



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

MODELADO Y ANÁLISIS DE TENSIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR

AUTOR: JAVIER MONTESINOS SANCHO

TUTORA: LARISA DUNAI DUNAI

Curso Académico: 2020-21

RESUMEN

En el presente Trabajo de Final de Grado se lleva a cabo la representación virtual en 3D de un motor eléctrico de inducción con rotor de jaula de ardilla. Para ello se va a hacer uso de la herramienta de software Autodesk Inventor Profesional 2019. La realización del motor consiste en el modelado de cada una de las piezas de las que está formado, su posterior ensamblado para obtener el producto final, así como una serie de planos de conjunto. También se va a efectuar un análisis de tensión del eje del motor mediante cálculo numérico con elementos finitos, aplicándole las posibles cargas a las que debería trabajar durante su periodo de uso. El análisis de tensión incluirá un análisis estático que estudia las zonas de máxima tensión de la pieza y un análisis modal, el cual estudia las frecuencias naturales en las que la pieza vibra. Ambos ensayos tienen el objetivo de encontrar posibles fallas en la pieza. Por último se extraerán conclusiones a partir de los resultados obtenidos y posibles alternativas para trabajos futuros.

Palabras Clave: Autodesk Inventor, motor eléctrico, modelado, análisis de tensión

RESUM

Al present Treball de Fi de Grau es du a terme la representació virtual en 3D d'un motor elèctric de inducció amb rotor en gàbia d'esquirol. Amb aquesta intenció, es farà ús de la ferramenta de software Autodesk Inventor Professional 2019. La realització del motor consisteix en el modelatge de cada una de les peces de què està format, el posterior ensamblatge per obtindre el producte final, així com una sèrie de plànols de conjunt. També s'efectuar un anàlisi de tensió del eix del motor mitjançant càlcul numèric amb elements finits, aplicant-hi les possibles càrregues a les que deuria treballar durant el seu període d'ús. L'anàlisi de tensió inclourà un anàlisi estàtic que estudia les zones de màxima tensió de la peça i un anàlisi modal, el qual estudia les freqüències naturals en què la peça té vibracions. Ambdós assajos tenen l'objectiu de trobar possibles falles a la peça. Per últim s'extrauran conclusions a partir dels resultats obtinguts i possibles alternatives per treballs futurs.

Paraules clau: Autodesk Inventor, motor elèctric, modelatge, anàlisi de tensió.

ABSTRACT

In this final dissertation, we will create a 3D virtual representation of an electrical induction motor with a squirrel-cage rotor. For that purpose, the software Autodesk Inventor Professional 2019 has been used. The creation of the motor consists of the modelling of each of the pieces and its consequent assembling to obtain the final product, as well as an overall drawing. We will also make an analysis of tension of the motor's axis through finite elements, applying the possible weights with which it should work during its useful life. The analysis of tensions will include a static analysis that studies the piece's areas of highest tension and a modal analysis that studies the natural frequencies in which the piece vibrates. Both experiments aim at finding possible errors in the piece. Finally, we will draw some conclusions from the obtained results and we will give possible alternatives for further experiments.

Keywords: Autodesk Inventor, electrical motor, modelling, analysis of tensions

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

- DOCUMENTO MEMORIA
- DOCUMENTO PRESUPUESTO
- ANEXO

ÍNDICE DOCUMENTO MEMORIA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Alcance y objetivos	14
CAPÍTULO 2: MOTORES ELÉCTRICOS	15
2.1. Concepto	15
2.2. Clasificación.....	16
2.3. Funcionamiento	17
2.4. Introducción Histórica	18
2.5. Aplicaciones	19
CAPÍTULO 3: AUTODESK INVENTOR	20
3.1. Concepto	20
3.2. Funcionamiento	20
CAPÍTULO 4: PARÁMETROS TÉCNICOS DEL MOTOR	24
4.1. Definición.....	24
4.2. Placa de Especificaciones	26
CAPÍTULO 5: MODELADO 3D	28
5.1. Concepto	28
5.2. Modelado de las piezas	28
5.2.1. Carcasa del motor.....	30
5.2.2. Base del motor	32
5.2.3. Eje del motor.....	33
5.2.4. Tapa delantera.....	34
5.2.5. Protector de ventilador	35
5.2.6. Ventilador	36
5.2.7. Tapa trasera.....	37
5.2.8. Rodamientos	38
5.2.9. Rotor del motor.....	38
5.2.10. Estator del motor	40
5.2.11. Caja de conexiones (caja de bornes)	41
5.2.12. Tapa caja conexiones.....	42
5.2.13. Enroscable azul	43
5.2.14. Placa de bornes.....	44

5.2.15. Gomas y arandelas	45
5.2.16. Plaquitas.....	47
5.2.17. Junta de estanqueidad	47
5.2.18. Bobinado.....	48
CAPÍTULO 6: ENSAMBLAJE	51
6.1. Concepto	51
6.2. Ensamblado de las piezas.....	51
6.2.1. Ensamblaje Caja de Bornes	52
6.2.2. Ensamblaje del rotor.....	54
6.2.3. Ensamblaje del estator.....	55
6.2.4 Ensamblaje del bobinado.....	56
6.2.5. Ensamblaje del eje.....	57
6.2.6. Ensamblaje completo	58
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE TENSIÓN	61
7.1. Análisis estático.....	62
7.2. Análisis modal.....	66
CAPÍTULO 8: TRABAJO FUTURO.....	68
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	70

Índice de Figuras

Figura 2.1. Motor eléctrico.....	15
Figura 2.2. Clasificación motores eléctricos	16
Figura 2.3. Ventilador industrial.....	19
Figura 2.4. Ascensor	19
Figura 3.1. Imagen de un boceto realizado en Autodesk Inventor	21
Figura 3.2. Imagen de una extrusión de un boceto realizado en Autodesk Inventor.....	21
Figura 3.3. Imagen centro de contenido de Autodesk Inventor.	22
Figura 3.4. Imagen de un plano en Autodesk Inventor.....	22
Figura 3.5. Imagen de una simulación en Autodesk Inventor.....	23
Figura 4.1. Placa de especificaciones del motor eléctrico.....	26
Figura 5.1. Carcasa del motor modelada en Inventor.	30
Figura 5.2. Bases del motor.....	32
Figura 5.3. Eje del motor.....	33
Figura 5.4. Tapa delantera del motor.	34
Figura 5.5. Protector del ventilador.	35
Figura 5.6. Ventilador.	36
Figura 5.7. Tapa trasera del motor.....	37
Figura 5.8. Rodamiento 6205-2Z.....	38
Figura 5.9. Rodamiento 6204-2Z.....	38
Figura 5.10. Rotor del motor.	39
Figura 5.11. Estator del motor.	40
Figura 5.12. Caja de conexiones.....	41
Figura 5.13. Tapa de la caja de bornes.	42
Figura 5.14. Enroscable azul.	43
Figura 5.15. Placa de bornes.....	44
Figura 5.16. Goma caja de bornes.	45
Figura 5.17. Goma tapa de bornes.	46
Figura 5.18. Plaquitas.....	47
Figura 5.19. Junta de estanqueidad.	47
Figura 5.20. Molde aislante.....	48
Figura 5.21. Bobinado.....	48

Figura 5.22. Bobinado completo.	48
Figura 6.1. Ensamblaje Caja de Bornes.	53
Figura 6.2. Rotor ensamblado.....	54
Figura 6.3. Ensamblado del estator del motor.....	55
Figura 6.4. Ensamblado del bobinado del estator.....	56
Figura 6.5. Ensamblado del eje motor.	57
Figura 6.6. Ensamblaje completo del motor.....	58
Figura 7.1. Mallado del eje sin refinar.	62
Figura 7.2. Mallado del eje refinado.....	63
Figura 7.3. Tensión de Von Mises zona de tracción.....	64
Figura 7.4. Tensión de Von Mises zona de compresión	65
Figura 7.5. Séptimo modo de frecuencia 1617.48Hz.....	66
Figura 7.6. Octavo modo de frecuencia 1746.03Hz	67

DOCUMENTO MEMORIA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Alcance y objetivos

El objetivo del trabajo de fin de grado es la puesta en común de las diferentes materias impartidas en el grado. Gracias a la utilización del software profesional Autodesk Inventor, programa informático utilizado en la asignatura Expresión Gráfica del último curso del grado, se ha podido llevar a cabo el diseño y el modelado, en este caso, de un motor eléctrico de inducción. Asignaturas como la anteriormente nombrada y como Máquinas Eléctricas Sistema de Producción y Fabricación y Tecnología de Máquinas, entre otras, han hecho posible la aplicación e integración de los conocimientos necesarios para la realización de este proyecto.

