

Diseño de un Módulo de Aprendizaje Básico sobre el Software ANSYS para Promover el
Desarrollo de Habilidades en el Uso de Herramientas CAD CAE en los Estudiantes de Ingeniería
Metalúrgica de la UIS

Jose Manuel Palma Muñoz

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Metalúrgico

Directora

Viviana Raquel Güiza Argüello
PhD en Ingeniería Química

Codirector

Jeferson Owaldo Ruiz Lizarazo
MSc en Ingeniería de Materiales

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales
Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander (UIS) por brindarme la formación académica que me permitió desarrollar distintas habilidades éticas e intelectuales.

A mi directora Viviana Raquel Güiza Argüello por permitirme llevar a cabo este proyecto y brindarme el acompañamiento profesional que influyó significativamente en mi formación académica y en mi desarrollo personal a lo largo de mi carrera.

A la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, así como al cuerpo docente y administrativo, por su dedicación y paciencia al momento de brindarme las herramientas necesarias para conseguir mi titulación.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Objetivos	10
1.1 Objetivo General	10
1.2 Objetivos Específicos.....	10
2. Marco Rerencial	11
2.1 Modelamiento y simulación.....	11
2.2 ANSYS	11
3. Metodología	14
3.1 Búsqueda de información en la web	14
3.2 Autoaprendizaje del software ANSYS	15
3.3 Selección de problemas aplicados a la ingeniería metalúrgica	15
3.4 Diseño de videotutoriales.....	15
4 Resultados.....	16
4.1 Búsqueda de la información en la web	16
4.2 Autoaprendizaje del software ANSYS	16
4.3 Selección de problemas aplicados a la ingeniería metalúrgica	22
4.4 Diseño de videotutoriales.....	25
4.5 Diseño del módulo de aprendizaje en la plataforma YouTube.....	25

5 Conclusiones	29
Referencias bibliográficas.....	31
Apéndices.....	33

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Página web oficial del software ANSYS</i>	17
Figura 2. <i>Página web del software ANSYS</i>	17
Figura 3. <i>Página web de descarga del software ANSYS</i>	18
Figura 4. <i>Página web de descarga del software ANSYS</i>	18
Figura 5. <i>Interfaz inicial de Discovery AIM Student</i>	20
Figura 6. <i>Intefaz gráfica de trabajo en Discovery AIM Student</i>	20
Figura 7. <i>Interfaz gráfica de trabajo de ANSYS SpaceClaim</i>	21
Figura 8. <i>Canal de Youtube “Cursos ANSYS EIMCM”</i>	26

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Caso 1: Ejercicio de carácter estructural.....	33
Apéndice B. caso 2: Ejercicio de fatiga	36
Apéndice C. Caso 3: Ejercicio de optimización	39
Apéndice D. Caso 4: Ejercicio de carácter térmico	42

Resumen

Título: Diseño de un módulo de aprendizaje básico sobre el software ANSYS para promover el desarrollo de habilidades en el uso de herramientas CAD CAE en los estudiantes de ingeniería metalúrgica de la UIS *

Autor: Jose Manuel Palma Muñoz **, Viviana Raquel Güiza Argüello, Jeferson Ruiz Lizarazo,

Palabras Clave: CAD, CAE, Análisis Modal, Fatiga mecánica, Transferencia de calor

Descripción: La necesidad de incorporar elementos virtuales en el proceso de enseñanza-aprendizaje ha sido acentuada significativamente por el contexto actual de la pandemia del Covid19. Con base en esto, el presente proyecto apuntó al diseño de un módulo básico de aprendizaje del software ANSYS, compuesto por un paquete de videotutoriales, a través de los cuales los estudiantes del programa de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander podrán adquirir de manera autónoma conocimientos básicos sobre esta importante herramienta de diseño y simulación en ingeniería, aprovechando la licencia gratuita (1 año) para estudiantes que ofrece ANSYS, Inc.

El módulo de aprendizaje diseñado consta de 51 videotutoriales con una duración total aproximada de 6.4 horas. Estos videotutoriales están organizados en 12 listas de reproducción, alojadas en la plataforma de YouTube. Su contenido se divide en dos secciones de aprendizaje; la primera comprende los conocimientos básicos necesarios para el uso del software de diseño SpaceClaim, mientras que la segunda abarca el manejo de las herramientas de simulación mediante el software Discovery AIM Student. En ambos casos se suministró la información necesaria para que el estudiante aprenda a manejar las herramientas, y además se plantearon 2 ejercicios individuales y se elaboraron 4 ejercicios prácticos guiados. De esta forma se espera que el producto de este proyecto aporte significativamente al fortalecimiento de habilidades técnicas en el uso de herramientas CAD CAE (Computer-aided Designing y Computer-aided Engineering, respectivamente, por sus siglas en inglés), las cuales son imprescindibles para el ingeniero metalúrgico de hoy.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Directora: Viviana Raquel Güiza Argüello. PhD en Ingeniería Química. Codirector: Jeferson Oswaldo Ruiz Lizarazo. MSc en Ingeniería de Materiales.

Abstract

Title: Design of a basic learning module on ANSYS software to promote the development of skills in the use of CAD CAE tools in metallurgical engineering students at UIS*

Author: Jose Manuel Palma Muñoz **, Viviana Raquel Güiza Argüello, Jeferson Ruiz Lizarazo,

Key Words: CAD, CAE, Modal Analysis, Mechanical Fatigue, Heat Transfer

Description: The need to incorporate virtual elements in the teaching-learning process has been significantly accentuated by the current context of the Covid19 pandemic. Based on this, this project aimed at the design of a basic ANSYS software learning module, composed of a package of video tutorials, through which students of the Metallurgical Engineering program of the Industrial University of Santander will be able to acquire in an Autonomous basic knowledge of this important engineering design and simulation tool, taking advantage of the free license (1 year) for students offered by ANSYS, Inc.

The designed learning module consists of 51 video tutorials with a total duration of approximately 6.4 hours. These video tutorials are organized in 12 playlists, hosted on the YouTube platform. Its content is divided into two learning sections; the first includes the basic knowledge necessary to use the SpaceClaim design software, while the second covers the use of simulation tools using the Discovery AIM Student software. In both cases, the necessary information was provided for the student to learn to use the tools, and in addition, 2 individual exercises were proposed and 4 guided practical exercises were developed. In this way, it is expected that the product of this project will contribute significantly to the strengthening of technical skills in the use of CAD CAE tools (Computer-aided Designing and Computer-aided Engineering, respectively) which are essential for today's metallurgical engineer.

* Degree Work

** Facultad de ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Directora: Viviana Raquel Güiza Argüello. PhD en Ingeniería Química. Codirector: Jeferson Owaldo Ruiz Lizarazo. MSc en Ingeniería de Materiales.

Introducción

La pandemia del Covid19 fue un evento extraordinario que obligó al cierre de la modalidad presencial de diversos pilares del desarrollo, entre ellos la educación, la cual se vio forzada a dar un salto abrupto de adaptación en el proceso de enseñanza-aprendizaje, recurriendo masivamente al uso de herramientas TIC y de software en general.

En este contexto, y con el fin de facilitar y agilizar el proceso de aprendizaje básico de dichas herramientas computacionales, es indispensable ofrecer al estudiante los mecanismos adecuados para lograr este objetivo.

Por esta razón, el presente trabajo de grado tuvo como objetivo principal la creación de un módulo de aprendizaje sobre el software ANSYS, el cual es una herramienta de simulación de gran relevancia en la industria ingenieril. Aprovechando que cualquier estudiante puede acceder de manera gratuita a ANSYS por un periodo de un año, con el desarrollo de este proyecto, se pretende aportar al fortalecimiento de las habilidades CAD CAE (Computer-Aided Designing y Computer-Aided Engineering, respectivamente, por sus siglas en inglés) de los estudiantes del programa de Ingeniería Metalúrgica de la UIS, y de esta forma contribuir a la formación de profesionales competitivos dentro del ámbito académico y profesional.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un módulo audiovisual de aprendizaje básico sobre el software ANSYS, incluyendo algunas aplicaciones metalúrgicas, para promover el desarrollo de habilidades en el uso de herramientas CAD CAE en los estudiantes de Ingeniería Metalúrgica de la UIS.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar un proceso de autoaprendizaje del software ANSYS STUDENT, con base en una consulta rigurosa de la información disponible en la web sobre el uso de este programa de simulación.
- Determinar un grupo de problemas metalúrgicos que sean relevantes e ilustrativos y puedan ser desarrollados usando ANSYS STUDENT.
- Crear un paquete de videotutoriales que aborden el aprendizaje de las herramientas básicas del software ANSYS STUDENT e ilustren su aplicación en el desarrollo de los problemas metalúrgicos previamente seleccionados.

2. Marco Referencial

2.1 Modelamiento y simulación

El desarrollo de simulaciones mediante un software CAE (Computer-Aided Engineering, por sus siglas en inglés) ofrece eficiencia y calidad en el proceso ya que permite realizar cambios de diseño rápidamente y predecir posibles errores dando la posibilidad de corregirlos antes de la fabricación de prototipos físicos o su producción a gran escala, lo que conlleva a una reducción de costos debido a que realizar simulaciones es más barato que el desarrollo de prototipos físicos, además de reducir el tiempo de desarrollo del producto/equipo. Es importante aclarar que la simulación no suprime la necesidad de desarrollar un prototipo físico, por el contrario, proporciona una retroalimentación que permite crear prototipos virtuales para posteriormente fabricar un prototipo físico bajo las características del mejor candidato obtenido de las simulaciones.

