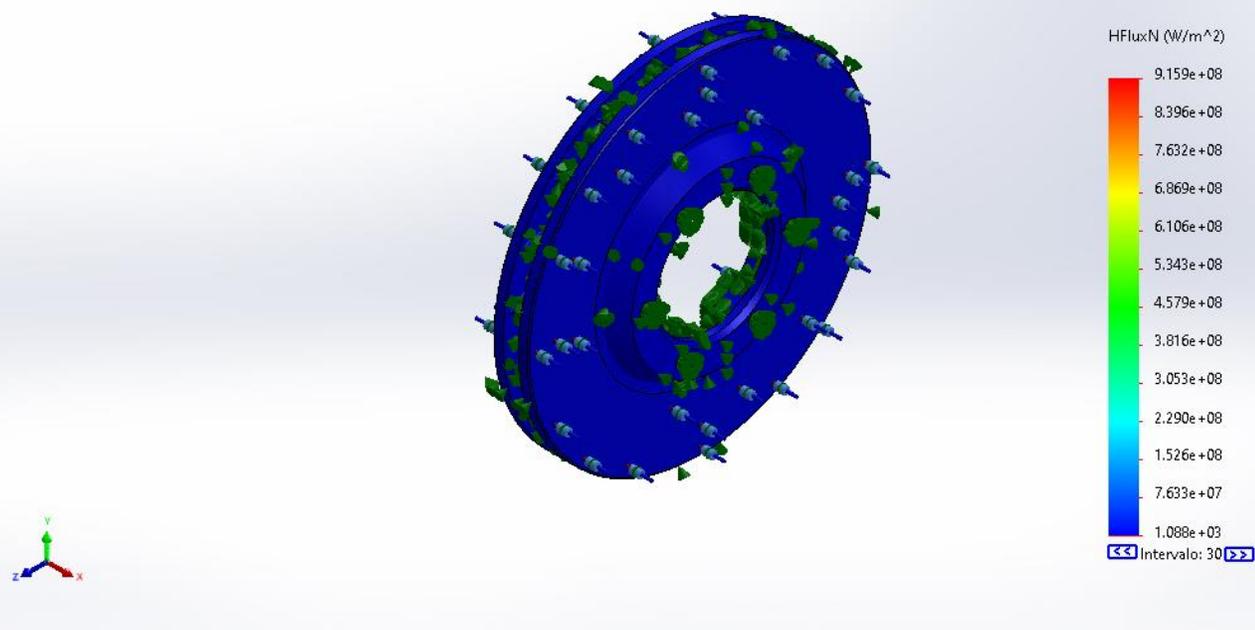
Nombre del modelo: disco2
 Nombre de estudio: Térmico1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Térmico Térmico2
 Paso de tiempo: 30 tiempo: 3 Segundos

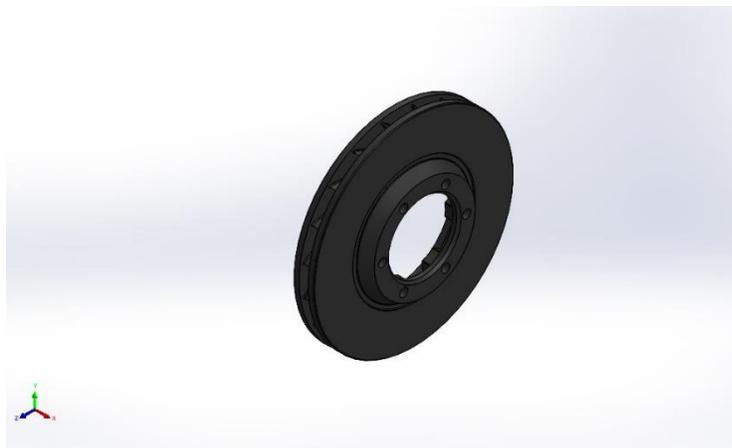


disco2-Térmico 1-Térmico-Térmico2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico3	HFLUXN: Flujo de calor resultante en paso n°: 30(9.05254e-315 Segundos)	1.088e+03W/m ² Nodo: 211941	9.159e+08W/m ² Nodo: 9473

Nombre del modelo: disco2
Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico3
Paso de tiempo: 30 tiempo: 3 Segundos





Simulación de disco2

Fecha: jueves, 3 de febrero de 2022

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

SUPOSICIONES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MODELO 124

PROPIEDADES DE ESTUDIO 125

UNIDADES 125

PROPIEDADES DE MATERIAL 126

CARGAS Y SUJECIONES 127

DEFINICIONES DE CONECTOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE CONTACTO
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MALLA 128

DETALLES DEL SENSOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

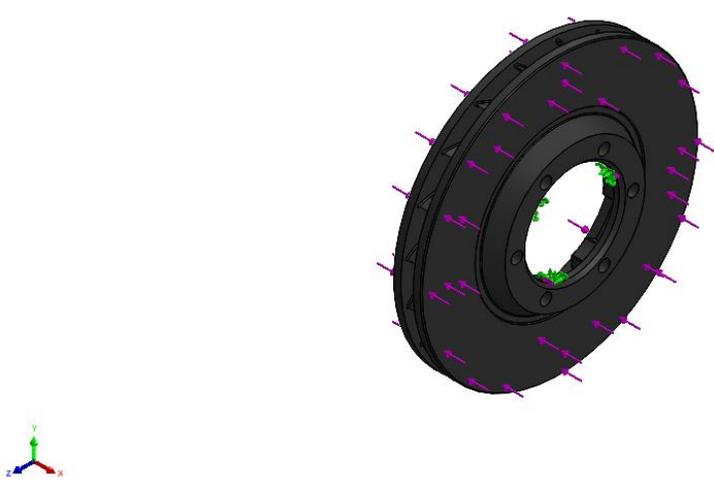
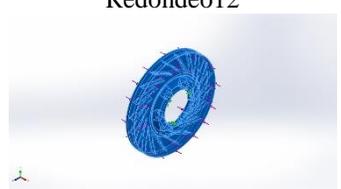
FUERZAS RESULTANTES 129

VIGAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

RESULTADOS DEL ESTUDIO 130

CONCLUSIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1 Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: disco2 Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo12 	Sólido	Masa:4.8778 kg Volumen:0.000686994 m ³ Densidad:7 100.21 kg/m ³ Peso:47.8024 N	C:\Descargas\Compressed\te 2\Disco 20 alabes\Disco 2\disco2.SLDPRT Feb 3 18:52:44 2022

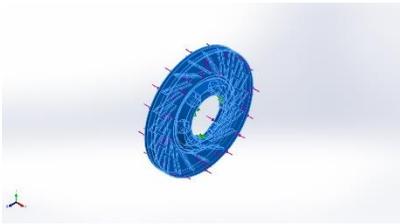
2 Propiedades de estudio

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:\Descargas\Compressed\te2\Disco 20 alabes\Disco 2)

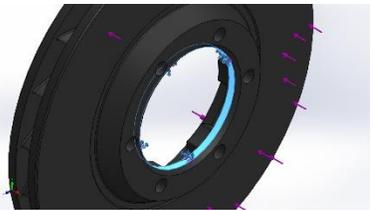
3 Unidades

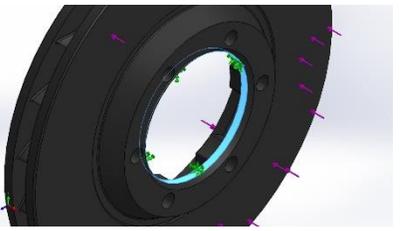
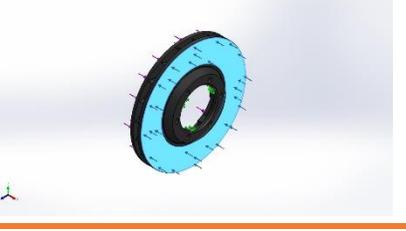
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

4 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Hierro dúctil Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 551.485 N/mm² Límite de tracción: 861.695 N/mm² Módulo elástico: 120 000 N/mm² Coeficiente de Poisson: 0.31 Densidad: 7.1 g/cm³ Módulo cortante: 77 000 N/mm² Coeficiente de dilatación térmica: </p>	<p>Sólido 1(Redondeo12)(disco2)</p>
Datos de curva:N/A		

5 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)	6.02454e-05	0.00353599	-0.00158894	0.00387706
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

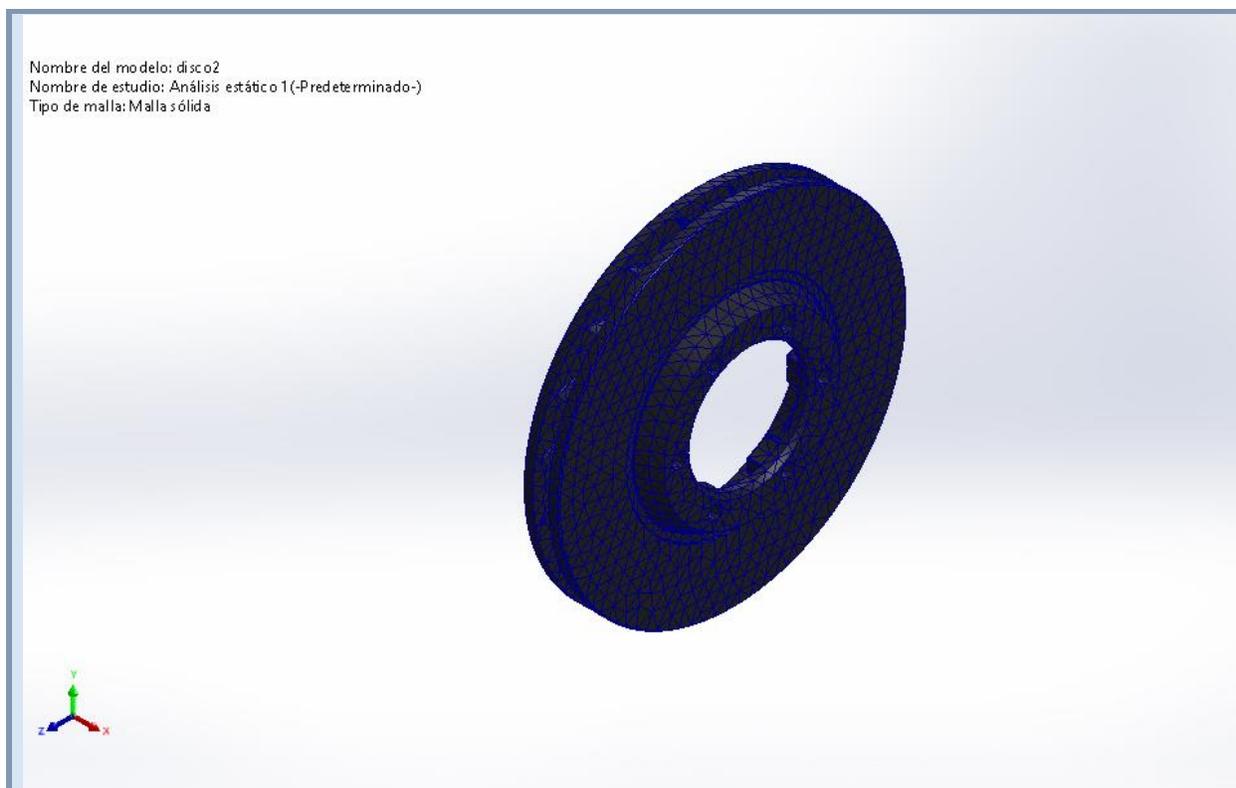
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Torsión-1		Entidades: 1 cara(s)	Tipo: Aplicar momento torsor
		Valor: 10 N.m	
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s)	Tipo: Aplicar fuerza normal
		Valor: 9 174 N	
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s)	Tipo: Aplicar fuerza normal
		Valor: 9 174 N	