Tras una pequeña introducción y definición de los motores eléctricos y del programa Autodesk Inventor, se explica el procedimiento seguido para la ejecución del proyecto. Éste está formado por cuatro fases que se realizan de forma consecutiva. La primera de las fases se trata de la toma de medidas de cada una de las dimensiones de todas las piezas que componen el motor eléctrico de inducción. A continuación, con estas medidas se lleva a cabo el diseño y modelado 3D mediante el uso de funciones de diseño mecánico ofrecidas por Autodesk Inventor para crear una representación virtual del motor, así como una breve explicación de cada una de las piezas. Después, se efectúa el ensamblado de las piezas modeladas mediante la restricción de las mismas, de forma que el motor quede montado. Además se realiza un plano de conjunto para cada uno de los ensamblajes. Posteriormente se lleva a cabo un análisis de tensión, tanto estático como modal, del eje del motor, al que se le aplicarán cargas a las que se puede ver sometidas durante su vida útil. Por último se obtienen las conclusiones a partir de los resultados obtenidos durante todo el proyecto y se obtienen las posibles aplicaciones futuras para las que podría utilizarse este modelo, las cuales son parte del objetivo del proyecto.

CAPÍTULO 2: MOTORES ELÉCTRICOS

2.1. Concepto

Para definir un motor eléctrico se ha de definir primero qué es una máquina eléctrica. Areatecnologia.com (2020) refiere que una máquina eléctrica es un dispositivo capaz de transformar cualquier forma de energía en energía eléctrica o viceversa.

Por tanto, un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica de rotación al hacer girar un eje. Cuando el motor transforma la energía de forma inversa, es decir, la energía mecánica es transformada en energía eléctrica, se llaman dínamos o generadores.

Los motores eléctricos están formados principalmente por una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. También consta de un eje al que va soldado el rotor y por el cual obtendremos la energía mecánica de rotación. Estos elementos vienen cubiertos por una carcasa, la cual, además, contiene el bobinado que permitirá la creación de los campos magnéticos.



Figura 2.1. Motor eléctrico.

2.2. Clasificación

La Figura 2.2 muestra un esquema de la clasificación que se puede hacer de los motores eléctricos:

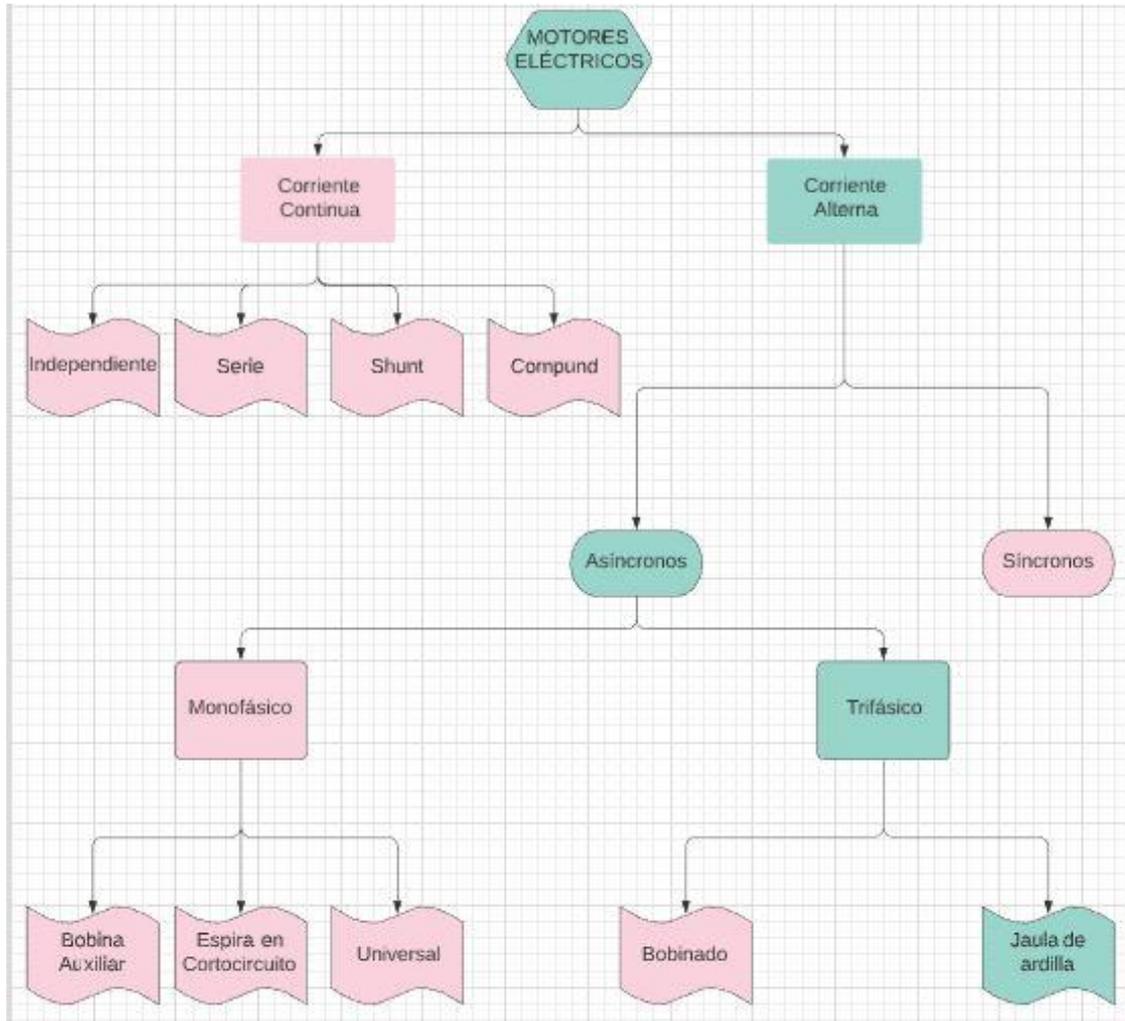


Figura 2.2. Clasificación motores eléctricos.

Marrufo (2010) refiere que los motores eléctricos se pueden clasificar en motores de corriente continua y en motores de corriente alterna. Dentro de los motores de corriente continua están los motores de excitación independientes, de excitación serie, de excitación shunt o derivado y de excitación compuesta o compund.

Los motores de corriente alterna a su vez pueden clasificarse en motores síncronos y asíncronos. Los motores asíncronos pueden ser monofásicos o trifásicos. Dentro de los

motores monofásicos hay motores de bobinado auxiliar, de espira en cortocircuito y universales. Los motores trifásicos se clasifican en función de cómo está construido el rotor. Éstos pueden ser de rotor bobinado y de rotor en cortocircuito, también llamado en jaula de ardilla.

El motor eléctrico de este proyecto es el que tiene las características marcadas en la Figura 2.2 en color verde. Se trata pues, de un motor eléctrico de corriente alterna, asíncrono, trifásico, con rotor de jaula de ardilla.

2.3. Funcionamiento

El medio por el cual los motores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica es el campo magnético.

Areatecnologia.com (2020) refiere que la creación del campo magnético se realiza mediante la circulación de corriente eléctrica por una espira. El campo magnético inducirá una fuerza de rotación en la espira. Al tener tres espiras alimentadas por tres fases distintas desfasadas 120° (trifásico), se crean 3 campos magnéticos que al interactuar crean un campo magnético giratorio en el estator del motor. Éste campo magnético, según la Ley de Lenz, inducirá una fuerza electromotriz que generará un campo magnético en el rotor. Los motores eléctricos de inducción están constituidos por un circuito magnético y dos eléctricos, colocados uno en el estator y otro en el rotor. La velocidad del campo magnético del estator y del rotor es diferente, por eso lo llamamos motor asíncrono. El campo del rotor tendrá una velocidad inferior a la del estator e intentará seguirlo, de esta forma el rotor comenzará a girar, haciendo girar el motor.

$$N_{rotor} < N_{estator} \quad [2.3.1]$$

El deslizamiento es la diferencia relativa entre la velocidad del estator y el rotor:

$$S = \frac{N_{estator} - N_{rotor}}{N_{estator}} \quad [2.3.2]$$

Aunque la velocidad tiene que ser fija, gracias a los avances en la electrónica de potencia, existe una forma de regular la velocidad mediante arrancadores estáticos, los cuales actúan

sobre la frecuencia de la alimentación del motor, recibiendo el nombre de convertidores de frecuencia. Además de regular la velocidad, pueden amortiguar el arranque e incluso frenarlo.

En motores de corriente continua, la corriente se obtiene de fuentes de alimentación que se encuentran instaladas en el interior de los aparatos que trabajan con los motores como pueden ser baterías, dínamos o paneles solares.

En el caso de la corriente alterna, la corriente se toma directamente de la red, de alternadores de plantas eléctricas de emergencia u otras fuentes de alimentación como los inversores de potencia, alimentando al estator con una corriente trifásica senoidal.

2.4. Introducción Histórica

El inglés Michael Faraday es considerado el inventor del motor eléctrico al demostrar en 1821 la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica, por medios electromagnéticos (Loveshaing.com 2020).

En su experimento, metió un alambre de hierro por uno de sus extremos en un recipiente con mercurio. A continuación introdujo un imán en el recipiente. Al suministrar corriente al alambre por el extremo libre, mediante una batería química, éste comenzó a rotar alrededor del imán. Esta fue la base del motor eléctrico y se le llamó motor homopolar (Blog.hyundaicanarias.com 2020).