2.2 ANSYS

ANSYS es una herramienta que usa el método de elementos finitos de propósito general implementada para dar solución numérica a una amplia gama de problemas de ingeniería. Entre sus beneficios se encuentra la capacidad programable por el usuario. Además, el lenguaje de comandos de este software permite directamente conectar al usuario con aspectos como la generación de geometría, mallas, restricciones, condiciones de contorno, configuraciones de solucionador y muchos otros atributos. ANSYS es un plan de modelado de elementos finitos

de propósito general para abordar numéricamente una gran variedad de problemas mecánicos al ser un dispositivo de evaluación eficaz y multipropósito que se puede utilizar en un amplio campo de técnicas de diseño. (Muhammad et al. 2020).

Recientemente, la herramienta de análisis estructural del software ANSYS se ha utilizado, entre otros aspectos, para evaluar la tensión, la deformación total y la deformación equivalente en recipientes a presión. Con el fin de estudiar las propiedades del acero dulce y varios tipos de materiales compuestos de matriz de aluminio reforzada con zirconia ZrO_2 , tales como Al6082, Al6082 5% ZrO_2 y Al6082 10% ZrO_2 , se implementó el software para la simulación y análisis del comportamiento de cada uno de ellos, obteniéndose que los recipientes a presión de compuestos de matriz metálica son livianos, de alta resistencia, menor desgaste y buena resistencia a la corrosión. Además, el uso de un compuesto de matriz metálica proporciona una buena resistencia al impacto, a la tracción y aumenta la vida útil del material dando buena estabilidad, rigidez y menos deformación del recipiente. (V et al. 2020).

En el sector automovilístico, se llevó a cabo un estudio para elegir el mejor material para la fabricación de rines de automóvil teniendo en cuenta los resultados del análisis estático y dinámico obtenidos mediante ANSYS. El trabajo de análisis estructural estático se hizo considerando cuatro aleaciones de aluminio diferentes de las categorías 6061 y 6066. Las condiciones en servicio de la pieza se basaron en que esta debía ser lo suficientemente fuerte para soportar el vehículo y resistir las fuerzas causadas por el funcionamiento normal; sin embargo, al mismo tiempo debían ser lo más livianas posibles para controlar el peso. Se analizó la deformación total, la distribución de estrés y la distribución de deformaciones tanto del aluminio 6061 como del aluminio 6066, seleccionando finalmente el aluminio 6061 como el

material más adecuado. (R et al. 2020). Dentro de las operaciones de procesamiento de metales se encuentra el estudio de un receptor de aire volumétrico abierto para modelar el flujo del fluido y la transferencia de calor en sus dos componentes principales (los absorbentes porosos y el aire de retorno) realizando los cálculos a través de ANSYS FLUENT mediante el uso del modelo de no equilibrio térmico local para la transferencia de calor en el absorbente del receptor de aire. Se implementó un modelo matemático mediante el software basado en CFD (Computational Fluid Dynamics, por sus siglas en inglés) para desarrollar simulaciones en 3-D y caracterizar el intercambio de calor entre los absorbentes y el aire de retorno, contribuyendo en el tratamiento de condiciones de contorno en la superficie curva del absorbente, la cual es responsable del intercambio de calor generado. Se obtuvo que ANSYS desacoplaba la transferencia de calor entre el aire primario y el aire de retorno en la cámara de flujo dividiendo la superficie absorbente curva en superficies reales e imaginarias. (P et al.2020).

Por otro lado, de acuerdo con (Raafat et al. 2019), en las industrias del petróleo y la fabricación de aceite se requiere el uso de tuberías sumergidas compuestas de tres capas: interior, media y exterior, hechas de acero API 5L X70, polipropileno y hormigón respectivamente. En este sentido, un estudio reportó un análisis combinado mediante el método de elementos finitos en el software ANSYS obteniéndose que las deformaciones y tensiones se encuentran en la zona segura mientras que las tensiones térmicas pueden aislar la capa interior de la temperatura exterior. Adicionalmente, se reportó un estudio de la fatiga resultante de las fuerzas ambientales con el fin de evaluar el número máximo de ciclo de vida, la deformación, las tensiones y la tensión de Von Mises. Se obtuvo que, a pesar de las condiciones más severas elegidas para el análisis, la tubería resistía y era segura cuando estaba sujeta a las condiciones ambientales más severas durante muchos años a menos que ocurriera abolladuras, grietas,

corrosión o pandeo, por lo que se puede construir y operar de manera segura ya que la tensión máxima no excede la tensión permitida. (Raafat et al. 2019).

Finalmente, entre 1989 y 2019 se han publicado 359 trabajos que incluyen el uso del software ANSYS, lo que indica un aumento en el interés por el tema. Entre estos artículos se encuentran análisis de ballestas compuestas, análisis CFD (Computational Fluid Dynamics, por sus siglas en inglés) de mezclas de biodiésel y combustión, unión de acero Ramor 500 con SAW y su evaluación del análisis termomecánico, análisis de las características de choques frontales y análisis numérico experimental de un motor de cohete sólido de polibutadieno terminado en hidroxilo. (Muhammad et al. 2020).

3. Metodología.

Con el propósito de diseñar el módulo de aprendizaje básico sobre el software ANSYS abarcando los objetivos planteados se hizo necesario dividir el desarrollo global del proyecto en 4 etapas consecutivas, tal como se describe a continuación.

3.1 Etapa 1: Búsqueda de Información en la Web

Durante esta primera etapa se realizó una recolección exhaustiva de información contenida en la web, con el fin de adquirir las primeras bases de conocimiento en cuanto al alcance del software ANSYS, su modelo teórico de trabajo, sus limitaciones, aplicaciones y los programas que ofrece ANSYS Inc para la realización de simulaciones. Los recursos bibliográficos obtenidos en esta etapa fueron procedentes de fuentes formales como revistas científicas en ciencia de materiales, tecnología e ingeniería, las cuales fueron consultadas a través de la biblioteca de la

Universidad (como Science Direct y Knovel) además de fuentes electrónicas externas como la dirección web de la empresa ANSYS Inc. y otras entidades.

3.2 Etapa 2: Autoaprendizaje del Software ANSYS

A partir del material consultado y revisado en la etapa anterior, se determinó el tipo de programa de ANSYS que sería usado para el desarrollo del proyecto, ya que la empresa ofrece una amplia variedad de herramientas computacionales. Se hizo entonces un proceso de autoaprendizaje del software seleccionado para identificar cada uno de los mecanismos sobre los cuales funciona el programa, lo cual implicó el autoaprendizaje de toda una secuencia de procesos teórico-prácticos desde la construcción de una geometría hasta la interpretación de los resultados de una simulación de un prototipo virtual bajo las condiciones elegidas.

3.3 Etapa 3: Selección de Problemas Aplicados a la Ingeniería Metalúrgica

Una vez se alcanzó un sólido manejo de los aspectos fundamentales del software, se procedió a realizar una búsqueda de problemas aplicados a la ingeniería metalúrgica para posteriormente seleccionar 4 problemas que pudieran ser resueltos utilizando las funcionalidades de ANSYS. Luego de esto, se procedió a dar solución a cada uno de los sistemas elegidos teniendo en cuenta tanto el tipo de estudio a realizar (estructural, térmico, de fatiga, de flujo de fluido, etc) como la definición de las respectivas condiciones de contorno del problema.

3.4 Etapa 4: Diseño de videotutoriales

Una vez cumplidas las etapas anteriores, se procedió a crear el material audiovisual de aprendizaje del software ANSYS mediante una serie de videos, los cuales ilustraron de manera pedagógica las herramientas de manejo del software, la generación de modelos a partir de

geometrías, el paso a paso de un proceso de simulación y la aplicabilidad del programa utilizando los ejemplos metalúrgicos previamente seleccionados.

4. Resultados

4.1 Búsqueda de Información en la Web

Con base en la información consultada en revistas científicas y en el sitio web oficial de la empresa ANSYS (<https://www.ansys.com>), se encontró que esta ofrece varias alternativas de trabajo de acuerdo a los requerimientos del usuario, siendo las aplicaciones Discovery Live Student, Discovery AIM Student, Ansys Student y Ansys SCADE Student disponibles en licencia gratuita por un año. Adicionalmente se conoció que esta licencia gratuita permite utilizar las mismas herramientas de diseño y simulación que las versiones premium, solo que con un número inferior de nodos o elementos del proceso de mallado, tanto para estudios de física estructural como de fluidos.

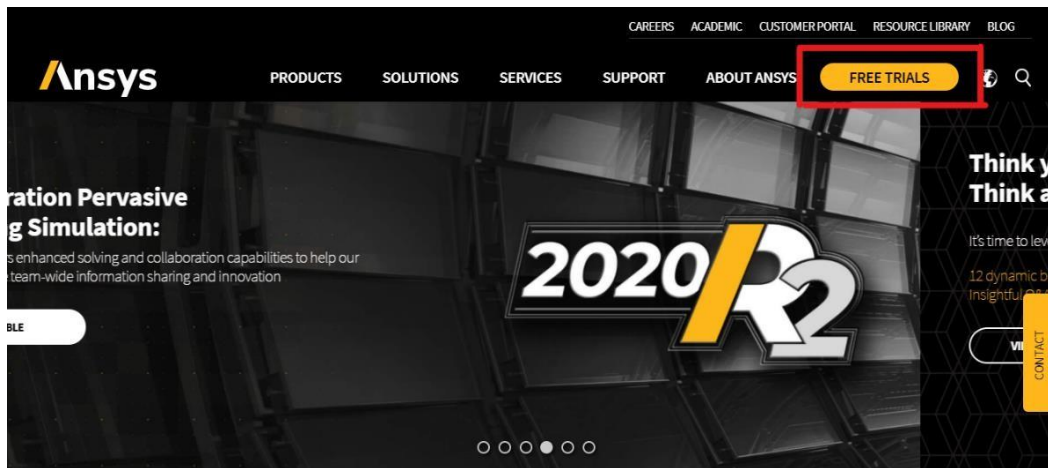
Finalmente, en esta etapa se recolectó material audiovisual disponible en la web, con el fin de organizar y armar una base de datos para realizar el proceso de autoaprendizaje de las herramientas seleccionadas.