6 Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	4 Puntos
Tamaño de elementos	9.29892 mm
Tolerancia	0.464946 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

6.1 Información de malla - Detalles

Número total de nodos	38845
Número total de elementos	21134
Cociente máximo de aspecto	38.141
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	55.7
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	4.54
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:35
Nombre de computadora:	LENOVO



7 Fuerzas resultantes

7.1 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	6.02454e-05	0.00353599	-0.00158894	0.00387706

7.2 Momentos de reacción

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

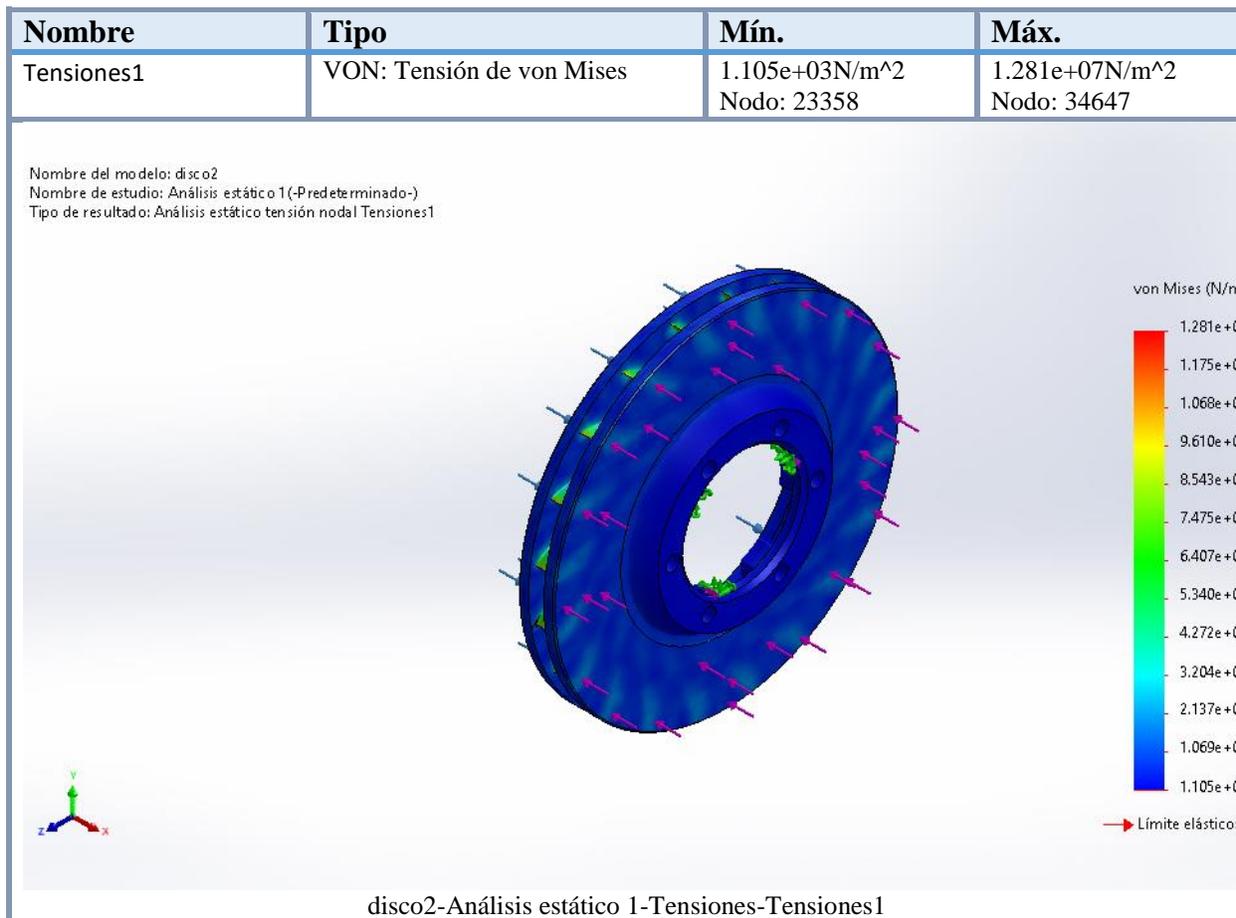
7.3 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.076363	0.0232028	-0.0748696	0.109431

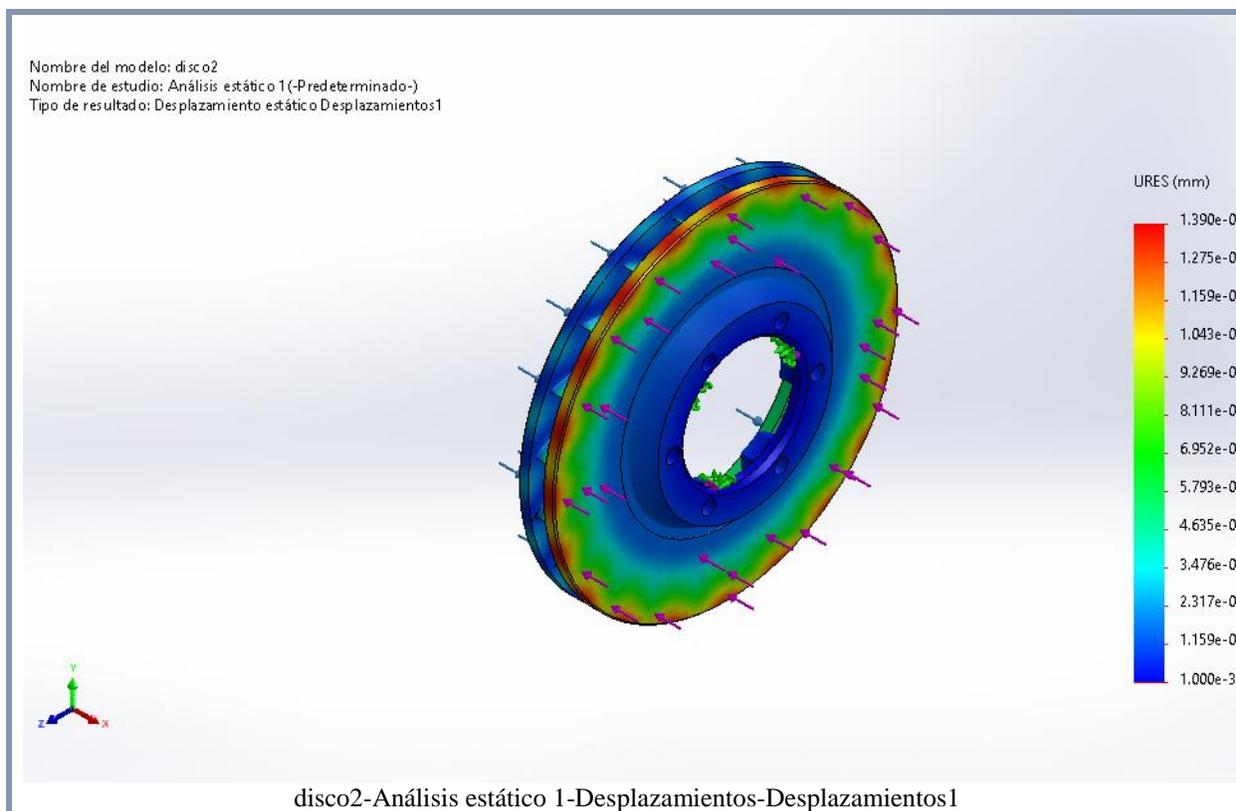
7.4 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