Sin embargo, no se podría haber alcanzado este logro sin las previas aportaciones científicas como la Ley de Coulomb, la invención de la pila electroquímica inventada por el italiano Alessandro Volta o la Ley de Ampère presentada por el francés André-Marié Ampère, la cual describe como la interacción de un campo magnético y la corriente producen fuerza mecánica (Loveshaing.com 2020).

A lo largo del tiempo se ha ido mejorando y perfeccionando este tipo de motores hasta llegar a utilizarlos en muchas aplicaciones distintas.

2.5. Aplicaciones

Los motores de corriente continua y los motores de corriente alterna síncronos se utilizan en aplicaciones específicas.

Los motores eléctricos de corriente alterna asíncronos ya sean monofásicos como trifásicos son muy utilizados y tienen un elevado número de aplicaciones más generalizadas debido a sus múltiples ventajas, frente a otros tipos de transformación de la energía, como la facilidad de limpieza, la economía, la seguridad de funcionamiento o la comodidad.

Farina (2018) refiere que se usan principalmente en el ámbito industrial como en bombas elevadoras de agua, ascensores, escaleras mecánicas, equipos de acondicionamiento de aire, ventilación, rampas, puertas automáticas... Al poseer un elevado par motor y al ser motores eficientes son empleados en transportes pesados como barcos, trenes y submarinos. Sin embargo, son muy versátiles ya que no solo se utilizan para grandes proyectos de ingeniería sino que, el hecho de que se puede obtener grandes potencias con motores de pequeño tamaño, los hace muy útiles en uso de herramientas eléctricas como taladros o batidoras.

Los motores de jaula de ardilla, como el de este proyecto, son utilizados en aplicaciones industriales como en bombas centrífugas, cintas transportadoras, herramientas mecánicas, tornos y equipos similares y grandes sopladores y ventiladores (Electrónica Fácil Top 2020).

En la Figura 3 y Figura 4 se puede ver ejemplos físicos donde se utilizan como es en ventiladores y ascensores, respectivamente:



Figura 2.3. Ventilador industrial.



Figura 2.4. Ascensor.

CAPÍTULO 3: AUTODESK INVENTOR

3.1. Concepto

Autodesk Inventor es un software profesional que entró en el mercado en 1999. Se trata de un paquete de modelado paramétrico de sólidos de 3D CAD (Computer Aided Designer) para diseño de productos e ingeniería.

Perdomo (2020) refiere que este software proporciona herramientas específicas y profesionales para el acotado, diseño mecánico y de producto, visualización, simulación y documentación de productos en 3D. Además cuenta con funciones que siguen normas, estándares y licencias, archivos exportables, etc. De esta forma se facilita el trabajo de diseñadores y clientes para poder recrear prototipos e impresiones 3D con las que hacer pruebas.

Una ventaja más es la capacidad de poder trabajar de forma multidisciplinar entre profesionales. Gracias a esta plataforma pueden compartir información, colaborar e interactuar en tiempo real.

3.2. Funcionamiento

Autodesk Inventor consta de varias funciones con las que trabajar y obtener distintos resultados. Utiliza formatos específicos de archivos para cada función. Además puede importar y exportar como boceto el formato del archivo de AutoCAD (.DWG).

- **Diseño mecánico en 3D.** Esta es una función que consiste en diseñar bocetos en 2D a partir de los cuales se modelará la figura en 3D. Mediante herramientas como la extrusión, revolución o realización de agujeros, entre otras, se pueden obtener piezas de geometrías muy variadas. Para esta función se utiliza el formato de archivo (.IPT).

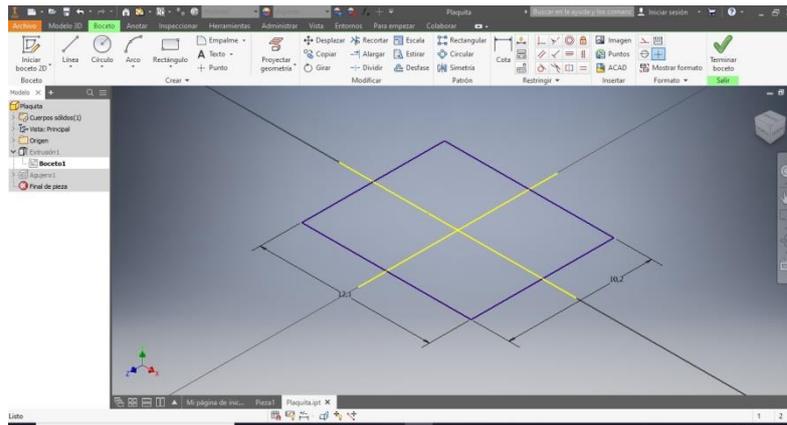


Figura 3.1. Imagen de un boceto realizado en Autodesk Inventor.

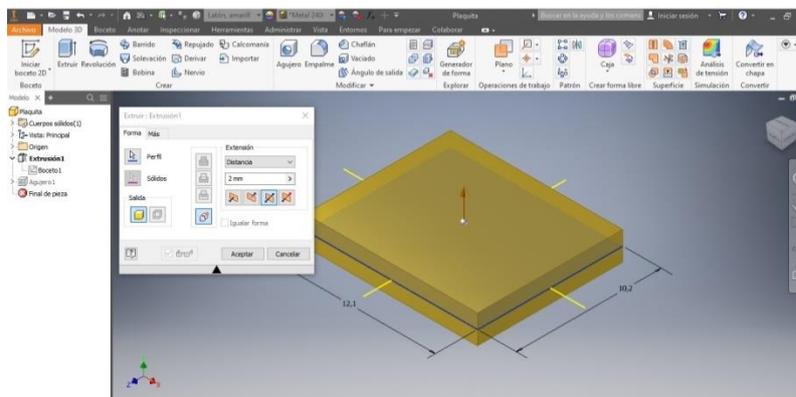


Figura 3.2. Imagen de una extrusión de un boceto realizado en Autodesk Inventor.

- Modelado de ensamblaje. Esta función consiste en la inserción de componentes específicos en estructuras o unión de piezas. Sirve tanto para juntar piezas como para enroscar elementos mediante restricciones de desplazamiento. Además Autodesk Inventor consta de un Centro de contenido el cual incluye más de 750.000 componentes normalizados, entre ellos, cables, chapas metálicas, pernos, pasadores, arandelas, tuercas... Para esta función utiliza el formato de archivo (.IAM).

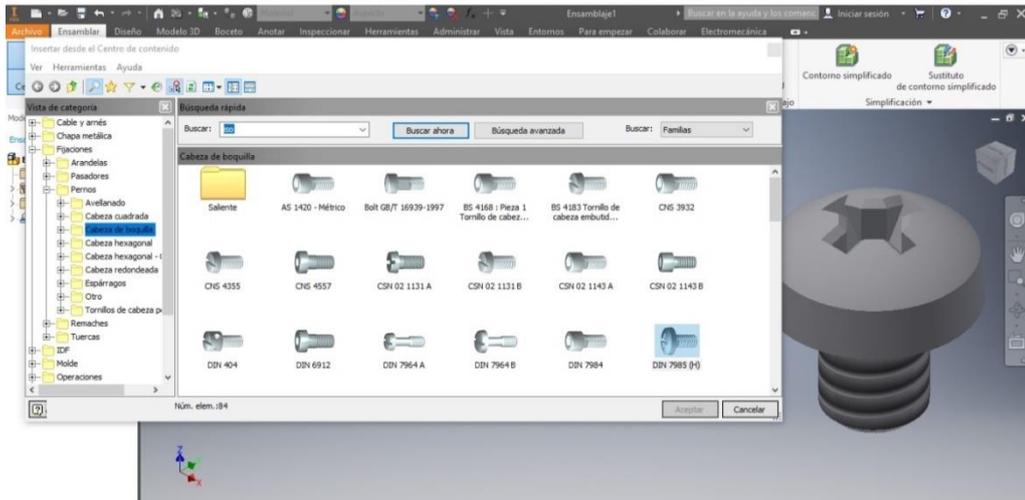


Figura 3.3. Imagen centro de contenido de Autodesk Inventor.

- Creación de dibujos. Esta función permite la generación de planos de las piezas con diferentes vistas configurables. Permite representar las vistas de la pieza a partir de la pieza modelado, lo que agiliza mucho el trabajo. También se pueden realizar cortes en las vistas, hacer cajetines, crear anotaciones, vistas de detalle, plano en conjunto... Para esta función utiliza el formato de archivo (.IDW).