4.2 Autoaprendizaje del Software ANSYS

Se instalaron los cuatro aplicativos ofrecidos por ANSYS a través de su página oficial <https://www.ansys.com/>, seleccionando la opción “Free trials” como se muestra en la figura 1.

Figura 1.

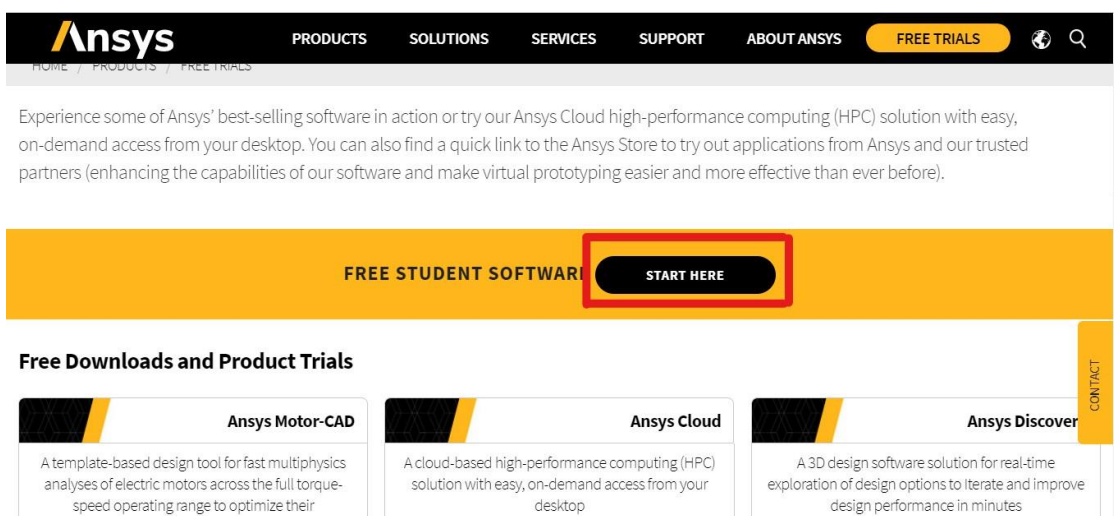
Página web oficial del software ANSYS



Una vez realizada esta operación, se procedió a seleccionar la opción “Start here” de la ventana emergente, como se muestra en la figura 2:

Figura 2

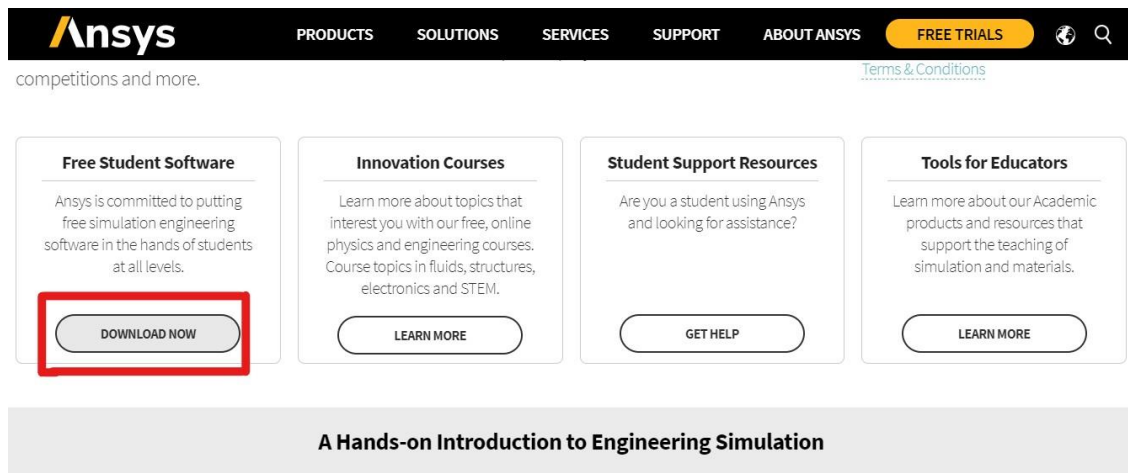
Página web del software ANSYS



Posteriormente se seleccionó la opción “Download now” de la ventana generada mostrada en la figura 3:

Figura 3

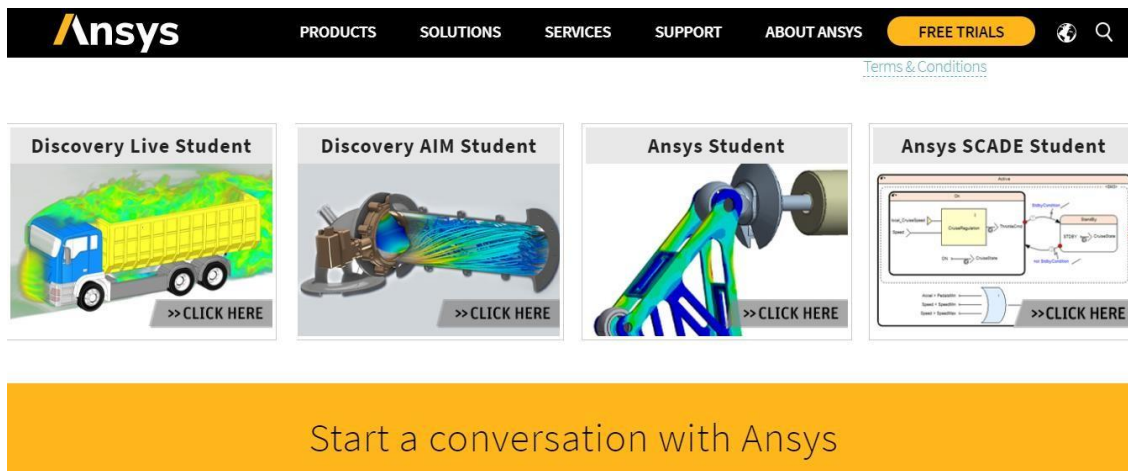
Página web de descarga del software ANSYS



Luego se realizó la descarga de los cuatro aplicativos mostrados en la figura 4:

Figura 4

Página web de descarga del software ANSYS



Una vez realizado este proceso, se estudiaron y evaluaron cada una de las herramientas disponibles para seleccionar una de diseño y una de simulación, encontrándose que Discovery Live Student es un programa novedoso, dinámico e instantáneo para llevar a cabo distintos estudios de simulación. Sin embargo, su funcionamiento exige que la computadora cuente con un dispositivo gráfico compatible con el software. Por otra parte, se obtuvo que ANSYS SCADE Student se basa en la generación de códigos de software integrado, por lo que su aplicación se orienta al diseño de arquitectura para sistemas críticos intensivos en software.

De esta manera, teniendo en cuenta no sólo el objetivo de fortalecer las habilidades de diseño y simulación en los estudiantes, sino también los distintos requerimientos computacionales que cada programa exige, se seleccionó finalmente Discovery AIM Student como herramienta de simulación ya que presenta una interfaz muy intuitiva y mediante elementos finitos o volúmenes finitos permite realizar distintos estudios de simulación como estructural, de flujo de fluido, térmico, electromagnético, de optimización de tipología, de interacción entre una estructura y un fluido, de transferencia de calor entre un sólido y un fluido, de extrusión de polímeros y de moldeo de polímero por soplado (figura 5).

Dentro de la interfaz inicial se debe especificar el tipo de estudio a realizar seleccionando el módulo de interés, sin embargo, la interfaz de trabajo de cada módulo es muy similar, pues en cada uno de ellos se debe especificar la geometría, el mallado, las condiciones de contorno y los resultados, por lo que es posible asemejar la interfaz de trabajo, a la mostrada en la figura 6, que corresponde a un estudio de tipo estructural.