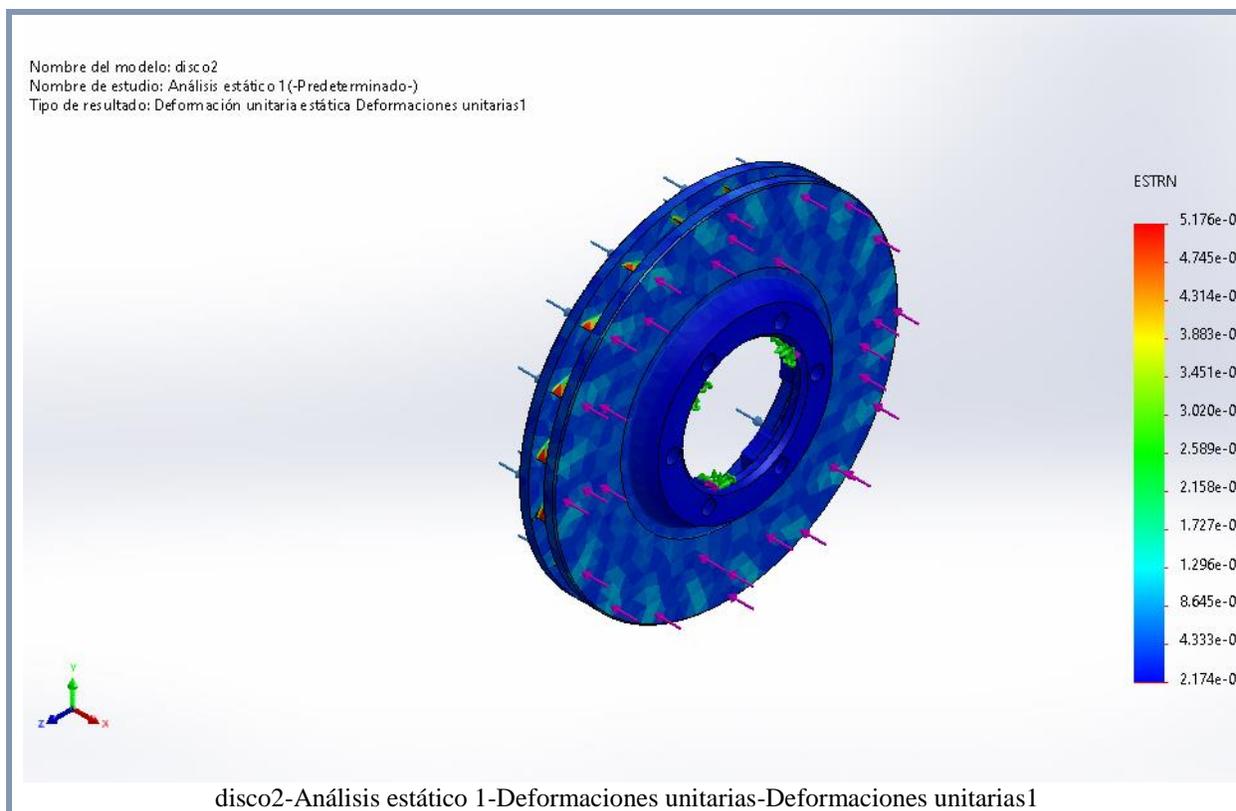
8 Resultados del estudio



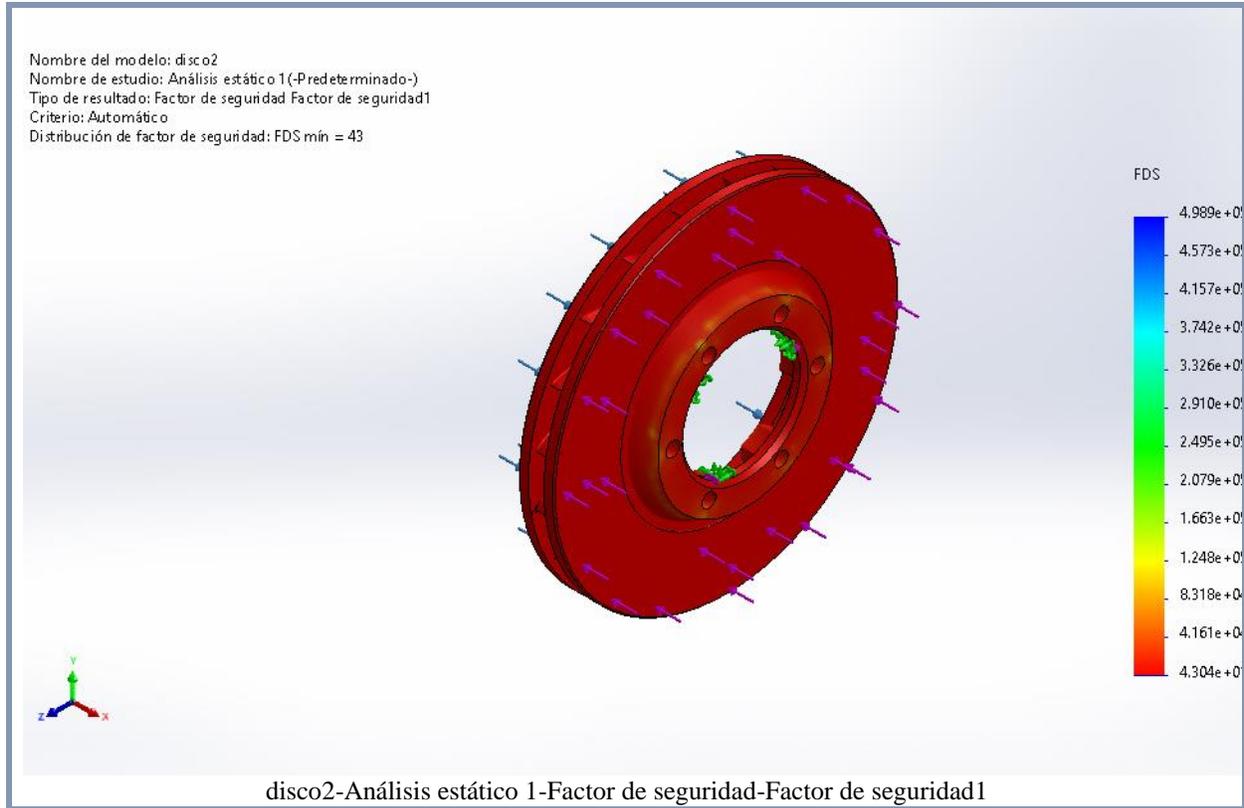
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: resultantes	Desplazamientos 0.000e+00mm Nodo: 1901	1.390e-03mm Nodo: 24772



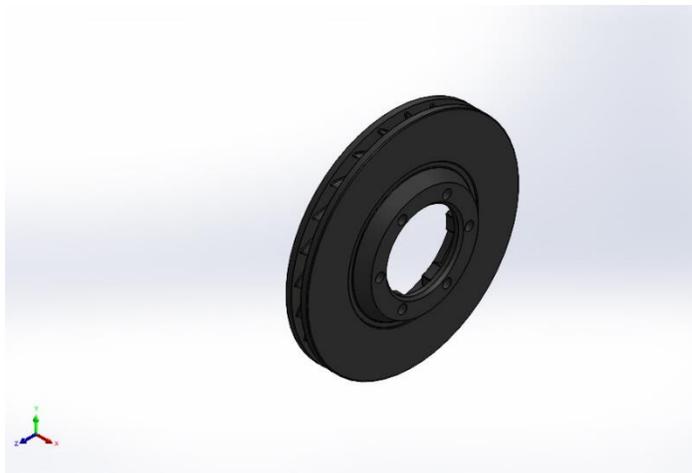
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.174e-08 Elemento: 13637	5.176e-05 Elemento: 17304



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	4.304e+01 Nodo: 34647	4.989e+05 Nodo: 23358



ANEXO 3



Simulación de disco2

Fecha: jueves, 3 de febrero de 2022

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Térmico 1

Tipo de análisis: Térmico(Transitorio)

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

SUPOSICIONES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MODELO 136

PROPIEDADES DE ESTUDIO 137

UNIDADES 137

PROPIEDADES DE MATERIAL 137

CARGAS TÉRMICAS 138

INFORMACIÓN DE CONTACTO
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

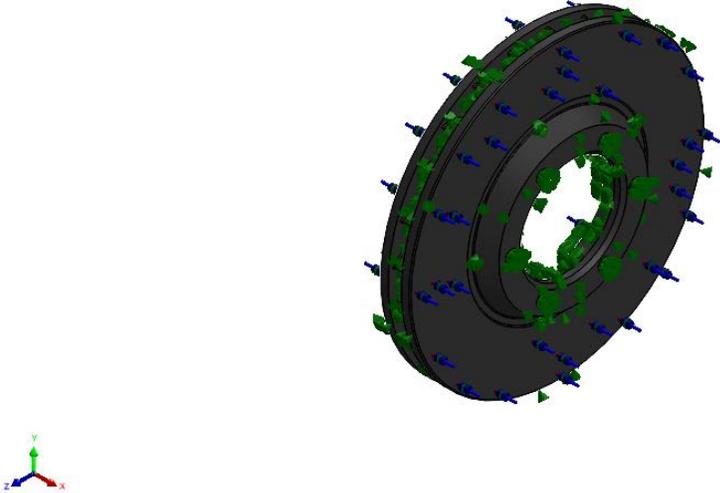
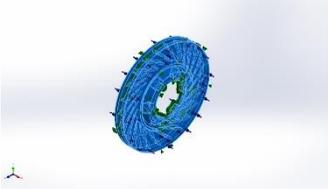
INFORMACIÓN DE MALLA 139

DETALLES DEL SENSOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

RESULTADOS DEL ESTUDIO 141

CONCLUSIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1 Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: disco2 Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo12 	Sólido	Masa:5.06405 kg Volumen:0.000713227 m ³ Densidad:7 100.2 kg/m ³ Peso:49.6277 N	Z:\Descargas\Compressed\te \Disco 24 alabes\Disco 2\disco2.SLDPRT Sep 24 17:28:14 2021

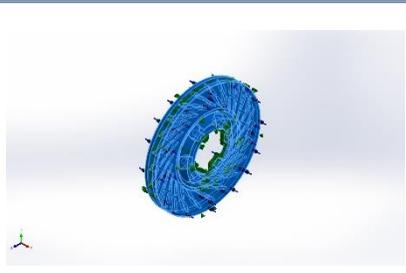
2 Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Térmico 1
Tipo de análisis	Térmico(Transitorio)
Tipo de malla	Malla sólida
Tipo de solver	FFEPlus
Tipo de solución	Transitorio
Tiempo total	3 Segundos
Incremento de tiempo	0.1 Segundos
¿Se definió la resistencia de contacto?	No
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (Z:\Descargas\Compressed\te\Disco 24 alabes\Disco 2)

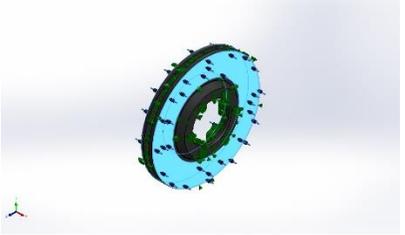
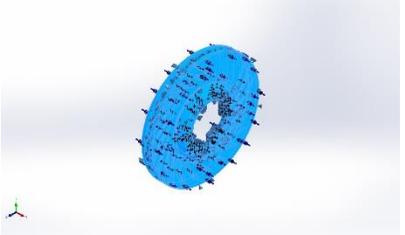
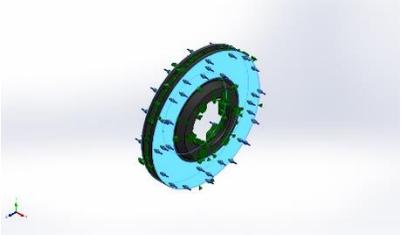
3 Unidades

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

4 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Hierro dúctil Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Conductividad térmica: 0.75 W/(cm.K) Calor específico: 107.553 Cal/(kg.C) Densidad: 7.1 g/cm ³	Sólido 1(Redondeo12)(disco2)
Datos de curva:N/A		

5 Cargas térmicas

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		Entidades: 2 cara(s) Temperatura inicial: 293 Kelvin
Convección-1		Entidades: 366 cara(s) Coeficiente de convección: 150 W/(m ² .K) Variación de tiempo: Desactivar Variación de temperatura: Desactivar Temperatura ambiente: 293 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar
Potencia calorífica-1		Entidades: 2 cara(s) Energía térmica Valor: 150000 W