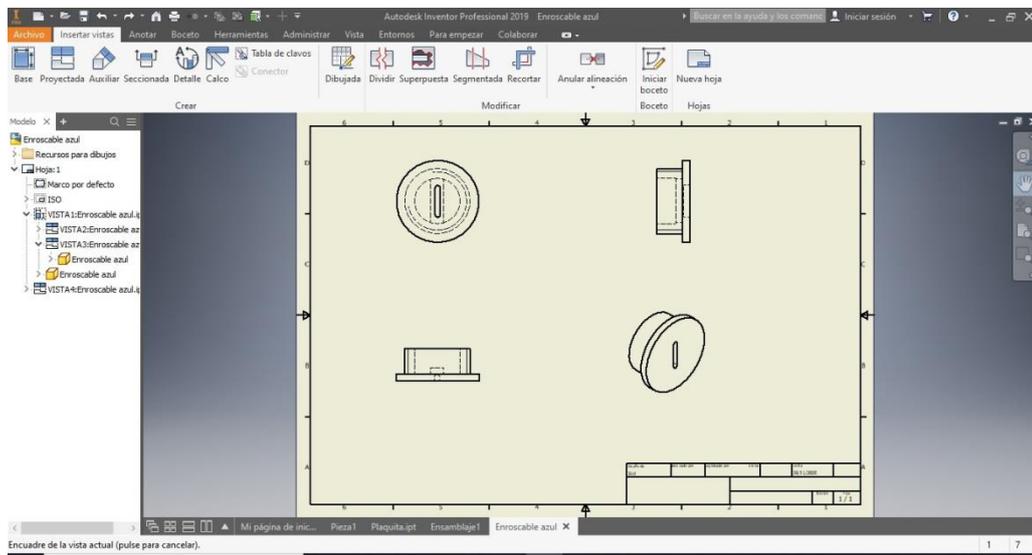


Figura 3.4. Imagen de un plano en Autodesk Inventor.

- Análisis y simulaciones. Esta herramienta permite análisis y simulaciones con el objetivo de encontrar alternativas que sirvan para mejorar las piezas o ensamblajes y para la obtención de información con la que poder evitar fallos y roturas en las piezas.

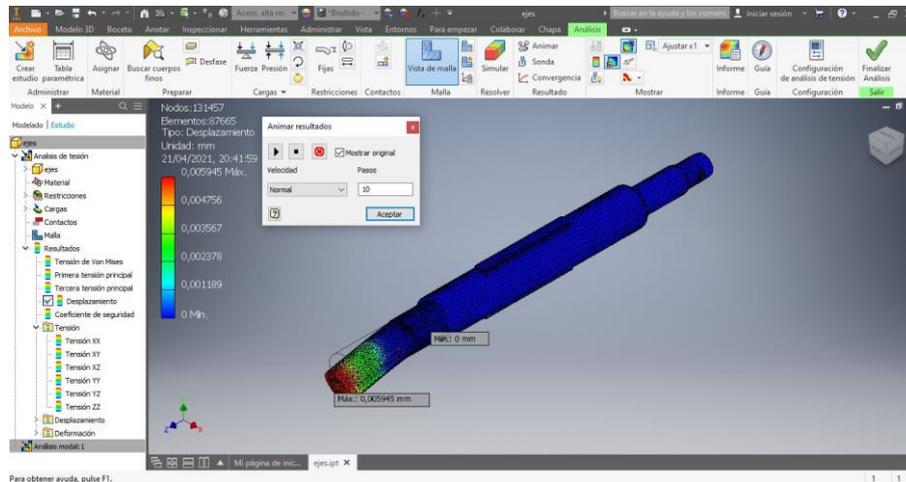


Figura 3.5. Imagen de una simulación en Autodesk Inventor.

Para complementar estas funciones, Inventor se basa en técnicas de Modelado Paramétrico, lo cual quiere decir que, todas las piezas que se diseñen pueden ser editadas y corregidas en cualquier momento. Cuando se alteran las dimensiones y materiales originales al modelar la geometría, ésta se actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones (Ecured 2020).

CAPÍTULO 4: PARÁMETROS TÉCNICOS DEL MOTOR

4.1. Definición

Los parámetros técnicos de un motor son aquellos a partir de los cuales se realiza la selección de un motor eléctrico en función de la aplicación en la que van a ser utilizados.

Los parámetros característicos según roydisa (2020) son:

- La potencia. Es la fuerza generada por un motor para poder mover una carga a una determinada velocidad. Se expresa en kilovatios (KW) o CV (Caballos de Vapor)
- La velocidad. Es el número de giros por minuto que puede desarrollar el motor. Se mide en revoluciones por minuto (rpm).

Se llama velocidad de sincronismo a la expresión definida por:

$$n = \frac{60f}{p} \quad [4.1.1]$$

Siendo: n: Número de revoluciones por minuto.
 f: Frecuencia de la red.
 p: Número de pares de polos de la máquina.

La velocidad del rotor de los motores de corriente alterna asíncronos será siempre distinta a la velocidad de sincronismo. En concreto, un poco inferior.

- La frecuencia. Es el número de veces que la tensión de la red repite su ciclo por minuto. En España se utiliza una frecuencia de red de 50 Hz.
- Número de polos. La sincronización de la rotación del eje con la frecuencia de la corriente de alimentación, establece el número de polos de un motor.
- La tensión. Es el voltaje con el cual se diseña el motor y debe coincidir con el de la máquina a accionar.
- El grado de protección. Consta de dos índices los cuales indican la protección contra la entrada de cuerpos extraños y la protección contra la entrada de agua, respectivamente.
- La carcasa y tamaño. Es fundamental el tipo de carcasa a utilizar en la selección del motor eléctrico por permitir identificar gran parte de sus dimensiones mecánicas. Parámetros como la potencia y la rotación del motor nos van a definir el tamaño de

la carcasa. Esta se representa con la letra H y va desde la base de soporte hasta el centro del eje, en milímetros. Hvhindustrial.com (2020) refiere que los tipos más comunes de carcasa son:

- Prueba de goteo abierta (ODP).
 - Protegido contra clima (WP1/WP2).
 - Ventilador totalmente cerrado refrigerado (TEFC).
 - Totalmente cerrado sin ventilación (TENV).
 - Aire completamente cerrado (TEAO).
 - Ventilación forzada totalmente cerrada (TEFV).
 - XP (a prueba de explosiones).
- La forma constructiva. Determina como va a ser acoplado a la carga y fijado.
 - Las clases de aislamiento. Son los aislamientos con los cuales van a estar contruidos los motores y que van a determinar la temperatura máxima de operación permitida, además de ser la máxima que podrán soportar los aislamientos.
 - La ventilación. Está ligado al tipo de carcasas utilizado. Es el encargado de la refrigeración del motor.
 - La placa de identificación. También llamada placa de características o especificaciones. Es una placa donde se indica una serie de datos que proporcionan información suficiente y necesaria para poder identificar el motor según sus características.

4.2. Placa de Especificaciones

Como se ha explicado anteriormente, la placa de características proporciona información sobre el motor. A continuación se presenta una imagen de la placa del motor del proyecto y sus especificaciones.

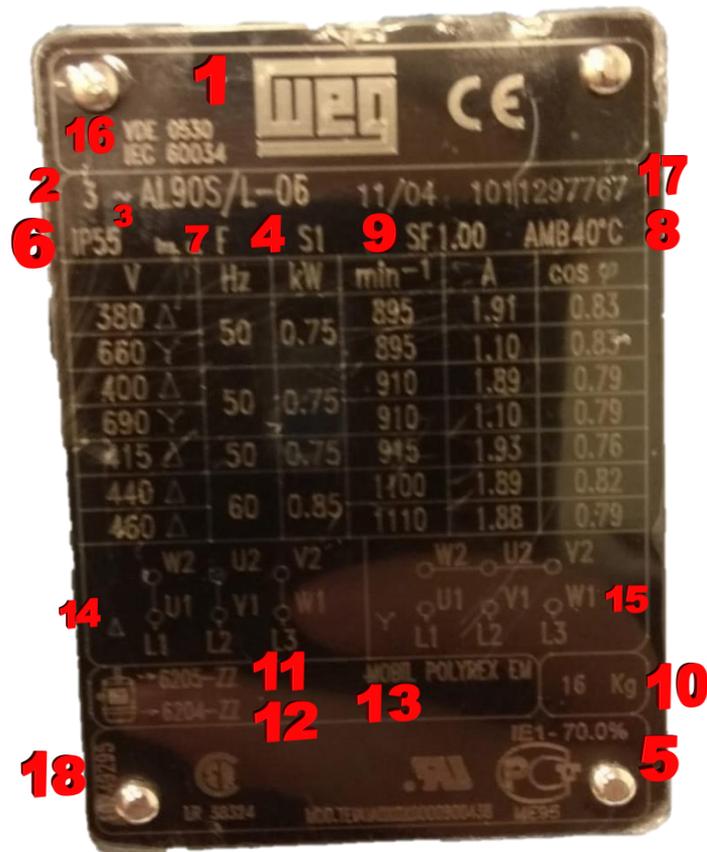


Figura 4.1. Placa de especificaciones del motor eléctrico.

1. Nombre del fabricante: WEG.
2. Número de fases: 3. Motor trifásico.
3. Clase de corriente: Corriente alterna.
4. Régimen de servicio o funcionamiento nominal: S1.
5. Eficiencia: 70%
6. Tamaño de carcasa: IP55. Puede trabajar en ambientes desabrigados. El primer dígito indica protección contra la acumulación de polvos perjudiciales al motor. El segundo dígito indica protección mecánica. Protección contra chorros de agua provenientes de todas direcciones.