Figura 5

Interfaz inicial de Discovery AIM Student

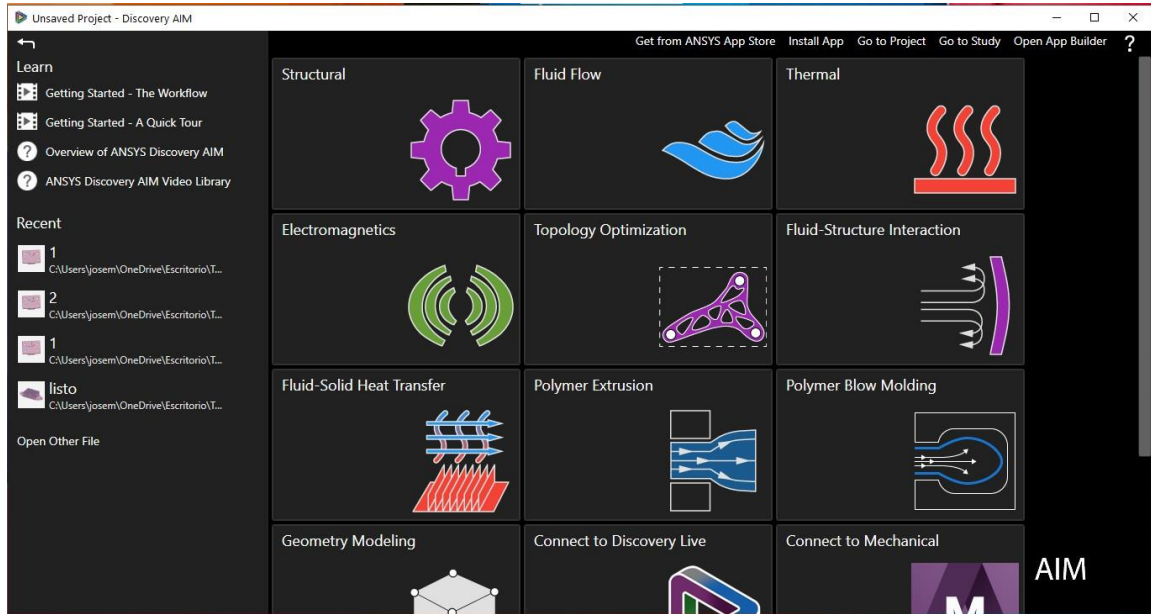
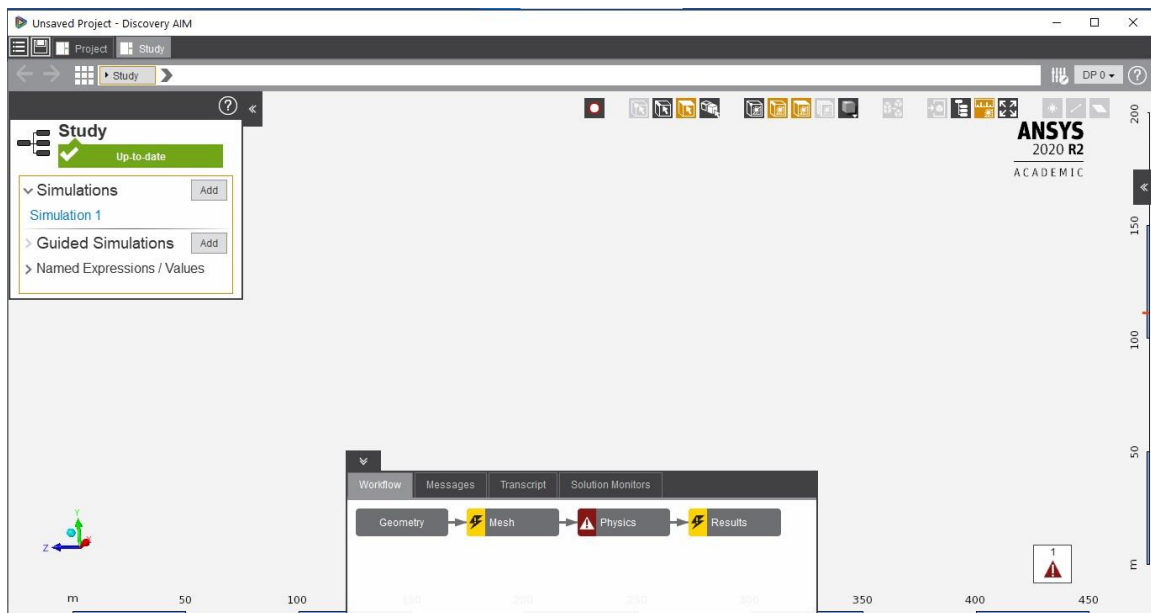


Figura 6

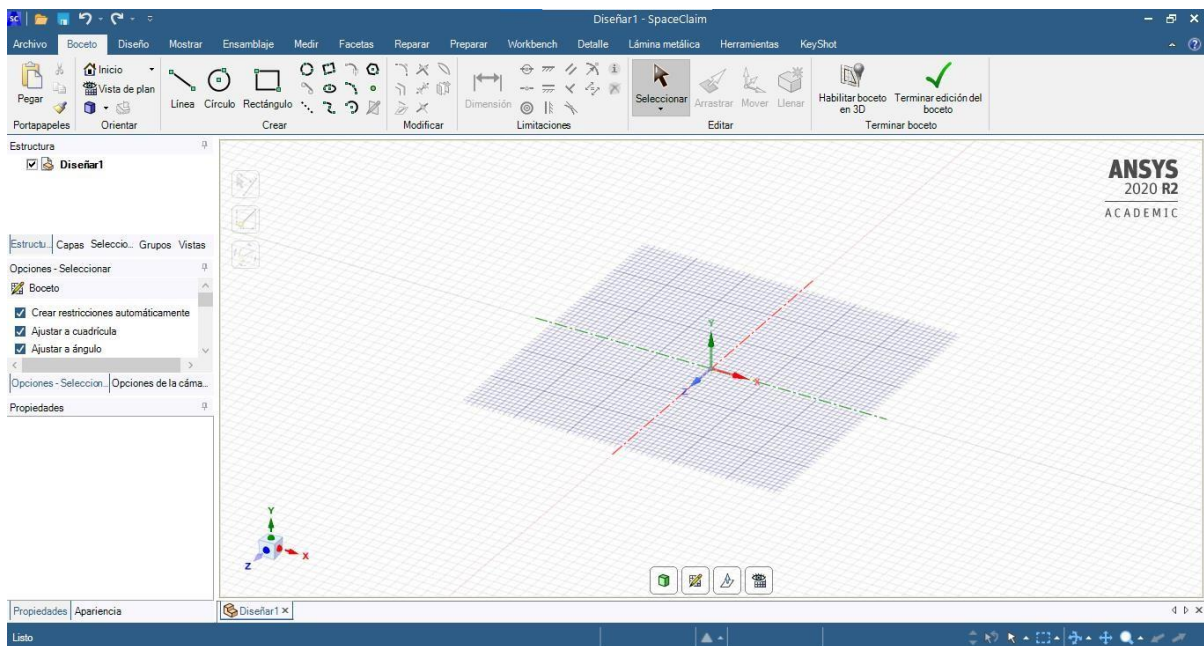
Interfaz gráfica de trabajo en Discovery AIM Student



En cuanto a la selección de un aplicativo para el diseño, se optó por usar Ansys Student, el cual contiene un paquete de aplicativos basados en Ansys Workbench, dentro de los que se incluyen Ansys Mechanical, Ansys CFD, Ansys Autodyn, Ansys SpaceClaim y Ansys DesignXplorer. Posteriormente, se realizó un análisis sobre las respectivas funcionalidades de cada aplicativo y se encontró que Ansys SpaceClaim era el que se acoplaba mejor a los objetivos del proyecto, ya que ofrece la posibilidad de diseñar bocetos 2D y generar volúmenes 3D, por lo que se decidió implementarlo en la elaboración de geometrías y su preparación para la simulación, al ser un programa muy intuitivo que optimiza las operaciones de diseño para generar prototipos en poco tiempo. Su interfaz gráfica se muestra en la figura 7.

Figura 7

Interfaz gráfica de trabajo de ANSYS SpaceClaim



Finalmente, se estudió el material audiovisual recolectado, inicialmente sobre ANSYS SpaceClaim, analizando detalladamente videotutoriales para aprender a utilizar las distintas herramientas de diseño 2D implementadas en la elaboración de bocetos en un plano y las

operaciones necesarias tanto para la creación de geometrías 3D como para su posterior edición y presentación. Para ello se estudiaron las distintas pestañas como boceto, diseño, mostrar, ensamblaje, medir, detalle, reparar y preparar; mostradas en la interfaz gráfica de la figura 7.

En cuanto a Discovery AIM Student, se trabajó de manera similar, examinando cada uno de los módulos que hacen referencia a los diferentes tipos de estudios mostrados en la figura 5, los cuales a su vez siguen una secuencia de pasos y difieren al momento de establecer las condiciones de contorno ya que estas dependen de las características reales a las cuales se encuentra sujeto el objeto de estudio; por ejemplo en el módulo estructural se deben establecer condiciones como fuerzas, soportes, momentos, ente otros, mientras que en un estudio térmico se deben establecer los valores del coeficiente de transferencia de calor, flujo de calor, temperatura del medio, etc.

4.3 Selección de Problemas Aplicados a la Ingeniería Metalúrgica

En esta etapa del proyecto se diseñaron 4 ejercicios de aplicación que representan estudios de tipo estructural, modal, de fatiga, de optimización y térmico de una pieza específica. La idea es que al estudiante se le asigne un documento con la ficha de información de cada pieza y sus características de servicio (ver lista de apéndices). En cada caso, el estudiante deberá llevar a cabo la simulación respectiva, de acuerdo con el modelado de 2 geometrías correspondientes a dos piezas, la primera se trata de un empotrado de cojinete de deslizamiento radial empleado en la industria como soporte, mientras que la segunda es un disipador de calor de componentes electrónicos. El estudiante deberá realizar previamente el diseño de las piezas a partir de los planos suministrados y utilizando la plataforma SpaceClaim, para posteriormente determinar los resultados pedidos en la respectiva ficha de la pieza, mediante la simulación de las condiciones de trabajo en Discovery AIM Student.

A continuación, se presentan los enunciados de los 4 ejercicios, cuyos detalles se encuentran especificados en la lista de apéndices.

Caso 1: Estructural-Modal

La pieza está compuesta por el cuerpo del cojinete (chumacera) de fundición gris y por un cojinete de bronce en la parte interna en contacto con el eje. Adicionalmente, se conoce que la pieza en servicio puede experimentar una fuerza máxima de 22500 [N] sobre la cara superior donde se encuentran ubicados los soportes fijos. Se pide realizar una simulación de carácter estructural-modal para la pieza 1, conocida como empotrado de cojinete de deslizamiento, con el objetivo de conocer el esfuerzo equivalente máximo, mínimo y promedio, la magnitud de desplazamiento, la ubicación del desplazamiento máximo y mínimo, el promedio del esfuerzo por fricción generado en el contacto entre los dos materiales de la pieza, la magnitud de la reacción en el contacto entre los dos materiales de la pieza, las fuerzas de reacción generadas en los soportes por la carga aplicada en la cara superior, el valor total de la deformación elástica equivalente en la pieza, obtener mínimo 7 valores de frecuencias naturales del sistema cuerpo-cojinete y visualizar la magnitud de desplazamiento debida a la quinta frecuencia natural. (Ver Apéndice A)

Caso 2: Fatiga

La pieza está compuesta por el cuerpo del cojinete (chumacera) de fundición gris y por un cojinete de bronce en la parte interna en contacto con el eje. Adicionalmente, se conoce que la pieza en servicio puede experimentar una fuerza máxima de 22500 [N] sobre la cara superior donde se encuentran ubicados los soportes fijos. Se pide realizar una simulación de fatiga para la pieza 1, conocida como empotrado de cojinete de deslizamiento, con el objetivo de conocer la vida de fatiga, el factor de seguridad, el esfuerzo alternativo equivalente y el contorno de indicación biaxial. (Ver apéndice B)