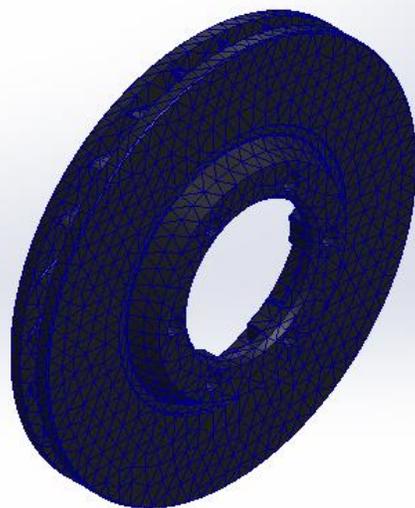
6 Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	4 Puntos
Tamaño de elementos	9.29892 mm
Tolerancia	0.464946 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

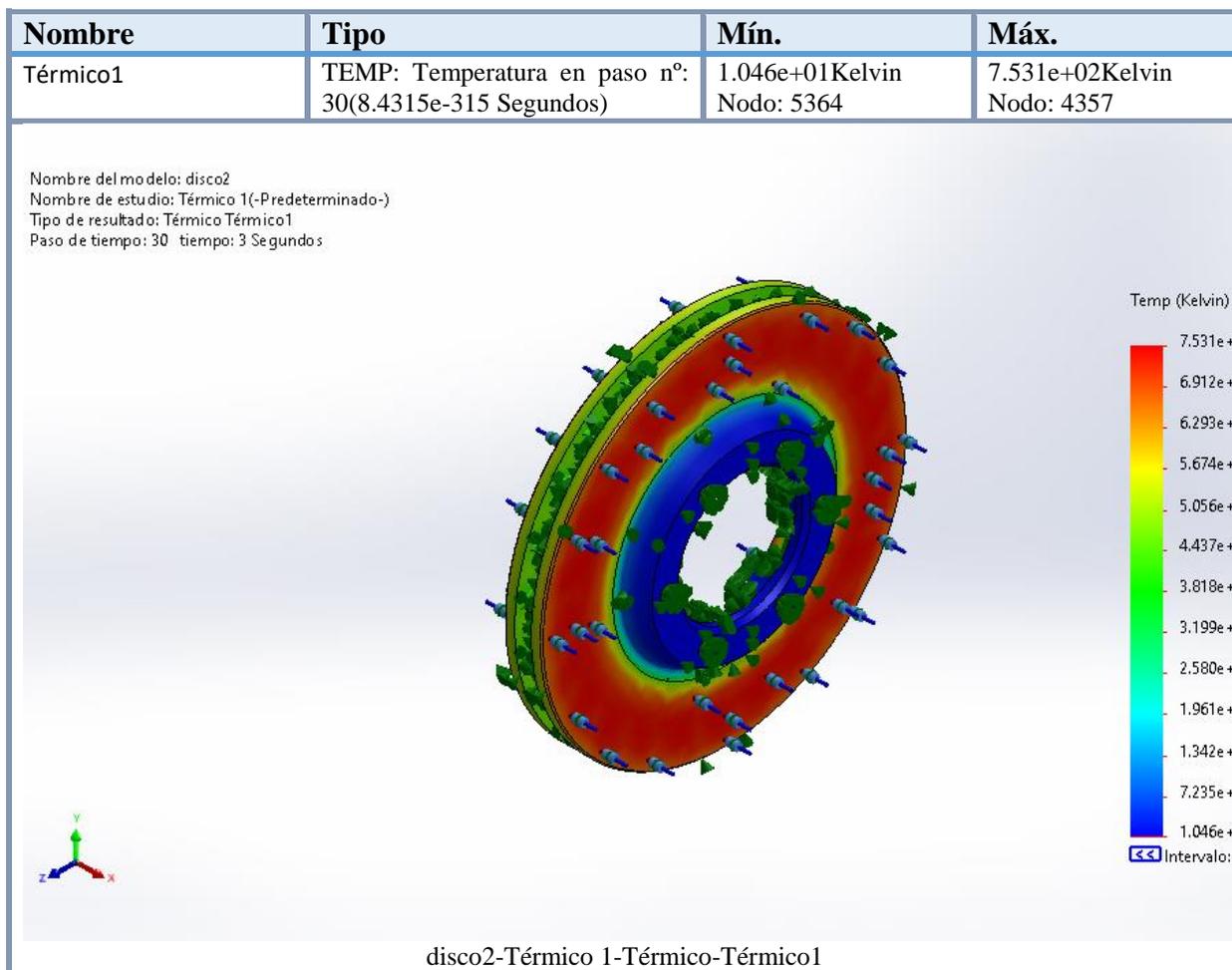
6.1 Información de malla - Detalles

Número total de nodos	39941
Número total de elementos	22072
Cociente máximo de aspecto	25.876
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	58.8
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	3.47
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:01:04
Nombre de computadora:	CASA

Nombre del modelo: disco2
Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida

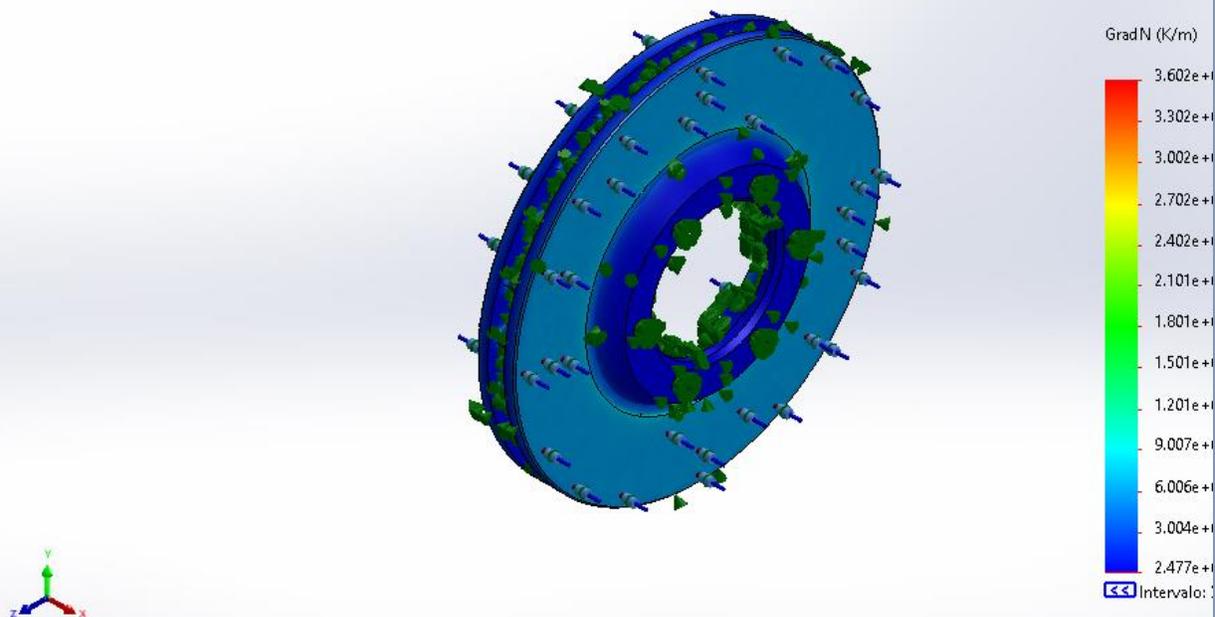


7 Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico2	GRADN: Gradiente de temperatura resultante en paso n°: 30(8.4315e-315 Segundos)	2.477e+01K/m Nodo: 18514	3.602e+05K/m Nodo: 3265

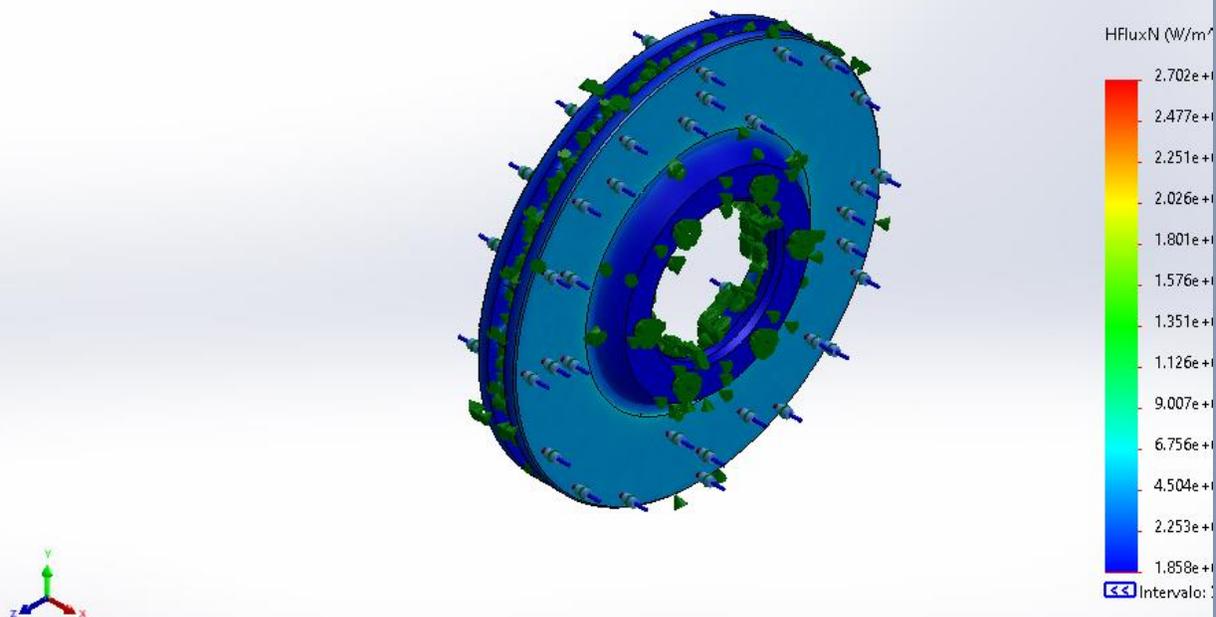
Nombre del modelo: disco2
 Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Térmico Térmico2
 Paso de tiempo: 30 tiempo: 3 Segundos