7. Clase de aislamiento: F. Permite 155° como temperatura máxima de operación.
8. Temperatura ambiente máxima: 40°C.
9. Factor de servicio: SF1.
10. Peso del motor: 16Kg.
11. Especificación del rodamiento delantero: 6205-ZZ.
12. Especificación del rodamiento trasero: 6204-ZZ.
13. Tipo de grasa de los rodamientos: MOBIL.
14. Diagrama de conexión para tensión nominal: conexión en triángulo.
15. Diagrama de conexión para tensión de arranque: conexión en estrella.
16. Certificaciones: Número y año de edición de la disposición VDE tomada como base-00530. IEC-60034. Ésta última es la norma europea (International Electrotechnical Commission).
17. Número de serie: 1011297767.
18. Código del motor: 10749295.

El motor utilizado está descatalogado, pero en la página oficial de WEG se puede encontrar un motor actualizado con las mismas características que el motor de este proyecto. Para ello, es necesario filtrar la búsqueda por los parámetros:

-Frecuencia: 50Hz

-Voltaje nominal: 415V

-Número de polos: 6

-Potencia: 0.75KW

-Caja de conexiones: arriba

Una vez filtrado aparecen tres motores con estas características, de entre ellos, se escoge el motor con carcasa estándar tipo L90S.

El catálogo del fabricante proporciona información útil del motor como son los datos eléctricos y mecánicos, curvas de desempeño: eficiencia, deslizamiento, factor de potencia y corriente, así como curva de par y curva de corriente. También se ofrece un programa de cálculo del consumo energético y costes asociados del motor además de un cálculo del retorno de la inversión en distintas situaciones.

CAPÍTULO 5: MODELADO 3D

5.1. Concepto

El modelado 3D es un proceso que sirve para representar digitalmente un objeto tridimensional con un software de dibujo. Para este proyecto se ha utilizado la aplicación de modelado Autodesk Inventor para realizar manualmente el modelo 3D de un motor eléctrico. Este tipo de modelado permite conocer de forma global como serán los elementos físicos en la práctica.

Para la realización de cada una de las piezas, se han tomado medidas físicas de un motor real y se han utilizado dichos parámetros en la obtención de los bocetos del modelado. De esta forma se consigue una representación digital proporcional a la física.

Una de las principales ventajas de trabajar con modelos 3D es la facilidad para encontrar errores estéticos y funcionales. De tal manera se pueden corregir antes de realizar el procesado de las piezas y con el consecuente ahorro de tiempo y dinero.

5.2. Modelado de las piezas

Como primer paso para trabajar con Inventor es necesario crear un nuevo proyecto como sistema para organizar los archivos que van a formar parte del trabajo. De esta forma se generará un archivo que se guarda en formato (IPJ) y al cual estarán vinculados los demás archivos que se generen, sea cual sea el formato en el que se guarden.

Una vez creado el proyecto ya se puede proceder a realizar el modelado de las piezas. Se crea un nuevo archivo y se escoge el tipo con el que se va a trabajar, en este caso para el modelado 3D es el que se indica como “Pieza: crear objetos 2D y 3D” y se escoge “Normal.ipt” el cual corresponde al formato IPT para generar piezas. Se genera un archivo IPT por cada pieza que se modela.

El modelado de las piezas comienza con la creación de un boceto en 2D en el cual se elige un plano de trabajo donde se van a realizar las formas que se deseen y mediante las herramientas de boceto se dibujan. Los planos de trabajo elegidos pueden ser los del origen de coordenadas que aporta Inventor o se puede crear un plano de trabajo desfasado donde convenga, de la misma forma sucede con los ejes.

Para este proyecto se ha tomado la dirección paralela al eje Z del origen como orientación que seguirá el eje del motor y por lo tanto que seguirán el resto de piezas a modelar. En el grupo de herramientas denominado como “Boceto” se tiene la opción de dibujar líneas, puntos, círculos, arcos o rectángulos de diferentes formas. Una vez terminado el boceto es conveniente tener las figuras totalmente restringidas ya sea mediante la acotación o mediante la fijación de ciertos puntos a los planos o ejes de referencia. Para poder restringir los trazados a ejes o planos es necesario hacer uso de la herramienta “Proyectar geometría”.

A continuación mediante las herramientas de modelado 3D y a partir de los bocetos dibujados se pueden utilizar operaciones básicas como la extrusión, revolución, agujero o empalme para obtener figuras en 3D. Para utilizar la herramienta de extrusión se necesita tener un contorno cerrado en 2D al cual se le dará profundidad, de este modo, a partir de un cuadrado se puede obtener un prisma o a partir de un círculo obtener un cilindro. La herramienta de revolución se utiliza para piezas tipo eje y al igual que la extrusión necesita un contorno cerrado. Además es necesario indicar un eje a partir del cual realizar la extrusión, así como el ángulo de revolución que se desee. Entre estas operaciones están los patrones. Éstos permiten crear duplicados de formas y operaciones y los organizarlos en forma de filas o columnas a lo largo de una ruta, en un patrón circular o hacer simetría.

Por último, una vez realizada la geometría de las piezas, mediante la herramienta de que dispone Inventor en la cual se permite elegir los materiales y colores a aplicar en las piezas, se ha elegido los más fieles a la realidad.

A continuación se presentan las diferentes piezas de las que se compone el motor así como su función (Farina 2018) y el proceso que se ha llevado a cabo para modelarlas usando las herramientas anteriormente nombradas:

5.2.1. Carcasa del motor.

Es la estructura externa del motor. Tiene como función proteger, sostener y ocultar las piezas internas del motor, es decir, el rotor y el estator. Además de ser la envolvente, le confiere el aspecto estético al motor.



Figura 5.1. Carcasa del motor modelada en Inventor.

El modelado de esta pieza comienza con la creación de un boceto en el cual se dibuja un círculo de $D170$ mm. A continuación se extruye un cilindro a partir del círculo dibujado, generando así lo que será la forma de la carcasa. Con otra extrusión de $D172$ mm se le añade otra capa a la carcasa. A continuación se modela uno de los 4 prismas situados en los bordes del cilindro, los cuales servirán para poder insertar los tornillos y arandelas que dejarán fijadas las tapas delantera y trasera a la carcasa, mediante una extrusión que les dará forma de prisma rectangular. Después se realiza una extrusión de corte para dejar hueco para la arandela. Y tres extrusiones más para darle la forma estética deseada. Se utiliza la operación de chaflán para crear una rampa y por último se le realiza un agujero sencillo de $D7$ mm por donde pasará el tornillo. Mediante simetrías y patrones circulares se obtienen el resto de prismas.

El modelado de las aletas se hace mediante la extrusión del boceto de un rectángulo de espesor 15 mm. Una vez realizada una, mediante un patrón circular de solo 28° se extienden tres aletas más. Se realiza la simetría respecto del plano medio y así se obtienen ocho aletas en la parte superior. Además se añade una aleta central entre las cuatro aletas de un lado y de otro. Con la herramienta de patrón circular a 360° se copian estas 9 aletas en la parte inferior y en los lados, colocadas en los 4 puntos cardinales.

Ahora, para realizar el montículo de la parte superior de la carcasa donde irá apoyada la caja de bornes se extruye un prisma con la forma deseada de 22 mm. Luego con una extrusión tipo corte se vacía el prisma dejando la misma forma en el agujero que tiene la goma que va entre la caja y la carcasa y la propia caja, que es por donde pasará el cableado. Con dos revoluciones y una extrusión se obtiene los dos cilindros piramidales y el puente que los une, situados en el interior del montículo vaciado. Además se hace otra revolución para crear el pequeño cilindro que va en la base de uno de los cilindros piramidales y en el otro se realiza un agujero roscado de M5x0,8. En estos cilindros piramidales se colocará la placa de bornes. El cubo del interior del montículo se realiza mediante una extrusión y un agujero simple de D6,3 mm. En la zona superior de la carcasa donde irá uno de los prismas que sirven para atornillar la tapa delantera a la carcasa y donde se encuentra el montículo para la caja de bornes se realizan dos extrusiones y un agujero sencillo de D8,3 mm.

A continuación se vacía el cilindro principal mediante una extrusión de corte con D163 mm para más tarde poder introducir el rotor y el estator. Una vez ahuecada la carcasa se termina el montículo realizando una extrusión de corte de la mitad de la base para dejar hueco por donde introducir los cables que van al estator. También se realizan cuatro agujeros roscados de M6x1 mm para poder insertar los tornillos que unirán la caja de bornes y la goma a la carcasa.

Por último queda modelar los detalles que se encuentran en la zona exterior de la carcasa, en las aletas. El primer boceto a realizar son los nervios que van entre las dos últimas aletas de cada lado. Aunque estos se hacen en las cuatro posiciones de los puntos cardinales, solo los de la parte inferior de la carcasa van a ser útiles para insertar las tuercas que servirán para fijar las bases del motor a la carcasa. Para ello se extruyen con unión los nervios y con extrusión de corte se realizan agujeros en forma de arco por donde se introducirán los tornillos. Con simetría y patrón circular se copia en la parte superior, inferior y en los lados. Finalmente se extruyen cuatro salientes con sus agujeros en un lado de la carcasa, y mediante simetría, se copia en el otro lado. Ahí es donde se podrá colocar la placa de especificaciones del motor.