Caso 3: Optimización

Se pide realizar una simulación de optimización para la pieza 1, conocida como empotrado de cojinete de deslizamiento, con el objetivo de conocer nuevas alternativas de diseño para el cuerpo de cojinete (soporte). Para ello, modifique el radio de curvatura de la cara frontal de radio 36mm y en este caso no tenga en cuenta el cojinete de bronce. Realice la configuración de la siguiente manera: el parámetro de entrada es radio de curvatura, su límite inferior es 0,03 m y su límite superior es 0,05 m. Los parámetros de salida son el esfuerzo equivalente de 276 MPa como máximo y la masa. Recuerde que el objetivo es proponer un diseño de cuerpo de cojinete más ligero, que sufra menos esfuerzo y que cumpla con las condiciones de servicio, por lo que debe elegir la nueva alternativa de diseño teniendo en cuenta los parámetros anteriores. Para ello minimice y establezca un límite de 276 MPa para el esfuerzo equivalente, y en cuanto a la masa, obtenga un diseño de menor masa posible (sin límite preestablecido por el usuario). (Apéndice C)

Caso 4: Análisis Térmico

La pieza está compuesta por una base de aluminio que contiene 13 aletas delgadas del mismo material, además de una almohadilla termoconductora de silicona, cuya función es ayudar a la conducción del calor entre el chip y el disipador de calor. Adicionalmente, se conoce que el chip al que está unido el disipador de calor puede emitir un flujo de calor de 50W (distribuidos uniformemente en la superficie de contacto entre el chip y la almohadilla térmica) cuando se encuentra en servicio. También se conoce que el calor transmitido a la base se disipa a través de las aletas por convección, con un coeficiente de transferencia de calor de $50 \frac{W}{m^2 \cdot C}$, cuando el aire se encuentra a 25°C. Con el objetivo de evaluar la disipación de calor del chip mediante la pieza asignada, se pide realizar una simulación de carácter térmico-estado estacionario, a esta y su componente termoconductor, conocidos como disipadores de calor, para conocer la temperatura

del cuerpo, el flujo de calor por unidad de área en el cuerpo, el gráfico de vectores de temperatura, el promedio de temperatura en la superficie de contacto entre el chip y la almohadilla térmica, el promedio de temperatura en la superficie de contacto entre el dissipador de calor y la almohadilla térmica, el promedio del flujo de calor por unidad de área en las aletas y el promedio de temperatura en las aletas.(Ver apéndice D)

4.4 Diseño de Videotutoriales

En esta etapa se elaboró el módulo de aprendizaje de las herramientas de diseño y simulación previamente estudiadas. Utilizando la plataforma *Zoom* (opción compartir pantalla y grabar) se prepararon 51 videotutoriales, cada uno con una duración aproximada de 8 minutos. En ellos se explica el manejo del software ANSYS SpaceClaim y Discovery AIM Student y además se le da al estudiante la oportunidad de realizar dos ejercicios individuales a partir de un tutorial guiado, el primero sobre presentación de hojas de dibujo técnico y el segundo sobre ensamblaje de piezas. Finalmente se realiza la asignación de los ejercicios de aplicación donde el estudiante debe poner en práctica los conocimientos adquiridos, en cuanto a diseño y simulación, a lo largo del módulo.

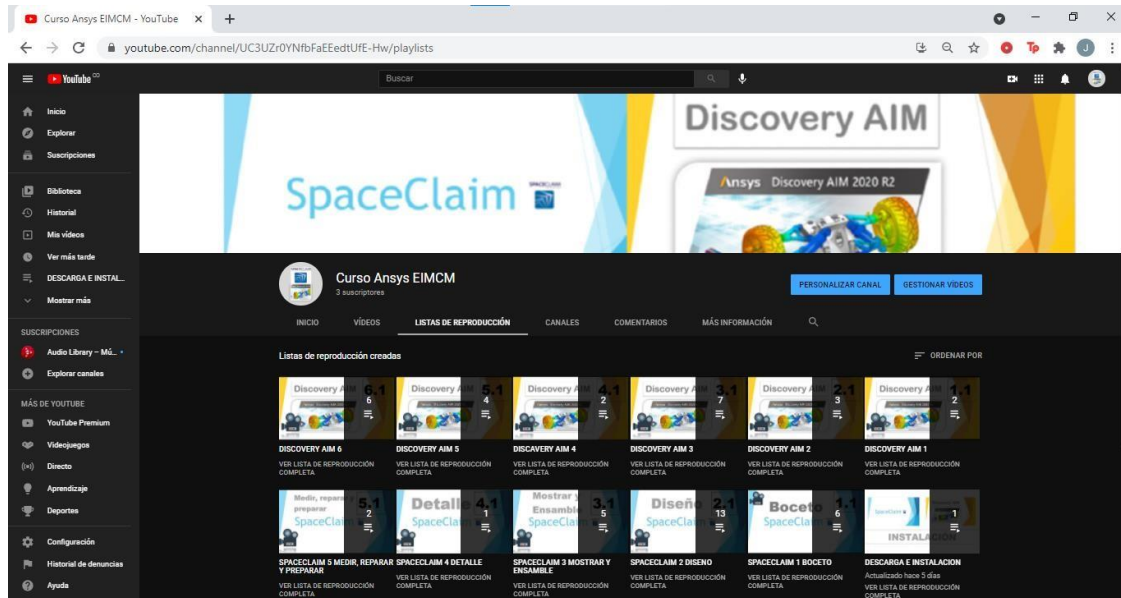
4.5 Diseño del módulo de aprendizaje en la plataforma YouTube

Inicialmente se creó una cuenta en la plataforma Gmail, bajo el registro del correo electrónico ansyseimcm@gmail.com para uso exclusivo del material del curso.

Posteriormente se creó un canal de YouTube asignado a la cuenta Gmail, llamado “Cursos Ansys EIMCM”, al cual se puede acceder mediante el enlace <https://www.youtube.com/channel/UC3UZr0YNfbFaEEedtUfE-Hw/videos> y cuya interfaz inicial se muestra en la figura 9. La contraseña de ingreso a las plataformas Gmail y YouTube fue suministrada a la directora del presente proyecto de grado, para encargarle el acceso y control sobre el contenido audiovisual del módulo.

Figura 8

Canal de YouTube “Cursos ANSYS EIMCM”



Los 51 videotutoriales se encuentran organizados en 12 listas de reproducción, de la siguiente forma: una corresponde al proceso de descarga e instalación de ANSYS SpaceClaim y Discovery AIM Student, cinco corresponden a la enseñanza de ANSYS SpaceClaim y seis al manejo de Discovery AIM Student. Estas listas de reproducción incluyen también el desarrollo de los problemas de aplicación descritos anteriormente. Se estima que la duración total del curso sea aproximadamente 6.4 horas.

- Descarga e instalación (1 video)
- SpaceClaim 1 boceto (6 videos)
- SpaceClaim 2 diseño (13 videos)
- SpaceClaim 3 mostrar y ensamble (5 videos)
- SpaceClaim 4 detalle (1 video)

- SpaceClaim 5 medir, reparar y preparar (2 videos)
- Discovery AIM 1 (2 videos)
- Discovery AIM 2 (3 videos)
- Discovery AIM 3 (6 videos)
- Discovery AIM 4 (2 videos)
- Discovery AIM 5 (4 videos)
- Discovery AIM 6 (6 videos)

Asimismo, la información requerida para desarrollar los ejercicios propuestos se encuentra adjunta en la descripción de cada video, según el tema, como un enlace a un archivo pdf de libre acceso en la plataforma “Google Drive”, creada a partir del correo Gmail mencionado anteriormente. Adicionalmente se adjuntó un archivo pdf con el contenido y el orden sugerido para la reproducción de cada lista de reproducción y cada video, al cual puede acceder de la misma manera, a través del enlace ubicado en la descripción del video de instalación.

Los enlaces mencionados están disponibles al público y se listan a continuación.

- Contenido:

<https://drive.google.com/file/d/1HgCX-4y8STwRuaK7hFHveED7hcXpePia/view?usp=sharing>

- Ejercicio de ensamble:

https://drive.google.com/file/d/1JhGI0dD_DkZ9e5H4d8Jgb7170SEnPRLn/view?usp=sharing

- Ejercicio de detalle:

https://drive.google.com/file/d/1LXO564Xm_9MbC696STYNLmXCbj0Qm0zH/view?usp=sharin

- Ejercicio caso 1 estructural-modal:

https://drive.google.com/file/d/13dMr9_MJvUrIKIKb3a0RoBe6J4uPWuz3/view?usp=sharing

- Ejercicio caso 2 fatiga:

https://drive.google.com/file/d/1c4uPhhLOu46zoi8bAS2y-Z956gH_mmQt/view?usp=sharing

- Ejercicio caso 3 optimización:

<https://drive.google.com/file/d/1o3P1TDdeoE7BiXFrS51AiRLDwesX8AF7/view?usp=sharing>

- Ejercicio caso 4 estudio térmico:

<https://drive.google.com/file/d/19-PgNuORgcLPtSp1gYxZcr--j9Cr1iCL/view?usp=sharing>

El proceso final consistió en estructurar el canal de YouTube “Cursos ANSYS EIMCM” relacionando su contenido con los respectivos archivos pdf ubicados en la plataforma de Google Drive. De esta manera se finalizó el diseño y montaje del módulo de aprendizaje básico basado en el software ANSYS.

5. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto destacó la importancia que hoy en día tienen las herramientas CAD CAE y muestra su impacto dentro de un amplio campo ingenieril. Así mismo, el presente documento sustenta las múltiples utilidades que tienen dos de los aplicativos del software ANSYS en la ingeniería metalúrgica al permitir diseñar prototipos y simular situaciones relacionadas con el análisis estructural, térmico, de flujo de fluidos, electromagnético, de transferencia de calor, de interacción entre un fluido y una estructura, de optimización de tipología, además de extrusión y moldeo de polímeros.