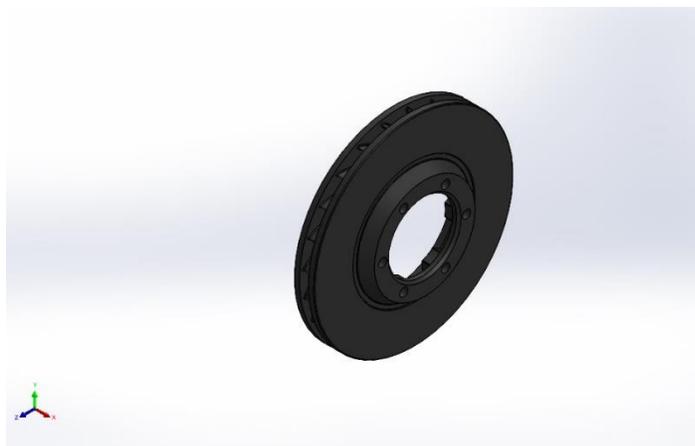
disco2-Térmico 1-Térmico-Térmico2

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Térmico3	HFLUXN: Flujo de calor resultante en paso n°: 30(8.43149e-315 Segundos)	1.858e+03W/m ² Nodo: 18514	2.702e+07W/m ² Nodo: 3265

Nombre del modelo: disco2
Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico3
Paso de tiempo: 30 tiempo: 3 Segundos



disco2-Térmico 1-Térmico-Térmico3



Simulación de disco2

Fecha: jueves, 3 de febrero de 2022

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

DESCRIPCIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

SUPOSICIONES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MODELO 145

PROPIEDADES DE ESTUDIO 146

UNIDADES 146

PROPIEDADES DE MATERIAL 147

CARGAS Y SUJECIONES 148

DEFINICIONES DE CONECTOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE CONTACTO
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INFORMACIÓN DE MALLA 149

DETALLES DEL SENSOR ¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.

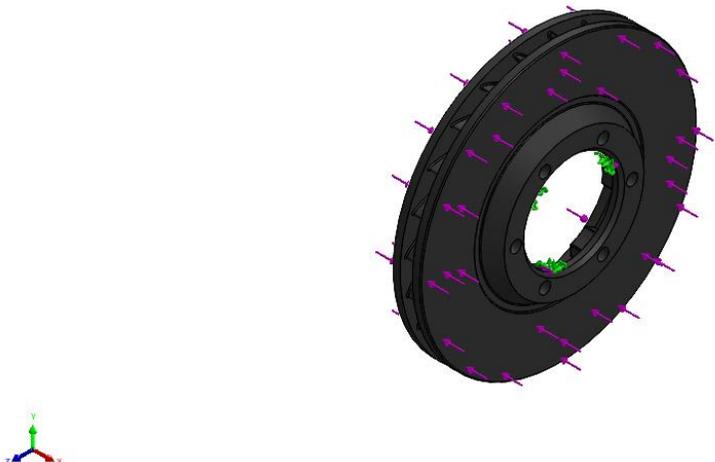
FUERZAS RESULTANTES 150

VIGAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

RESULTADOS DEL ESTUDIO 151

CONCLUSIÓN ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1 Información de modelo

			
<p>Nombre del modelo: disco2 Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo12 	Sólido	Masa:5.06405 kg Volumen:0.000713227 m ³ Densidad:7 100.2 kg/m ³ Peso:49.6277 N	C:\Descargas\Compressed\te \Disco 24 alabes\Disco 2\disco2.SLDPRT Feb 3 20:07:10 2022

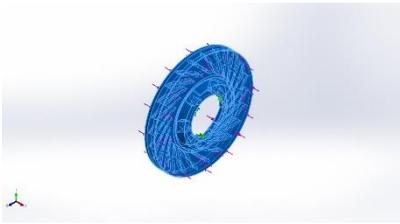
2 Propiedades de estudio

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:\Descargas\Compressed\te\Disco 24 alabes\Disco 2)

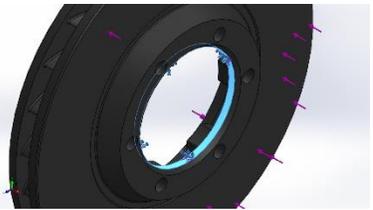
3 Unidades

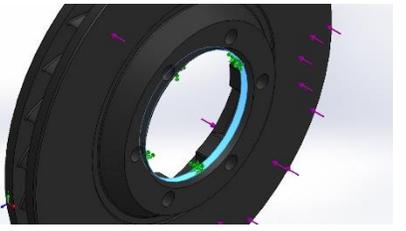
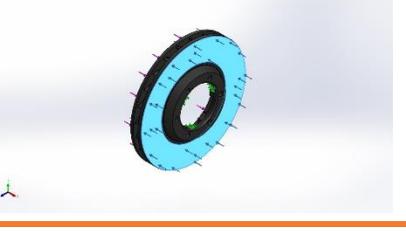
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/mm ² (MPa)

4 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Hierro dúctil Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 551.485 N/mm² Límite de tracción: 861.695 N/mm² Módulo elástico: 120 000 N/mm² Coefficiente de Poisson: 0.31 Densidad: 7.1 g/cm³ Módulo cortante: 77 000 N/mm² Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-05 /Kelvin </p>	<p> Sólido 1(Redondeo12)(disco2) </p>
Datos de curva:N/A		

5 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)	-0.000732325	0.00270522	-0.00102448	0.00298397
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

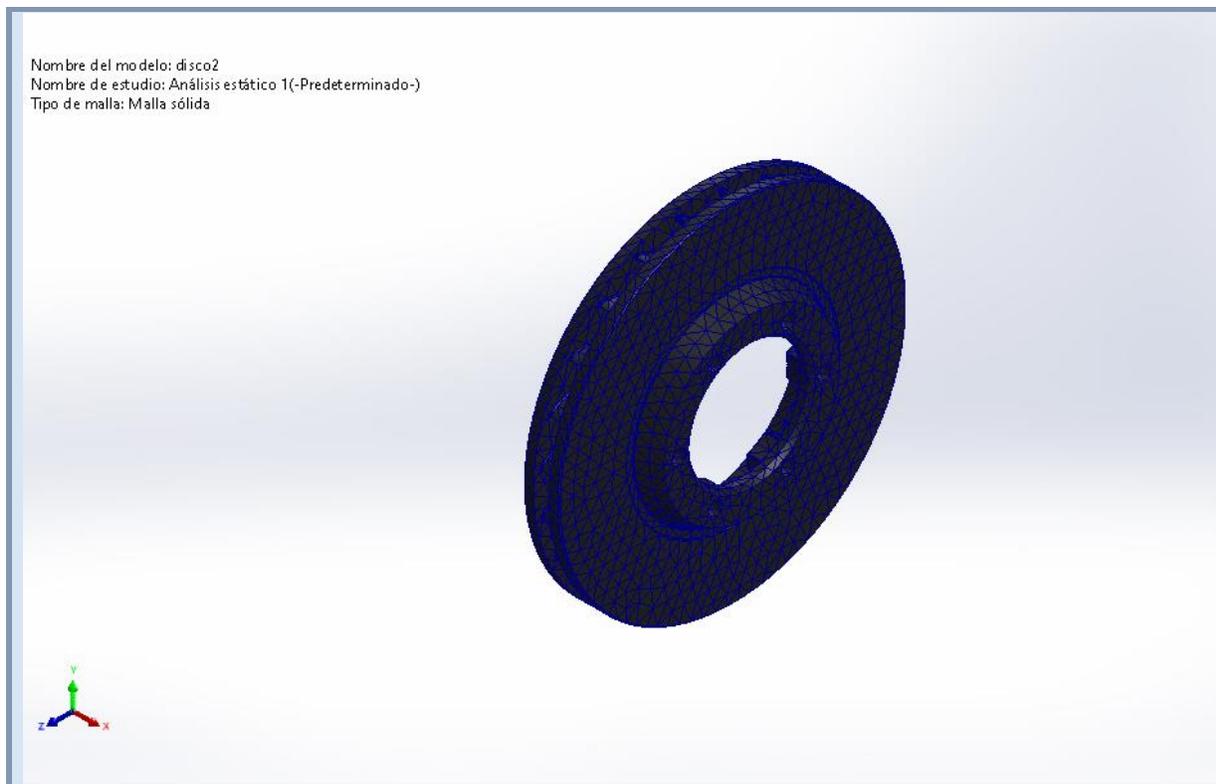
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Torsión-1		Entidades: 1 cara(s) s: Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 10 N.m	
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 9 174 N	
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 9 174 N	

6 Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	4 Puntos
Tamaño de elementos	9.29892 mm
Tolerancia	0.464946 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

6.1 Información de malla - Detalles

Número total de nodos	39941
Número total de elementos	22072
Cociente máximo de aspecto	25.876
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	58.8
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	3.47
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:01:30
Nombre de computadora:	LENOVO



7 Fuerzas resultantes

7.1 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.000732325	0.00270522	-0.00102448	0.00298397