5.2.2. Base del motor

Se trata del elemento que soporta las fuerzas mecánicas producidas por el movimiento rotativo del motor. Puede ser bases frontales o bases laterales. El motor del proyecto se trata de un motor con bases laterales.

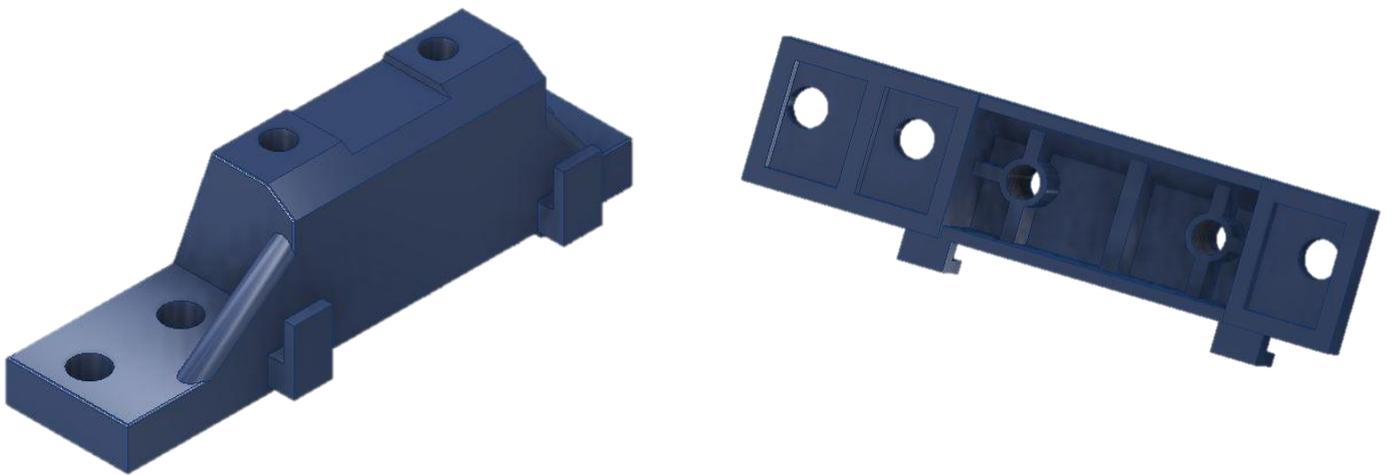


Figura 5.2. Bases del motor.

El modelado de esta pieza comienza con una serie de cuatro extrusiones las cuales sirven para crear la base rectangular que apoya en el suelo y la base prismática en la que se apoyarán las aletas de la carcasa del motor. A continuación con dos extrusiones más, se realizan unas extensiones en una cara de la pieza que servirán también como apoyo y enganche de las aletas. Luego mediante siete extrusiones se ahueca la parte interior del prisma y se da forma a dos tubos a los que se les aplicará la operación de agujero roscado por los que más tarde se insertarán los tornillos. Además se ejecutarán tres agujeros simples a la base rectangular. Por último se utiliza la operación de empalme para redondear algunas superficies para darle aspecto estético.

5.2.3. Eje del motor

Es el elemento al cual está fijado el rotor y en el cual se alojan piezas como los rodamientos, la junta de estanqueidad, la tapa trasera y el ventilador. Es el elemento encargado de transmitir energía entre dos partes mediante movimiento giratorio, por ello, sobresale por fuera de la carcasa. Suele estar hecho de acero o alguna de sus aleaciones.



Figura 5.3. Eje del motor.

El modelado de esta pieza comienza con el boceto donde se dibuja una parte del contorno del eje, cuya longitud es de 313,95 mm. Se debe tener en cuenta los distintos diámetros donde irán alojados tanto los rodamientos, de D25 mm para el delantero y de D20 mm para el trasero, así como el diámetro donde irá el ventilador (D8,5 mm). A continuación se utiliza la herramienta de revolución con ángulo de 360° para darle la forma cilíndrica.

Después se crea un plano de trabajo desfasado 8 mm respecto del plano de origen YZ para poder realizar el boceto donde se dibuja la forma de lo que será el chavetero. Con una extrusión de corte se completa el hueco donde, en el montaje, se colocará la chaveta.

Luego, se realizan 3 agujeros, dos de ellos en las bases del eje. El agujero colocado en la base trasera se trata de un agujero sencillo de asiento avellanado, el de la base delantera es un agujero roscado de asiento avellanado con designación M7x1. El tercer agujero sencillo y pasante de D4 mm, es en que se alojará el pasador cilíndrico que evita que el ventilador se salga. Por último se vuelve a crear un plano desfasado -156,975 mm, esta vez respecto del plano de origen XY, para crear con una extrusión, con su correspondiente boceto, que corresponderá con unos salientes en los cuales irá alojado el rotor.

5.2.4. Tapa delantera

Es una de las dos tapas de las que dispone el motor eléctrico, la cual tiene como función alojar el rodamiento del eje además de encerrar el estator dentro de la carcasa. Está hecha de hierro fundido.

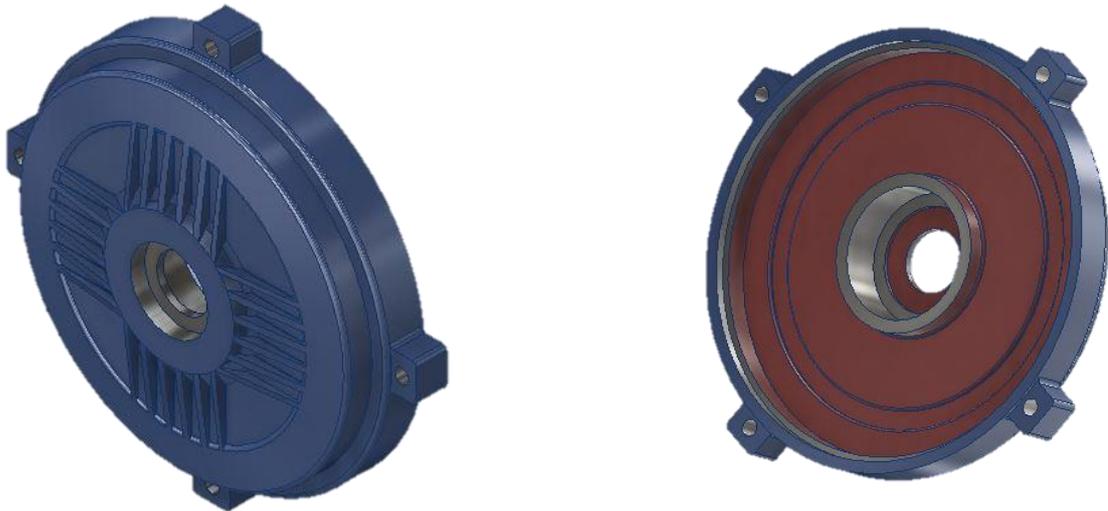


Figura 5.4. Tapa delantera del motor.

El modelado de esta pieza comienza con la extrusión de tres cilindros que le van a dar la profundidad y el diámetro de $D18\text{ mm}$ a la pieza. A continuación se le hace una operación de extrusión tipo corte para vaciar el interior de la pieza y así poder realizarle un agujero sencillo de asiento refrentado de $D37,15\text{ mm}$ y $d25,3\text{ mm}$ por donde pasará y se apoyará el eje. El vaciado del agujero que dará forma al hueco donde se apoya el rodamiento se hace mediante una revolución. Con una serie de extrusiones de corte se va a dar al interior de la pieza las diferentes capas que posee.

Con un plano de trabajo auxiliar que se crea a partir de desfasar 85 mm el plano de origen XZ, y con el uso del patrón circular se le va a dar forma a los cuatro extensiones. En éstas se realizará un agujero sencillo de $D6,8\text{ mm}$ por donde pasarán los tornillos que los unan a la base. Después para realizar la forma estética de la cara frontal se realiza una extrusión de unión para dar volumen y a continuación extruir con tipo corte con las geometrías adecuadas para dar la forma deseada y acabarlo con un patrón circular. Por último se aplica la operación de empalme para dar redondez a algunos contornos

5.2.5. Protector de ventilador

Se trata de una carcasa que cubre al ventilador con la función de protegerlo mecánicamente y evitar contactos directos externos con él. Su geometría permite enviar la mayor cantidad de aire posible a las aletas de la carcasa del motor para así optimizar la eficiencia de la disipación de calor.



Figura 5.5. Protector del ventilador.

El modelado de esta pieza comienza con una revolución de unión con la cual se va a obtener la forma curvada del protector. A continuación se realiza otra revolución con la misma forma curvada pero en este caso de corte, con la intención de que se vacíe el interior, dejando el protector con un espesor de 2 mm. Después mediante unas extrusiones de corte y unión y con la ayuda de un patrón circular, cogiendo como eje de rotación el eje Z del origen, se realiza el mallado. Por último realizando dos agujeros y una extrusión con D6,3 mm se obtiene los huecos por donde luego pasarán los tornillos que se insertan en la carcasa.