El proceso de autoaprendizaje fue el que requirió mayor atención y dedicación, ya que, aunque la interfaz del software utilizado es muy intuitiva, en Discovery AIM Student hay que tener claras las condiciones de contorno a las que se encuentra la pieza. Sin embargo, se logró un aprendizaje exitoso del manejo de ANSYS SpaceClaim y Discovery AIM Student y de esta manera fue posible plasmar y transmitir ese conocimiento a través del material creado. Adicionalmente, se evidenció que ANSYS ofrece otros distintos aplicativos bajo una licencia gratuita ofrecida a los estudiantes, por lo que este proyecto brinda las herramientas para que el usuario se abra paso dentro del mundo de la simulación de ANSYS.

El producto de este proyecto tendrá un impacto significativo en los tiempos de aprendizaje de la herramienta ANSYS, así como en la habilidad de los estudiantes para manejar este software. El módulo de aprendizaje diseñado conservará un carácter reproducible en el tiempo para que así las futuras generaciones de estudiantes de Ingeniería Metalúrgica de la UIS puedan implementar estas técnicas computacionales durante su paso por la universidad, en diversas asignaturas, a la vez que fortalecen competencias profesionales que mejorarán sus oportunidades laborales una vez se gradúen.

A diferencia del material disponible en la web, este proyecto reunió la información necesaria para adquirir competencias básicas en ANSYS SpaceClaim y Discovery AIM Student, y posteriormente encaminarlas hacia la aplicación y resolución de problemas en distintas asignaturas del pregrado de Ingeniería Metalúrgica. Por lo tanto, este material puede ser implementado por docentes de la Escuela que busquen promover el empleo de estas herramientas en sus asignaturas para fomentar su uso y aplicación en la solución de problemas específicos y proyectos de clase. Adicionalmente, la información suministrada en este trabajo sirve como fundamento básico tanto para aquellos estudiantes interesados en realizar simulaciones en sus proyectos de grado, como para aquellos que se interesen por el tema y deseen adquirir conocimientos posteriores afines a la simulación. Este proyecto abre las puertas a un amplio campo de habilidades dentro de las técnicas de simulación.

Referencias Bibliográficas

ANSYS (2021). *ANSYS academic learning resources* <https://www.ansys.com/academic/learning-resources>

K.S, D, M & M. (2020). Analysis of composite leaf spring using ANSYS software. *MaterialsToday: Proceedings*, 1-5

Muhammad, A., Mohammed, A. A., & Ibrahim, H. S. (2020). ANSYS- A bibliometric study. *Materials Today: Proceedings*, 1005-1009.

P, B, A.D, R & M. (2020). Numerical and experimental analysis of hydroxyl-terminated polybutadiene solid rocket motor by using ANSYS. *Materials Today: Proceedings*, 308-314

P, S., L, C., P.S, G., & R, S. (2020). A novel approach for modelling fluid flow and heat transfer in an Open Volumetric Air Receiver using ANSYS-FLUENT. *Solar energy*, 246-255.

Raafat, E., Ahmed, N., Medhat, E.-h., & Abla, E.-M. (2019). Fatigue and thermal stress analysis of submerged steel pipes using ANSYS software. *Ocean Engineering*, 1-9.

R, V., C, R., R, B., R, R., & P, S. R. (2020). Investigation on automobile wheel rim aluminium 6061 and 6066 Alloys using ANSYS WORKBENCH. *Materials today: Proceedings*, 1-5.

- Semih, Ali & Cetin. (2020). Joining of Ramor 500 Steel with SAW (Submerged Arc Welding) and its Evaluation of Thermomechanical Analysis in ANSYS Package Software. *Thermal Science and Engineering Process*, 1-16.
- Shivanshu, Arvind, Suraj, Nitin, Harish & Saba. (2020). CFD analysis of biodiesel blends and combustion using ANSYS Fluent. *Materials Today: Proceedings*, 665-670.
- Sono, Rakesh & Sunil. (2020). Analysis of frontal car crash characteristics using ANSYS. *Materials Today: Proceedings*, 898-902.
- V, M., S, P., M, A., G.M, P., & S, S. B. (2020). Modeling and stress analysis of aluminium alloy based composite pressure vessel through ANSYS software. *Materials Today: Proceedings*, 1-6.

Apéndices

Apéndice A. Caso 1: Ejercicio de carácter estructural

- Introducción

Pieza	Empotrado de cojinete de deslizamiento radial
Principio de funcionamiento	Soporte de cargas mediante apoyos fijos para movimiento mecánico de un eje mediante lubricación
Uso	Maquinaria de sistemas de transporte, industria de fabricación manufacturera textil y de alimentos
Material 1	Fundición gris
Material 2	Bronce
Descripción	Pieza compuesta por 4 apoyos fijos que brindan soporte, absorción y distribución de cargas, además de una perforación mayor que sostiene y permite la rotación de un eje cilíndrico.



Figura 1. Fuente:

https://es.wikipedia.org/wiki/Cojinete_de_deslizamiento

- Información

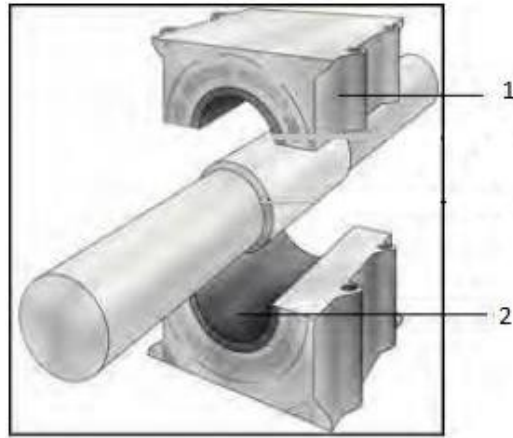


Figura 2. Partes de la pieza. Fuente: [e-ducativa-catedu.es / propia](http://e-ducativa-catedu.es/)

- 1) Cuerpo del cojinete o soporte
- 2) Casquillo, buje o cojinete

La pieza está compuesta por el cuerpo del cojinete (chumacera) de fundición gris y por un cojinete de bronce en la parte interna en contacto con el eje. Adicionalmente, se conoce que la pieza en servicio puede experimentar una fuerza máxima de 22500 [N] sobre la cara superior donde se encuentran ubicados los soportes fijos (ver hoja de dibujo).

- Proceso

Se pide realizar una simulación de carácter ESTRUCTURAL-MODAL para la pieza 1, conocida como empotrado de cojinete de deslizamiento, con el objetivo de conocer los siguientes resultados cuando la pieza sea sometida a las condiciones establecidas de servicio.

- Estrés equivalente: máximo, mínimo y promedio.
- Magnitud de desplazamiento y ubicación del desplazamiento máximo y mínimo.

- Promedio del esfuerzo por fricción generado en el contacto entre los dos materiales de la pieza. Magnitud de la reacción en el contacto entre los dos materiales de la pieza: valor mínimo máximo y promedio.
- Fuerzas de reacción en los soportes, generadas por la carga aplicada en la cara superior: valor mínimo, máximo, valor de acuerdo a las componentes y valor total de la fuerza de reacción. El valor total de la deformación elástica equivalente en la pieza.
- Mínimo 7 valores de frecuencias naturales del sistema cuerpo-cojinete. Visualizar la magnitud de desplazamiento debida a la quinta frecuencia natural.
 - Diseño

A continuación, se presenta la hoja de dibujo técnico de la pieza a analizar, se requiere realizar el diseño de acuerdo a las medidas especificadas para poder llevar a cabo la simulación.

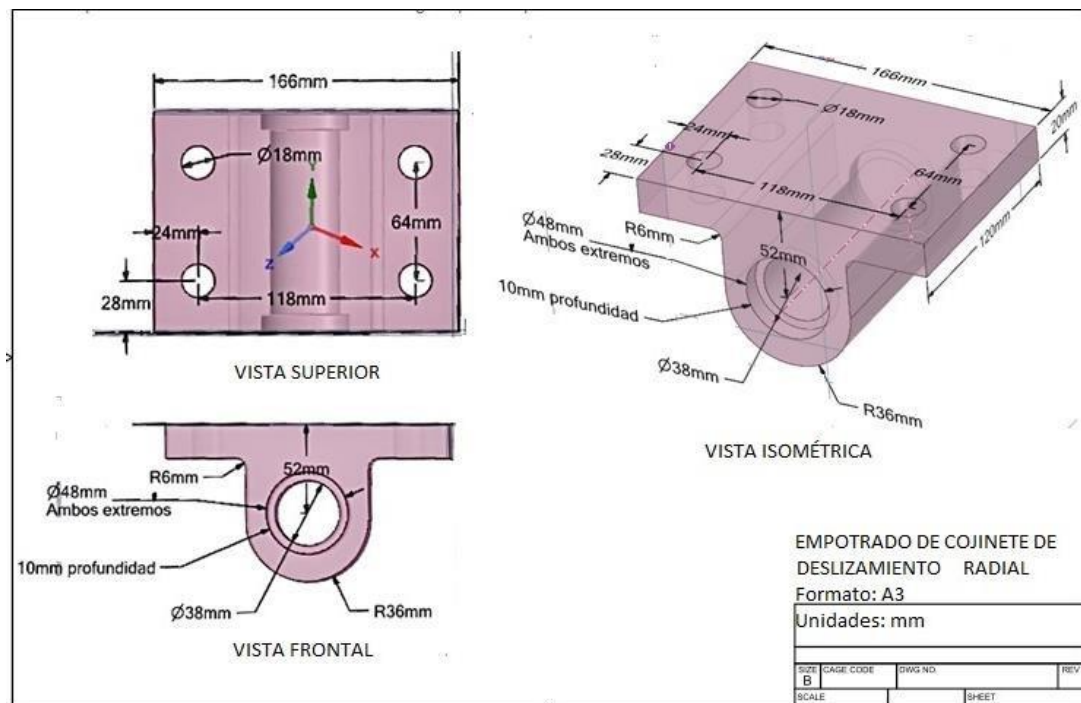


Figura 3. Hoja de dibujo técnico de la pieza

Apéndice B. Caso 2: Ejercicio de fatiga

- Introducción

Pieza	Empotrado de cojinete de deslizamiento radial
Principio de funcionamiento	Soporte de cargas mediante apoyos fijos para movimiento mecánico de un eje mediante lubricación
Uso	Maquinaria de sistemas de transporte, industria de fabricación manufacturera textil y de alimentos
Material 1	Fundición gris
Material 2	Bronce
Descripción	Pieza compuesta por 4 apoyos fijos que brindan soporte, absorción y distribución de cargas, además de una perforación mayor que sostiene y permite la rotación de un eje cilíndrico.