7.2 Momentos de reacción

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

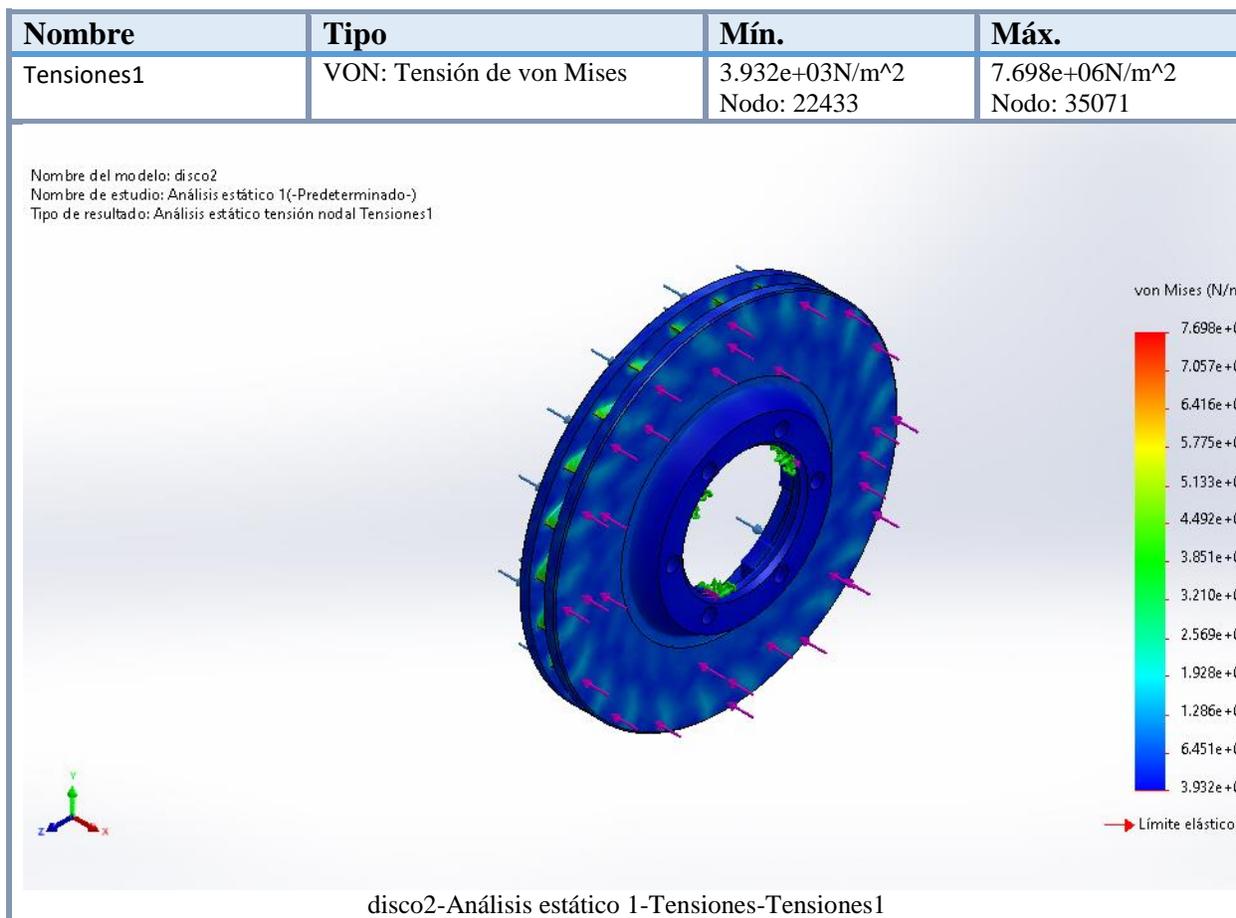
7.3 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.0537127	0.067497	0.0383421	0.0943982

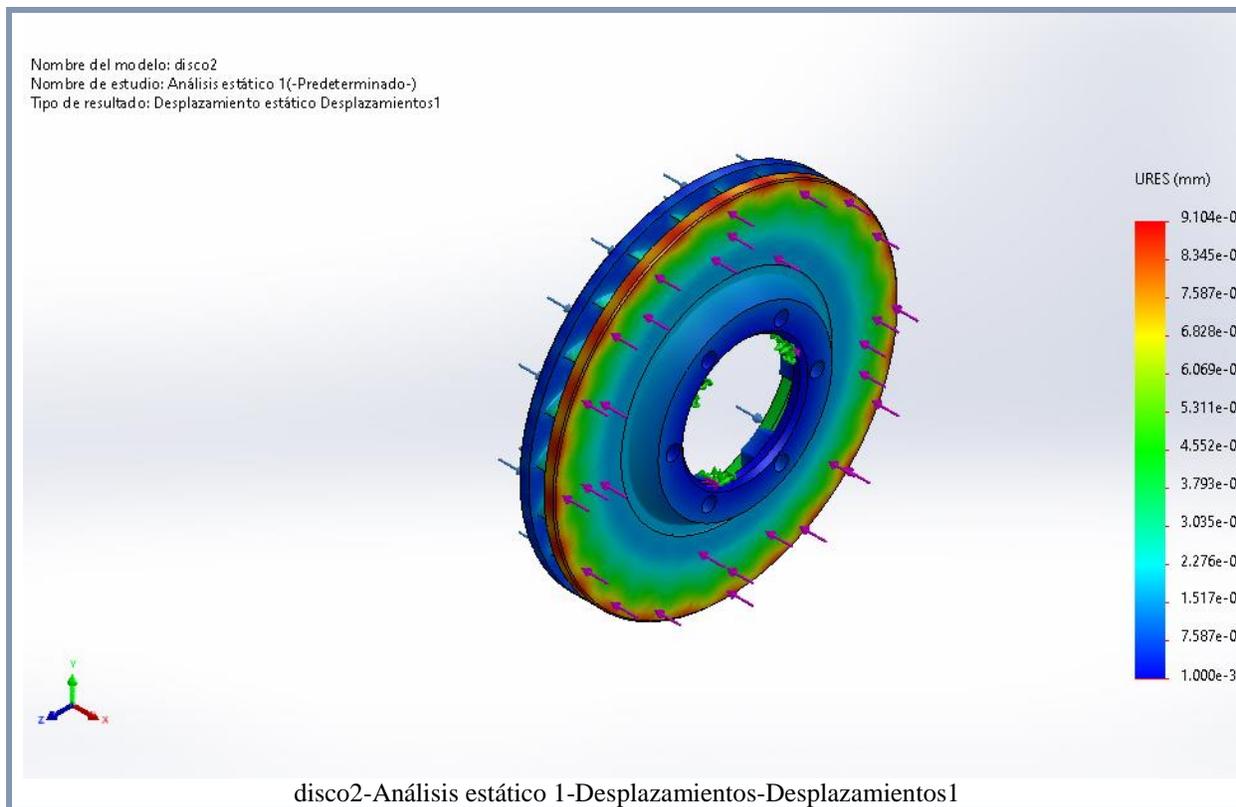
7.4 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

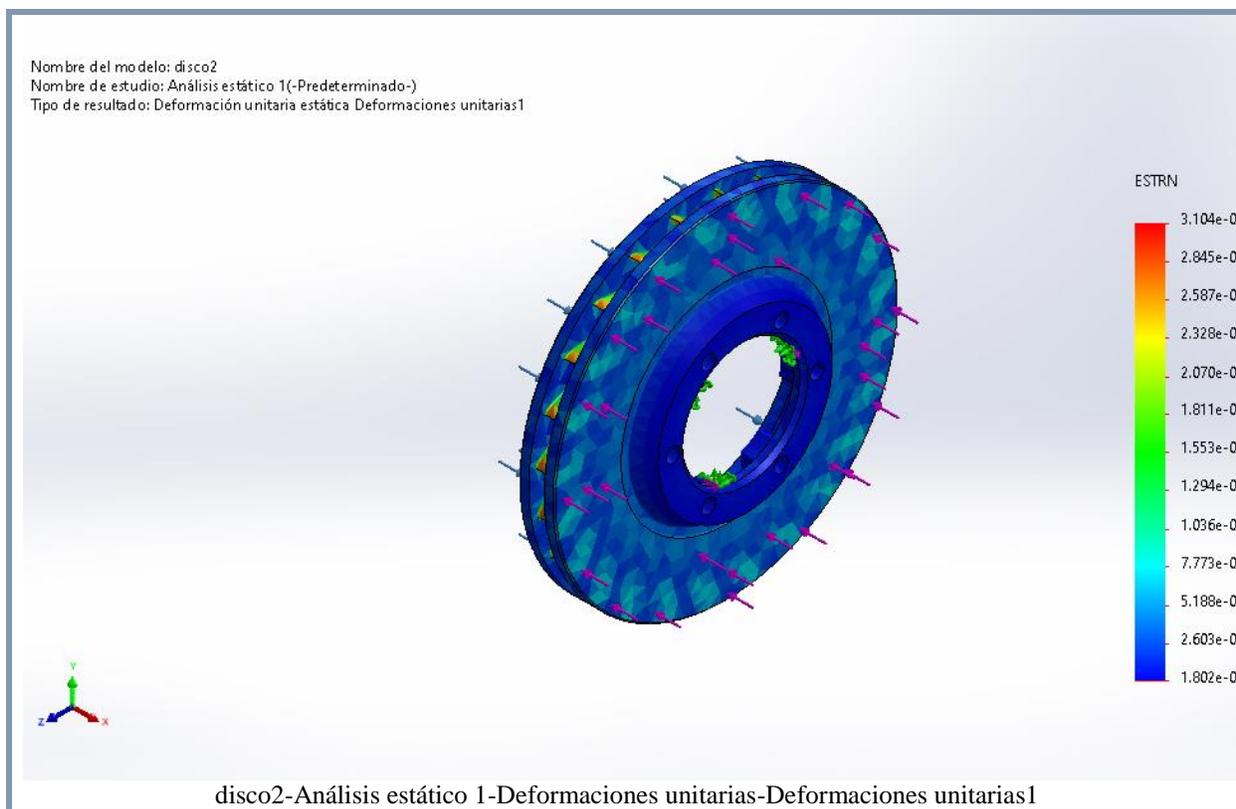
8 Resultados del estudio



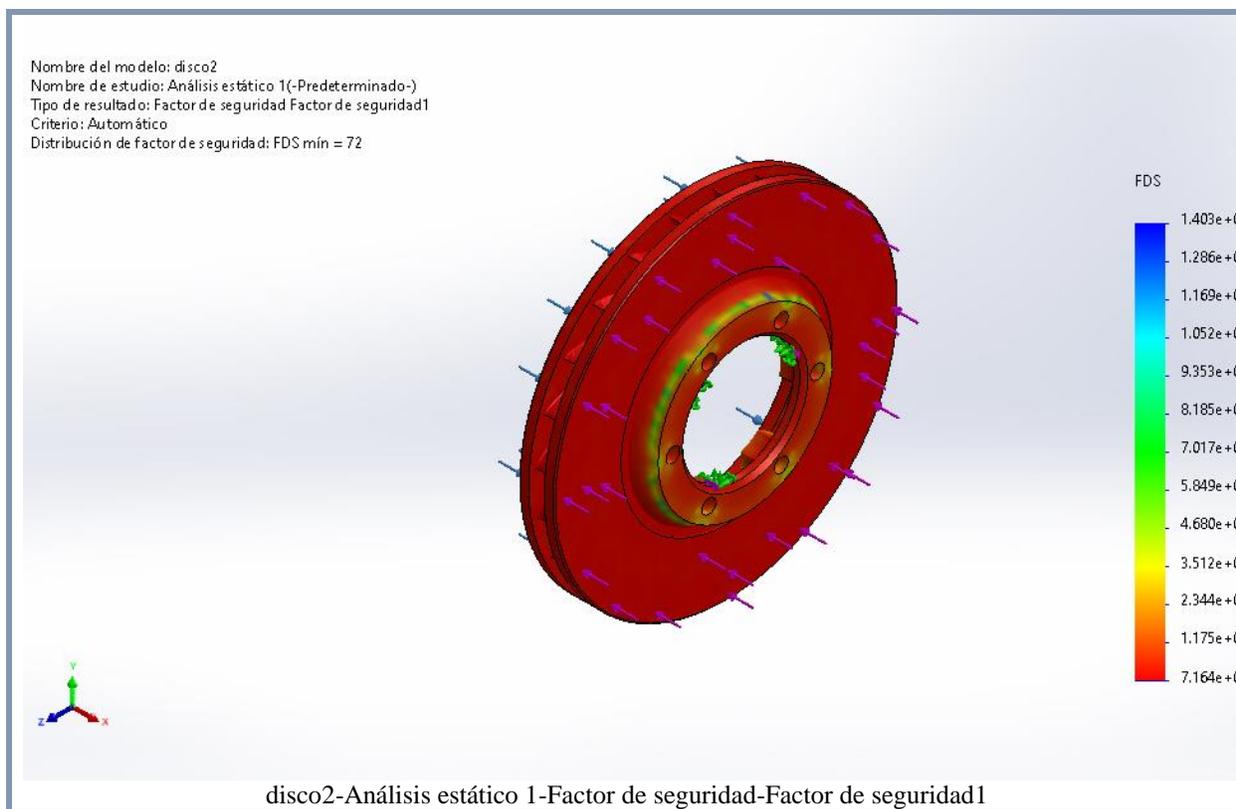
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 2159	9.104e-04mm Nodo: 2285



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.802e-08 Elemento: 11630	3.104e-05 Elemento: 18815



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	7.164e+01 Nodo: 35071	1.403e+05 Nodo: 22433



ANEXO 4



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 499:2009

FUNDICIÓN NODULAR (HIERRO DÚCTIL). REQUISITOS.