5.2.6. Ventilador

Se trata de una pieza alojada en el eje que gracias a su geometría permite la refrigeración del motor cuando éste realiza el movimiento rotativo. Fabricada de polietileno de alta densidad.

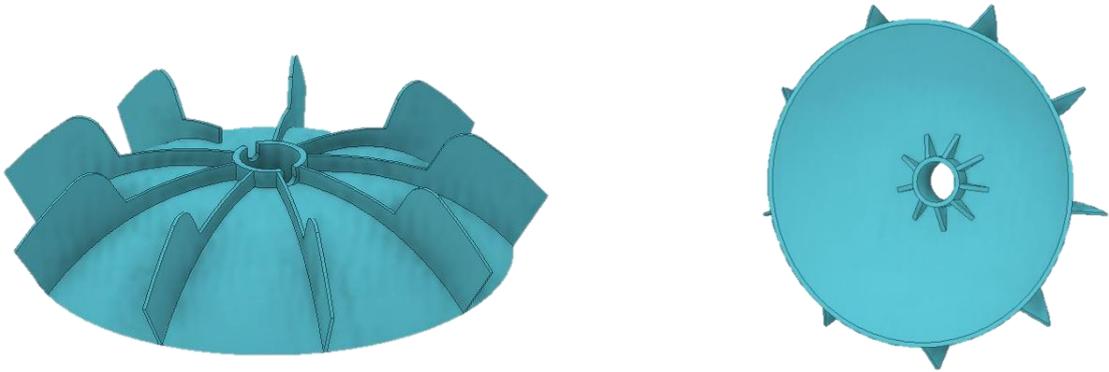


Figura 5.6.Ventilador.

El modelado de esta pieza comienza con la realización de una revolución la cual le dará la forma semiesférica a la pieza y le aportará el agujero central por donde pasará el eje. A continuación se le extruye una paleta y con la ayuda de la herramienta de patrón circular se obtiene las otras ocho. Después se le hace una pequeña ranura en el borde del agujero central mediante una extrusión de corte. Con una simetría se copia la ranura en el borde justo en el lado opuesto. Esta ranura se utilizará para hacer pasar un bulón. Luego con una extrusión tipo corte una parte de la paleta alineada con la ranura es retirada. Por último se añaden mediante extrusión de unión unos nervios que servirán para dar rigidez y soportar esfuerzos.

5.2.7. Tapa trasera

Es una de las dos tapas de las que dispone el motor eléctrico. Está insertada en el eje entre el rotor y el ventilador y tiene como función alojar uno de los rodamientos del eje, además de encerrar el estator dentro de la carcasa. Está hecha de hierro fundido.



Figura 5.7. Tapa trasera del motor.

El modelado de esta pieza comienza con la realización de una revolución que dará la forma completa a la pieza. Ésta tiene un agujero central por donde pasará el eje y un hueco extruido en la misma dirección del eje, donde se acoplará el rodamiento. Con la ayuda de un plano de trabajo, se extruye las formas sobre el contorno del agujero central. A continuación con otro plano de trabajo se dará forma a la extensión prismática donde se llevará a cabo la operación de agujero roscado dos veces. El agujero de eje paralelo al agujero central tiene una designación M6x0,75, mientras que el otro es de M4,5x0,75.

5.2.8. Rodamientos

Hay dos y van insertados en el motor, alojados en las tapas. Tienen como función permitir el giro del eje evitando el rozamiento y a la vez lo sostienen. Estas piezas se extraen del Centro de Contenido de Inventor, ya que están normalizadas. El rodamiento delantero es un DIN 6205-2Z y el trasero un DIN 6204-2Z.



Figura 5.8. Rodamiento 6205-2Z.



Figura 5.9. Rodamiento 6204-2Z.

5.2.9. Rotor del motor

Elemento fijado al eje del motor. Éste hace girar al eje por efecto de los campos magnéticos generados. Está formado por un conjunto de chapas de espesor muy pequeño que se unen en forma de cilindro, colocadas de forma consecutiva y separadas entre sí por unas láminas de resina epoxi, también de reducido espesor, que tiene como función aislar las chapas de forma que se elimine el magnetismo remanente a la vez que sirven de aglomerante. Todas las chapas se acoplan a unas barras cilíndricas conductoras que le confieren el aspecto de jaula.

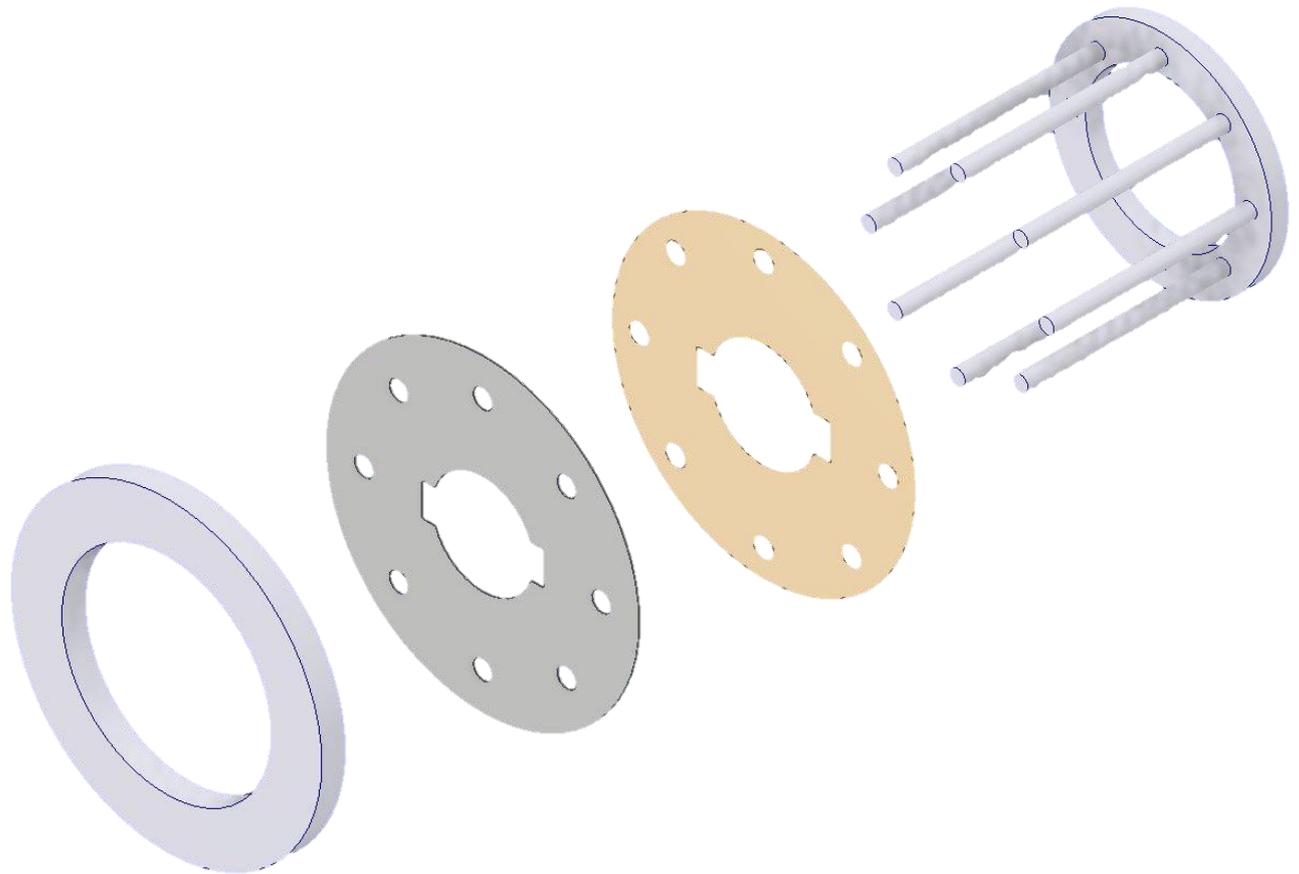


Figura 5.10. Rotor del motor.

El modelado del rotor se compone de cuatros partes. La primera se trata del modelado de la chapa que comienza con la extrusión de 0,25 mm de espesor que le va a dar forma, en la que se indica el D92 mm y d30 mm, además de tener las ranuras donde se va a insertar con el eje. Luego se realiza una extrusión y un patrón circular para obtener los agujeros de D5,8 mm por donde pasará los barrotos de la jaula de ardilla.

El modelado de la lámina aislante es exactamente igual y supondrá la segunda pieza.

La tercera pieza está formada por un anillo y los barrotos que formarán la jaula de ardilla. Para realizar el modelado se ha utilizado una extrusión de un cilindro hueco de D87,3 mm y d59 mm que dará forma al anillo y para los barrotos se ha utilizado otra extrusión de un cirulo de D5,8 mm y de longitud 86,31mm.

La cuarta pieza es otro anillo que va unida mediante soldadura al extremo no cubierto de los barrotos y que por tanto se modela igual que el anillo ya unido a los barrotos.