Figura 1. Fuente:

https://es.wikipedia.org/wiki/Cojinete_de_deslizamiento

- Información

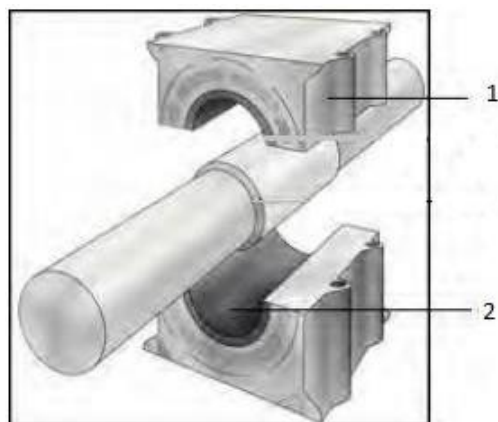


Figura 2. Partes de la pieza. Fuente: e-educativa-catedu.es / propia

- 3) Cuerpo del cojinete o soporte
- 4) Casquillo, buje o cojinete

La pieza está compuesta por el cuerpo del cojinete (chumacera) de fundición gris y por un cojinete de bronce en la parte interna en contacto con el eje. Adicionalmente, se conoce que la pieza en servicio puede experimentar una fuerza máxima de 22500 [N] sobre la cara superior donde se encuentran ubicados los soportes fijos (ver hoja de dibujo).

- Proceso

Se pide realizar una simulación de FATIGA para la pieza 1, conocida como empotrado de cojinete de deslizamiento, con el objetivo de conocer los siguientes resultados cuando la pieza sea sometida a las condiciones establecidas de servicio.

- La vida de fatiga
- El factor de seguridad
- Esfuerzo alternativo equivalente: valor máximo, mínimo y promedio
- Contorno de indicación biaxial

- Diseño

A continuación, se presenta la hoja de dibujo técnico de la pieza a analizar, se requiere realizar el diseño de acuerdo a las medidas especificadas para poder llevar a cabo la simulación.

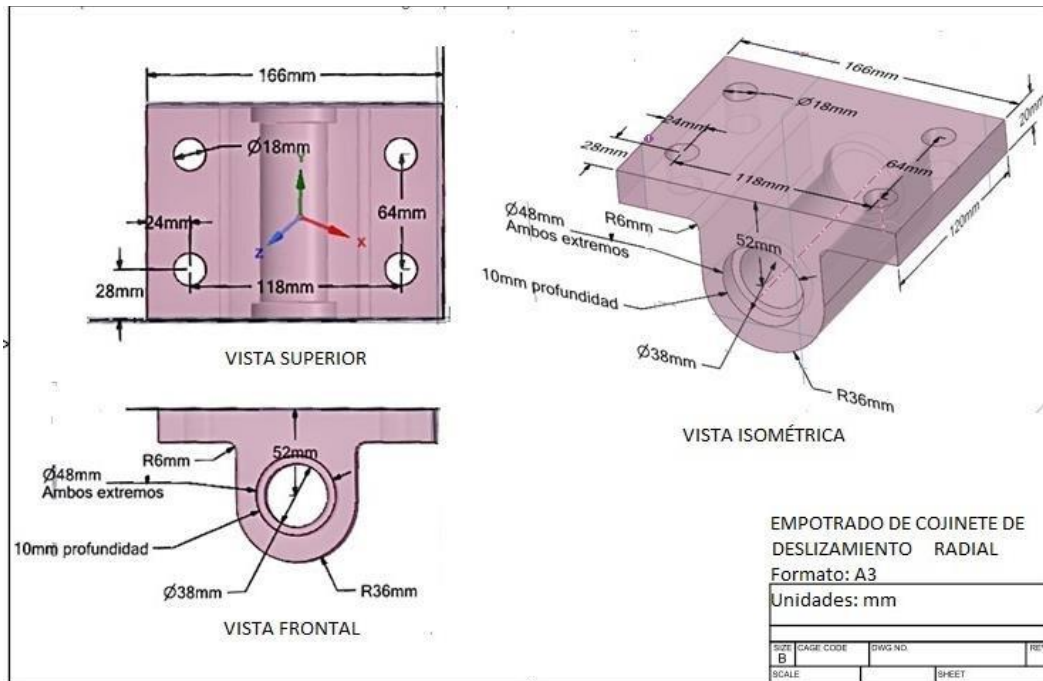


Figura 3. Hoja de dibujo técnico de la pieza

Apéndice C. Caso 3: Ejercicio de optimización

- Introducción

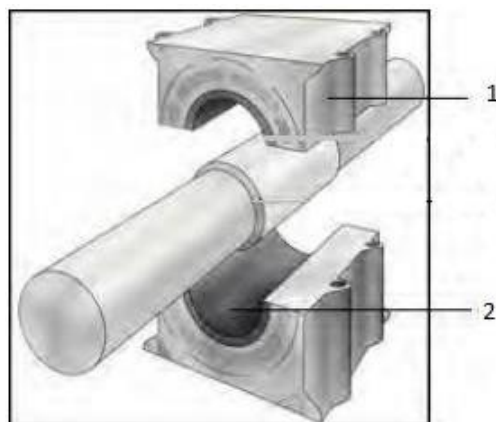
Pieza	Empotrado de cojinete de deslizamiento radial
Principio de funcionamiento	Soporte de cargas mediante apoyos fijos para movimiento mecánico de un eje mediante lubricación
Uso	Maquinaria de sistemas de transporte, industria de fabricación manufacturera textil y de alimentos
Material 1	Fundición gris
Material 2	Bronce
Descripción	Pieza compuesta por 4 apoyos fijos que brindan soporte, absorción y distribución de cargas, además de una perforación mayor que sostiene y permite la rotación de un eje cilíndrico.



Figura 1. Fuente:

https://es.wikipedia.org/wiki/Cojinete_de_deslizamiento

- Información

Figura 2. Partes de la pieza. Fuente: e-educativa-catedu.es / propia

- 5) Cuerpo del cojinete o soporte
- 6) Casquillo, buje o cojinete

La pieza está compuesta por el cuerpo del cojinete (chumacera) de fundición gris y por un cojinete de bronce en la parte interna en contacto con el eje. Adicionalmente, se conoce que la pieza en servicio puede experimentar una fuerza máxima de 22500 [N] sobre la cara superior donde se encuentran ubicados los soportes fijos (ver hoja de dibujo).

- Proceso

Se pide realizar una simulación de OPTIMIZACIÓN para la pieza 1, conocida como empotrado de cojinete de deslizamiento, con el objetivo de conocer nuevas alternativas de diseño para el cuerpo de cojinete (soporte). Para ello, modifique el radio de curvatura de la cara frontal de radio 36mm y en este caso no tenga en cuenta el cojinete de bronce. Realice la configuración de la siguiente manera

1) Parámetro de entrada: radio de curvatura

Límite inferior = 0,03m

Límite superior = 0,05m

2) Parámetros de salida:

Esfuerzo equivalente = 276Mpa máximo

Masa

Recuerde que el objetivo es proponer un diseño de cuerpo de cojinete más ligero, que sufra menos esfuerzo y que cumpla con las condiciones de servicio, por lo que debe elegir la nueva alternativa de diseño teniendo en cuenta los parámetros anteriores. Para ello minimice y establezca un límite de 276Mpa para el esfuerzo equivalente, y en cuanto a la masa, obtenga un diseño de menor masa posible (sin límite preestablecido por el usuario).

A continuación, se presenta la hoja de dibujo técnico de la pieza a analizar, se requiere realizar el diseño de acuerdo a las medidas especificadas para poder llevar a cabo la simulación.