Primera Edición

NODULAR CASTING (DUCTILE IRON). REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Metalurgia, productos de hierro y acero, hierro dúctil, requisitos.
MC: 00.00-405
CDU: 600.131.7
CIIU: 3019
ICS: 77.140.00

TABLA 2. Requerimientos de tensión para aplicaciones especiales

	GRADO		
	60-42-10	70-50-05	80-60-03
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	415	485	555
Límite de fluencia mínimo (MPa)	290	345	415
Elongación en 50 mm mínimo %	10	5	3,0

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Información requerida para los pedidos

5.1.1 Las órdenes para material bajo esta norma deberán incluir la siguiente información:

5.1.1.1 Número de NTE INEN de referencia.

5.1.1.2 Grado requerido de hierro nodular (ver tabla 1, numeral 6.1 y Anexo B).

5.1.1.3 Propiedades especiales, en caso se requieran (ver numeral 7.1).

5.1.1.4 Si se requiere un número diferente de muestras.

5.1.1.5 En caso se requiera Certificación (ver numeral 9.3).

5.1.1.6 En caso se requiera preparación especial para despacho (ver numeral 7.4).

5.2 En relación a las propiedades del hierro. No se debe establecer ninguna relación cuantitativa entre los diferentes sitios de la pieza fundida y de aquellas muestras tomadas del mismo hierro (ver Anexo A.1).

6. REQUISITOS

6.1 Específicos

6.1.1 Mecánicos

6.1.1.1 El hierro representado por la prueba de las muestras será de conformidad a los requerimientos según las propiedades de tensión presentadas en las tablas 1 y 2. Los hierros listados en la tabla 1 cubren los de uso general, mientras que los listados en la tabla 2 son utilizados para aplicaciones especiales (tuberías, accesorios, etc.).

6.1.1.2 El límite de fluencia deberá ser determinado con una desviación del 0,2% de acuerdo al método de desviación de norma ASTM E8. Otros métodos pueden ser utilizados por mutuo acuerdo entre el fabricante y el comprador.

6.1.2 Químicos. El propósito de esta norma es subordinar la composición química a las propiedades mecánicas; sin embargo, cualquier requisito químico puede ser especificado por acuerdo entre el fabricante y el comprador y/o usuario. (Ver Anexo B).

6.1.3 Tratamiento térmico

6.1.3.1 El grado 60-40-18 normalmente requerirá revenido para una total ferritización.

(Continúa)

6.1.3.2 Los grados 120-90-02 y 100-70-03 generalmente requieren templeado por inmersión y revenido, o un normalizado y revenido, o un tratamiento isotérmico.

6.1.3.3 Los otros dos grados pueden ser obtenidos tal cual salen de la fundición o con tratamiento térmico.

6.1.3.4 El hierro nodular que ha sido tratado al calor por inmersión para obtener martensita y temperado puede tener una resistencia a la fatiga sustancialmente menor en relación al material que sale tal cual de la fundición con una misma dureza

6.1.4 Dimensionales

6.1.4.1 Las piezas fundidas deben ajustarse a las dimensiones entregadas en los planos por el comprador y/o usuario, o si no hay planos, a las dimensiones estipuladas por el equipo representante del comprador y/o usuario.

6.1.4.2 El método de ensayo utilizado para verificar los requisitos dimensionales es responsabilidad del fabricante.

FIGURA 1. Bloque de quilla para probetas de ensayo

La longitud del bloque de quilla será de (152 mm)

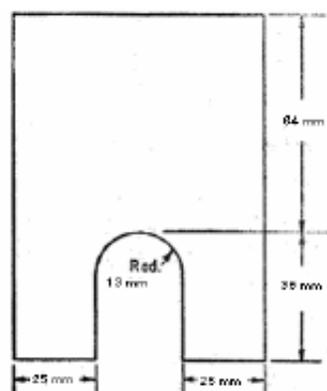
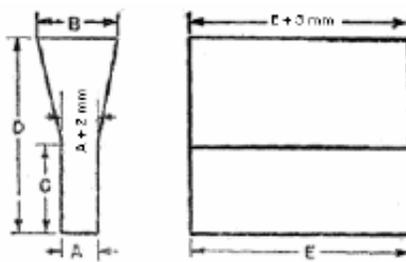


FIGURA 2. Bloque "Y"



(Continúa)

TAMAÑO DE BLOQUE "Y"			
DIMENSIÓN	Para espesores de piezas fundidas menores a 13 mm	Para espesores de piezas fundidas entre 13 mm y 38 mm	Para espesores de piezas fundidas mayores a 38 mm
A	13	25	75
B	40	54	125
C	50	75	100
D	100	150	200
E	175	175	175
	aprox.	aprox.	aprox.

6.1.4.3 Probetas para ensayo

- Las muestras fundidas separadamente son maquinadas para obtener las probetas para los ensayos de tracción y deberán ser fundidas según el tamaño y forma indicados en la figura 1 o figura 2.
- Un bloque de quilla modificado, fundido del molde mostrado en la Figura 3 puede ser sustituido por el bloque tipo Y de 25 mm o por el bloque tipo quilla de 25 mm.
- Las probetas para ensayos serán fundidas en moldes abiertos con arena apropiada para machos.
- Las probetas de ensayo deben permanecer en el molde hasta que se hayan enfriado y presenten un color negro (aproximadamente 482 °C o menos).
- El tamaño de la muestra fundida que representa las piezas fundidas será seleccionado por el comprador, caso contrario el fabricante efectuará la selección.

6.1.4.4 Cuando se realicen piezas fundidas con especificaciones más estrictas, el fabricante podrá utilizar probetas de ensayo de fundición incorporadas en el molde con la pieza de fundición, o fundir separadamente utilizando el mismo tipo de molde y las mismas condiciones de temperatura que se utilizó para la producción de las piezas de fundición. Estas probetas de ensayo serán hechas de acuerdo a las dimensiones ilustradas en la figura 1 de la norma ASTM A 732/A 732 M o figuras 5 de los métodos de ensayo y definiciones de la Norma ASTM A 370.

6.1.4.5 El fabricante podrá utilizar probetas de ensayo fundidas separadamente o probetas de ensayo cortadas de la pieza fundida, cuando las piezas fundidas hechas según esta norma sean nodulizadas o inoculadas en el molde.

6.1.4.6 Las probetas de ensayos fundidos separadamente tendrán una composición química, que sea representativa de las piezas fundidas, producidas de la cuchara de colado y con una tasa de enfriamiento equivalente a la obtenida con los moldes de ensayo ilustrados en las figuras 1 y 2, figuras de 4 a 5, o en el Anexo A.2.

6.1.4.7 El tamaño (tasa de enfriamiento) de la probeta escogida para representar las piezas de fundición, debería ser decidido por el comprador. Si el tamaño de la probeta de ensayo no está determinado, el fabricante lo seleccionará.

6.1.4.8 Cuando las barras de ensayo vayan a ser cortadas de las piezas de fundición, la ubicación de dichas barras será de mutuo acuerdo entre el comprador y el fabricante y, será indicado en los planos de la pieza de fundición.

6.1.4.9 El fabricante mantendrá suficientes controles y documentación de control para asegurar al comprador que las propiedades determinadas en las probetas de ensayo o en las barras de ensayo son representativas de las piezas fundidas enviadas.

(Continúa)

6.1.4.10 Las probetas de ensayo serán coladas de la misma cuchara o colada de las piezas de fundición que representan.

6.1.4.11 Las probetas estarán sujetas al mismo tratamiento térmico que las piezas de fundición a la que representan.

FIGURA 3. Molde para bloque de quilla modificado

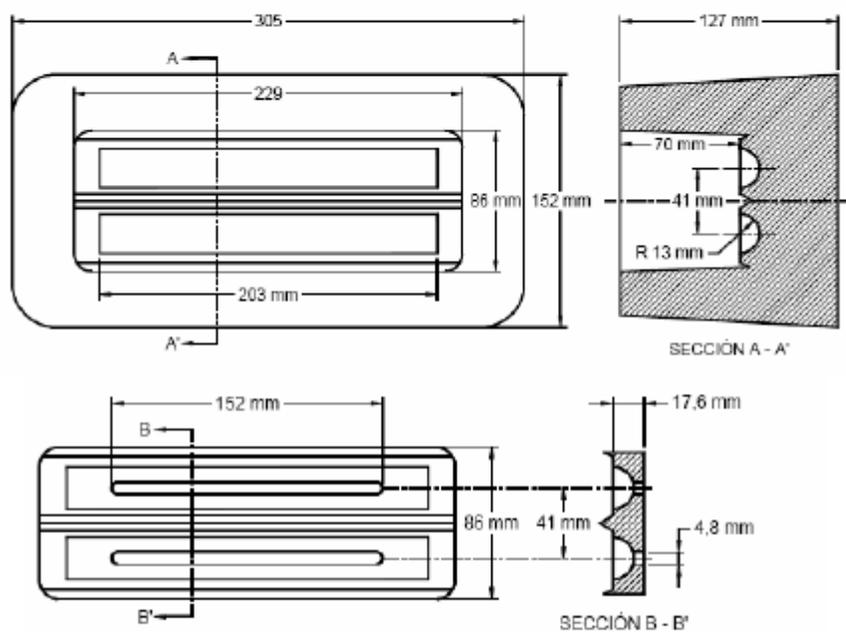
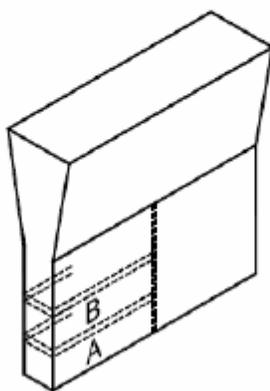


FIGURA 4. Procedimiento de seccionamiento para bloques "Y"

FIGURA 4 a) Bloque de 12.7 mm en forma de "Y". Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 6.40 mm



(Continúa)

FIGURA 4 b) Bloque de 25.4 mm en forma de "Y". Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 12.7 mm.