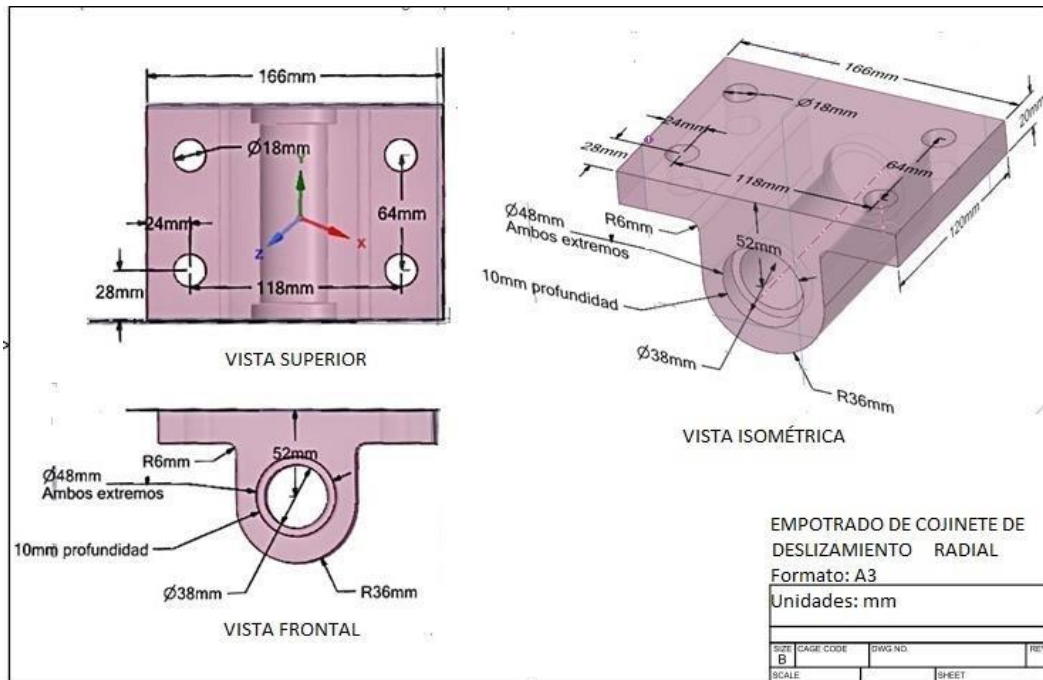


Figura 3. Hoja de dibujo técnico de la pieza

Apéndice D. Caso 4: Ejercicio de carácter térmico

- Introducción

Pieza	Disipador de calor
Principio de funcionamiento	Transferencia de calor desde la parte caliente que se desea disipar, al aire
Uso	Disminuir la temperatura de algunos componentes electrónicos
Material 1	Aleación de aluminio
Material 2	Silicona
Descripción	Pieza compuesta por una base con 13 aletas, además de un componente térmico ubicado en la cara inferior de la base y dos agujeros pasantes, cada uno en los extremos de la base.

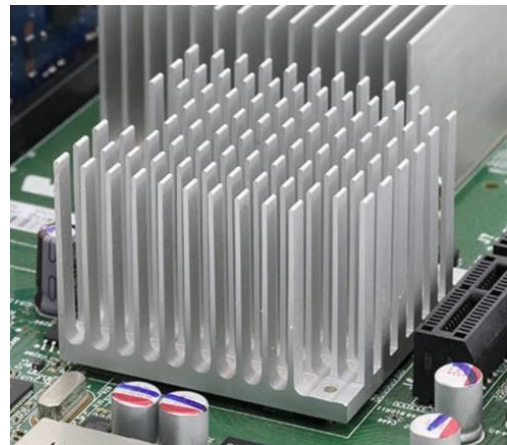


Figura 1.

Fuente: <https://tecnoinformatic.com/c-informatica-basica/disipador-de-calor/>

Tabla 1. Descripción de la pieza

- Información

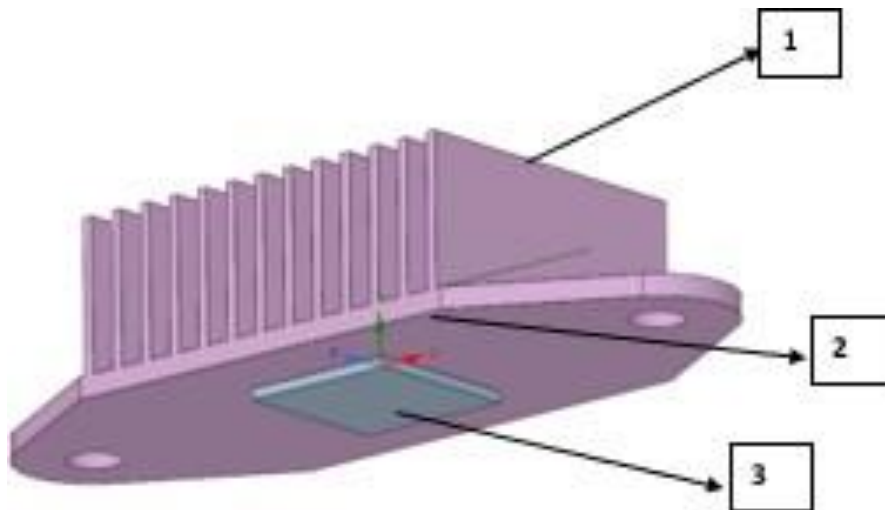


Figura 2. Partes de la pieza

- 1) Aletas
- 2) Base
- 3) Almohadilla térmica

La pieza está compuesta por una base de aluminio que contiene 13 aletas delgadas del mismo material (1y2), además de una almohadilla termoconductora de silicona (3), cuya función es ayudar a la conducción del calor entre el chip y el disipador de calor. Adicionalmente, se conoce que el chip al que está unido el disipador de calor, puede emitir un flujo de calor de 50W (distribuidos uniformemente en la superficie de contacto entre el chip y la almohadilla térmica) cuando se encuentra en servicio.

También se conoce que el calor transmitido a la base se disipa a través de las aletas por convección, con un coeficiente de transferencia de calor de $50 \frac{W}{m^2 \cdot C}$, cuando el aire se encuentra a 25°C.

- Proceso

Con el objetivo de evaluar la disipación de calor del chip mediante la pieza asignada, se pide realizar una simulación de carácter TÉRMICO-ESTADO ESTACIONARIO a esta y su componente termoconductor, conocidos como disipadores de calor, para de conocer los siguientes resultados cuando la pieza sea sometida a las condiciones establecidas de servicio.

- Temperatura del cuerpo: valor máximo, mínimo y promedio,
- Flujo de calor por unidad de área en el cuerpo: valor máximo, mínimo y obtener el gráfico de vectores de temperatura.
- Promedio de temperatura en la superficie de contacto entre el chip y la almohadilla térmica.
- Promedio de temperatura en la superficie de contacto entre el disipador de calor y la almohadilla térmica.
- Promedio del flujo de calor por unidad de área en las aletas.
- Promedio de Temperatura en las aletas

- Diseño

A continuación, se presenta la hoja de dibujo técnico de la pieza a analizar, se requiere realizar el diseño de acuerdo a las medidas especificadas para poder llevar a cabo la simulación.

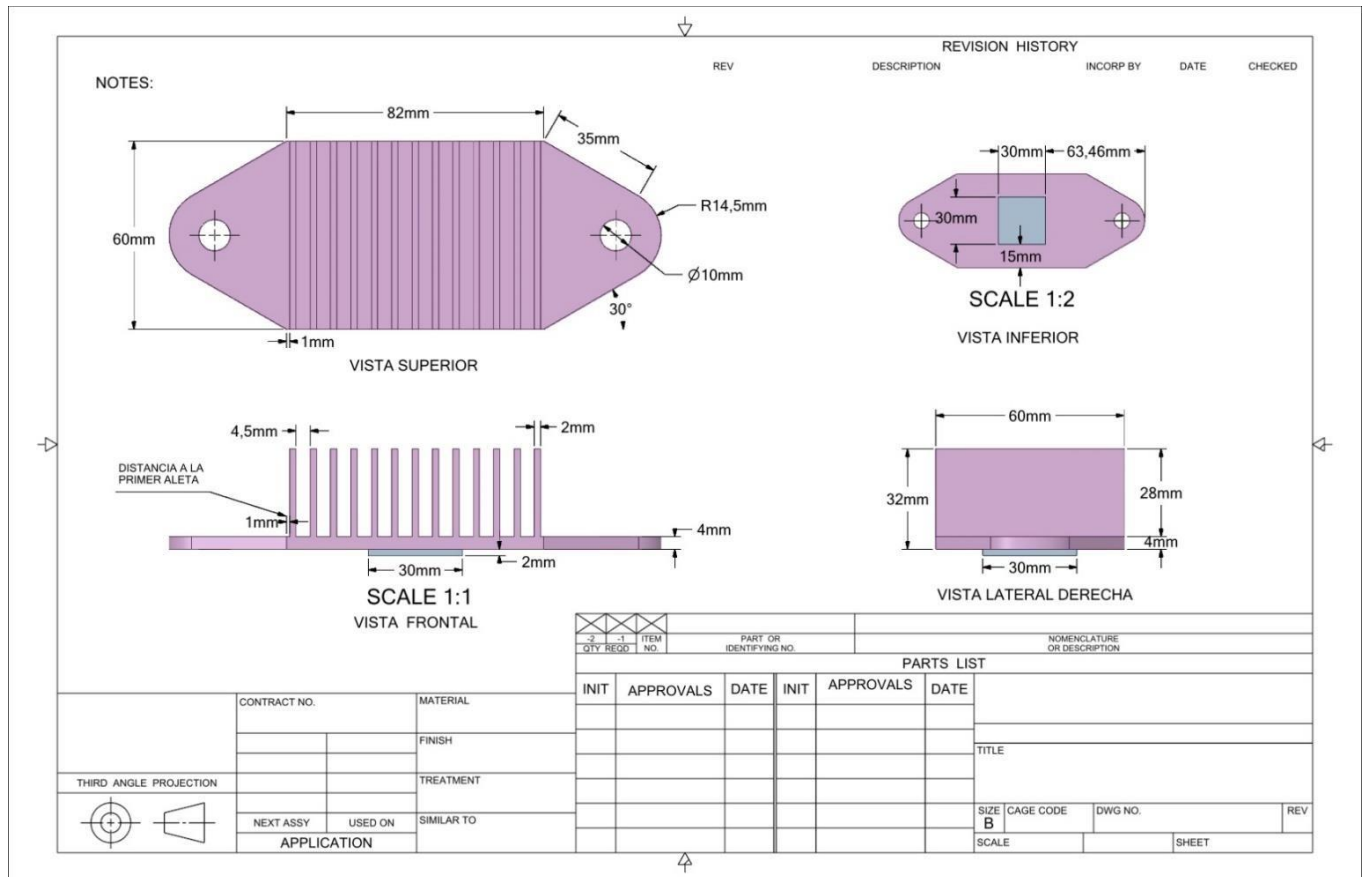


Figura 3. Hoja de dibujo técnico de la pieza