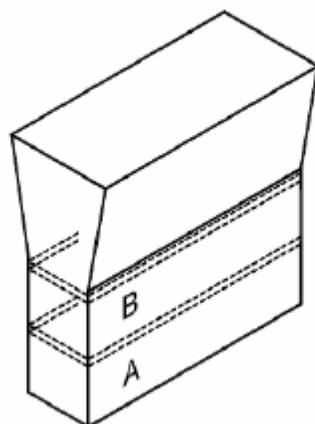
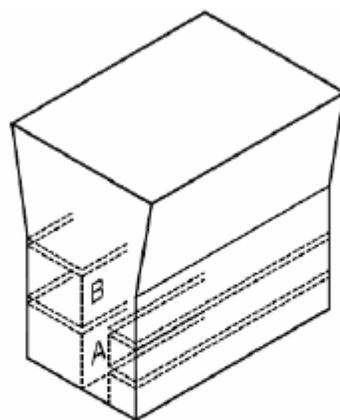


FIGURA 4 c) Bloque de 76.2 mm en forma de "Y". Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 12.7 mm



(Continúa)

FIGURA 5

FIGURA 5 a) Muestra normalizada maquinada, para el ensayo de tensión, con una longitud de referencia de 50mm, y

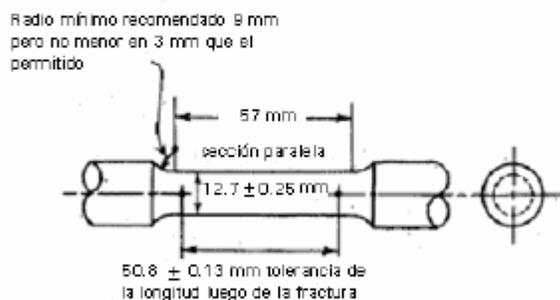
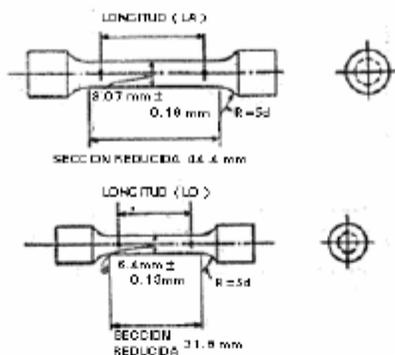


FIGURA 5 b) ejemplos de muestras pequeñas proporcionales a la muestra normalizada (*).



7. REQUERIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

7.1 Cuando se especifique en el contrato o en la orden de compra, las piezas de fundición cumplirán con requerimientos especiales tales como dureza, composición química, micro estructura, resistencia a la presión, pruebas radiográficas, inspección por partículas magnéticas y el acabado superficial.

7.2 Acabado

7.2.1 Las piezas fundidas tendrán un buen acabado, libre de defectos peligrosos y estarán en concordancia con las dimensiones del diseño o modelo entregado por el comprador

* La longitud de calibre y los filetes serán como se ilustra pero los extremos podrán ser de cualquier forma como para calzar las mordazas de la máquina de ensayo de tal manera que la carga sea axial. La sección reducida tendrá una conicidad gradual desde los extremos hacia el centro, siendo los extremos (0,08 a 0,13 mm) más largo en diámetro que el centro.

(Continúa)

7.2.2 Las piezas fundidas no deberán presentar esquinas o centros endurecidos en las áreas a ser mecanizadas

7.3 Rotulado

7.3.1 *Identificación de producto.* Cuando el tamaño de las piezas fundidas lo permita, cada una de las piezas debe tener la marca de identificación del fabricante, y el número de parte o modelo y matriz, realizados en alto o bajo relieve, y estará en un lugar indicado en los planos.

7.4 Almacenaje y entrega

7.4.1 *Preparación para la entrega.* A menos que por otra parte se especifique en el contrato u orden de compra, la limpieza, secado, preservación, y empaquetamiento estará de acuerdo con la práctica comercial del fabricante. El empaque y marcado serán de manera adecuada para asegurar la aceptación y la entrega segura de acuerdo al modo de transporte empleado.

7.4.2 Para adquisiciones gubernamentales – Se preferirá la producción nacional que cumpla con esta norma.

8. INSPECCIÓN

8.1 A menos que se especifique de otra manera en el contrato u orden de compra, el fabricante es el responsable de desarrollar todos los ensayos e inspecciones requeridas por esta norma, usando sus propias u otras instalaciones fiables, y mantendrá registros completos de dichos ensayos e inspecciones. Tales registros estarán disponibles para ser revisados por el comprador.

8.2 Se exceptúa cuando se solicita en el contrato, el proveedor puede usar su propio o cualquier medio conveniente para comprobar los requisitos de la inspección especificada en esta norma, a menos que el comprador no este de acuerdo.

8.3 El comprador se reserva el derecho de efectuar cualquiera de las inspecciones expuestas en la norma en el lugar donde estime necesario, para asegurar que los suministros y servicios estén conforme a los requerimientos de esta norma.

9. MUESTREO

9.1 Un lote debe ser definido por uno de los siguientes criterios:

9.1.1 El metal colado de un horno y del mismo proceso de calentamiento.

9.1.2 El metal proveniente de dos o más hornos combinados en una sola cuchara ó destinado a una única pieza.

9.2 **Numero de ensayos y re-ensayos.**

9.2.1 El ensayo de tracción debe realizarse en concordancia con la NTE INEN 109.

9.2.2 En el caso del bloque Y, la sección se cortará del bloque como se muestra en la figura 4. Si cualquier espécimen de prueba de tensión muestra defectos obvios, puede cortarse otro del mismo bloque de prueba o de otro bloque de prueba que represente al mismo metal.

9.3 **Certificación**

9.3.1 Llegado a un acuerdo o convenio por escrito entre el comprador y/o usuario y el vendedor, una certificación se hará en base a la aceptación del material. Esto consistirá en una copia del informe de prueba del fabricante y una declaración por el vendedor, acompañado por una copia de los resultados de la prueba en que el material ha sido tomado, probado e inspeccionado de acuerdo con las especificaciones. Cada certificación deberá ser firmada por un agente autorizado del vendedor y fabricante

(Continúa)

ANEXO A

(Información no obligatoria)

A.1 Propiedades mecánicas de las fundiciones

A.1.1 Las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro están influenciadas por la velocidad de enfriamiento durante y después de la solidificación, por la composición química, por tratamientos térmicos, por el diseño y clase del molde, por la localización y eficacia de las entradas y vaciaderos, y por algunos otros factores.

A.1.2 La velocidad de enfriamiento y, por lo tanto, las propiedades que se desarrollan en una sección en particular están influenciadas por la presencia de machos, enfriadores, insertos y retardadores, por cambios en el espesor de la sección, y la presencia de protuberancias, proyecciones, e intersecciones, tales como juntas de nervaduras y protuberancias. Debido a la interacción de estos factores, ninguna relación cuantitativa precisa puede ser establecida entre las propiedades del hierro en varias partes de una misma fundición o entre las propiedades de la fundición y las de una muestra de fundición del mismo hierro. Cuando una relación tal como esa es importante y debe ser conocida para una aplicación específica, pudiera ser más cercana a la verdad, una apropiada experimentación.

A.1.3 Cuando no hay disponibilidad de información confiable sobre la relación entre las propiedades de una fundición y las de una muestra de prueba separada, y donde la experimentación pudiera ser impracticable, el tamaño de la prueba de fundición debe ser seleccionada de modo de aproximar la velocidad de enfriamiento a la de la sección de la fundición que se está controlando.

A.2 Selección del bloque Y

A.2.1 Como una guía general para la selección del Bloque-Y apropiado, los datos de la tabla A.1 basados en velocidades de enfriamiento, muestran, para varios tipos de bloques de prueba, las formas de equivalentes geométricos con varias dimensiones.

TABLA A.1. Geometría equivalente formas correspondientes para bloques Y

Bloque Y tamaño mm	Placa infinito espesor mm	Diámetro mm	Cubo mm
(12,7)	(12,7)	(30,5)	(44,4)
(25,4)	(22,9)	(44,4)	(69,8)
(76,2)	(40,6)	(78,7)	(121,9)

(Continúa)

ANEXO B

Una guía para la composición química de cada tipo de hierro gris, dependiendo de su espesor se puede observar en la tabla B.1.

TABLA B.1. Composición química de los tipos de hierros grises dependiendo de su espesor

Composición (%)	GRADO				
	42-10	45-12	55-06	70-03	90-02
Carbono (C)	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 -3,6	2,7 -3,6	> 3,4
Silicio (Si)	1,3 - 2,4	1,3 - 2,4	1,3 -2,4	1,1 -2,2	1,1 -2,2
Manganeso (Mn)	0,2 - 0,4	0,3 - 0,6	0,5 -0,7	0,6 -0,8	0,6 -0,8
Magnesio (Mg)	0,02- 0,08	0,02 - 0,08	0,02-0,08	0,02-0,08	0,02-0,08

NOTA 1. La cantidad permisible de los siguientes elementos son respectivamente P \leq 0,1%, S \leq 0,02%

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109	<i>Ensayo de tracción para materiales metálicos. Primera revisión</i>
Norma ASTM A 370	<i>Métodos de prueba y definiciones para Ensayos mecánicos de productos de aceros.</i>
Norma ASTM A 644	<i>Terminología Relacionada con Piezas Fundidas de Hierro.</i>
Norma ASTM A 732/A 732 M	<i>Especificaciones para Piezas Fundidas, Inversiones, carbono y Aceros de Baja Aleación para Aplicaciones Generales, y Aleaciones de Cobalto para Alta Resistencia a Elevadas temperaturas.</i>
Norma ASTM E 8	<i>Métodos de Ensayos de Tracción para Materiales Metálicos.</i>

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma ASTM A 536-84 M: 2003. *Standard Specification for Ductile Iron Casting.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2003.