5.2.10. Estator del motor

Elemento formado por un conjunto de chapas de acero en forma de anillo colocadas de forma consecutiva en el interior de la carcasa. Las chapas están ranuradas para poder hacer pasar el bobinado del motor por ellas. Además estas chapas están separadas por unas láminas de resina epoxi que sirven de aislante entre las diferentes chapas que forman el conjunto del estator.

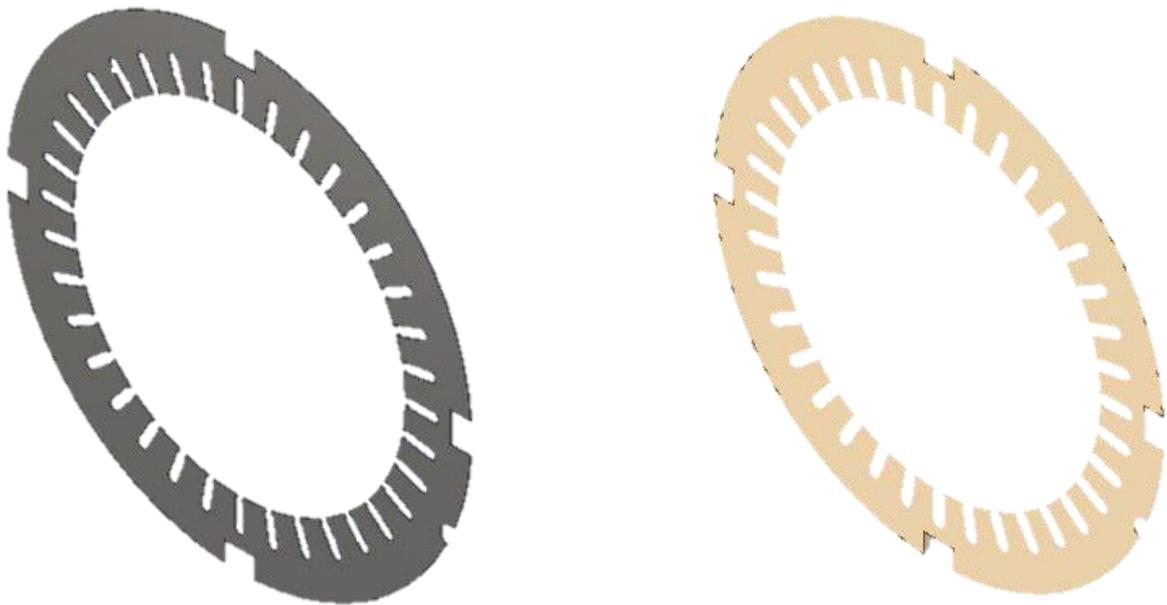


Figura 5.11. Estator del motor.

El modelado de esta pieza comienza con una extrusión donde se dará la forma de lámina al estator de $D163$ mm y el $d117$ mm con un espesor de $0,3$ mm. A continuación mediante una extrusión y con ayuda de un patrón circular se realiza el ranurado del estator. Por último con dos extrusiones más y un patrón circular se obtienen los huecos por donde se ancla el estator a la base. El modelado de la pieza aislante es completamente igual.

5.2.11. Caja de conexiones (caja de bornes)

Elemento que contiene el conector de cables. Es el lugar donde se introducen los cables para ser conectados y está fijado en la parte externa de la carcasa.

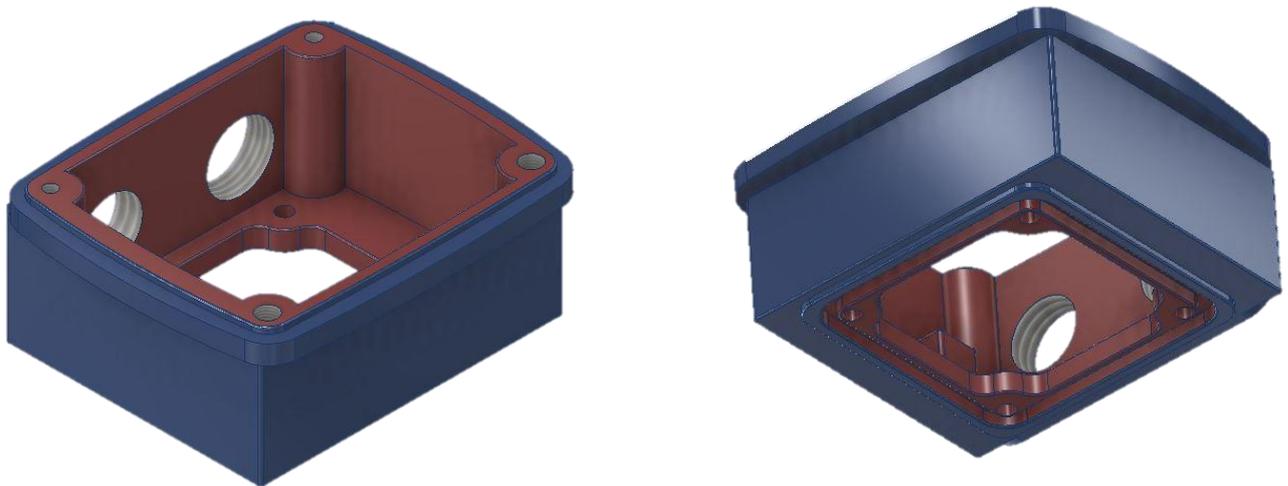


Figura 5.12. Caja de conexiones.

El modelado de esta pieza comienza con una serie de tres extrusiones rectangulares que le dan altura y anchura a la pieza. Ahora con una extrusión tipo corte se hace un agujero al prisma con la forma deseada. A continuación se le aplica la operación de agujero simple pasante de M5x0,8 mm cuatro veces en la parte interna de la pieza para poder insertar más adelante los tornillos que unirán la caja a la carcasa. Después se aplica de nuevo una extrusión tipo corte a la base inferior de la caja para hacer hueco donde se acoplará la goma. Luego se realizan dos extrusiones en la base superior para así realizar a continuación una extrusión de corte y vaciar la pieza y dar forma a la base superior donde irá apoyada la goma de la tapa superior. Seguidamente se extruye un prisma rectangular en el interior de la pieza y se ejecuta un agujero roscado con M4x0,7 mm en su centro para poder colocar las plaquitas. También se realizan cuatro agujeros roscados de M5x0,8 mm en la base superior para unir la tapa la goma y la caja. Falta entonces realizar dos agujeros roscados de M24x3 mm en la cara frontal de la caja por donde se hará pasar el cableado. Por último se utiliza la operación de empalme en algunas superficies para darle un aspecto estético más redondeado.

5.2.12. Tapa caja conexiones

Elemento que sirve de cierre para la caja de conexiones y que se une a ella mediante cuatro tornillos. Entre la tapa y la caja se acopla una goma.



Figura 5.13. Tapa de la caja de bornes.

El modelado de esta pieza comienza con una extrusión rectangular con las medidas de largo y ancho que tendrá la pieza para encajar en la caja de bornes. A continuación se realiza otra extrusión en la base inferior con la misma geometría que tiene la goma que va entre la tapa y la caja. Complementariamente a los agujeros que se le había realizado a ésta goma se le han extruido un par de salientes a la tapa, que con ayuda de la operación de simetría se han generado ocho en total, para que la goma pueda quedar perfectamente acoplada.

Después mediante una extrusión de corte se ha retirado material de la base superior para dar la curvatura necesaria a la pieza. Luego se han generado los agujeros roscados de M5x0,8 en las cuatro esquinas de la pieza para poder atornillarla a la caja. Nuevamente mediante una extrusión de corte y el uso de simetrías se ha retirado material de las esquinas de la base superior de la pieza para obtener el hundimiento que se aprecia en la Figura 5.11.

La realización de la parte donde se encuentra esculpido el logotipo de la marca que ha fabricado el motor, en este caso WEG, se lleva a cabo en primer lugar extruyendo con corte con geometría rectangular para a continuación extruir las letras creadas en un boceto mediante el uso de la herramienta de línea. Los ranurados que se encuentran a los lados del logotipo se han hecho mediante la operación de barrido, con la ayuda de planos auxiliares y simetrías. Primero es necesario crear un boceto donde se da la forma y el lugar donde se va a hacer el ranurado, en este caso la forma es circular. Después es necesario crear otro boceto donde se defina mediante líneas o curvas por donde se quiere que se realice el barrido, que en este caso ha sido una línea con la curvatura de la tapa realizada al inicio. Por último se utiliza varias veces la herramienta de empalme para dar forma redondeada a algunos contornos de la pieza.

5.2.13. Enroscable azul

Elemento utilizado para tapar los agujeros roscados de la caja de bornes por los que no se van a introducir cables.



Figura 5.14. Enroscable azul.

El modelado de esta pieza comienza con la extrusión de un cilindro al que se le aplica la operación de rosca con M24x2. Después se vacía con una extrusión de corte y se crea un saliente mediante una extrusión. Por último se crea la cabeza mediante otra extrusión y se le hace una ranura mediante una última extrusión de corte.

5.2.14. Placa de bornes

Elemento que se encuentra en el interior de la caja de conexiones y que dispone de los bornes de conexión para realizar las conexiones especificadas por el fabricante, ya sea en estrella o en triángulo.

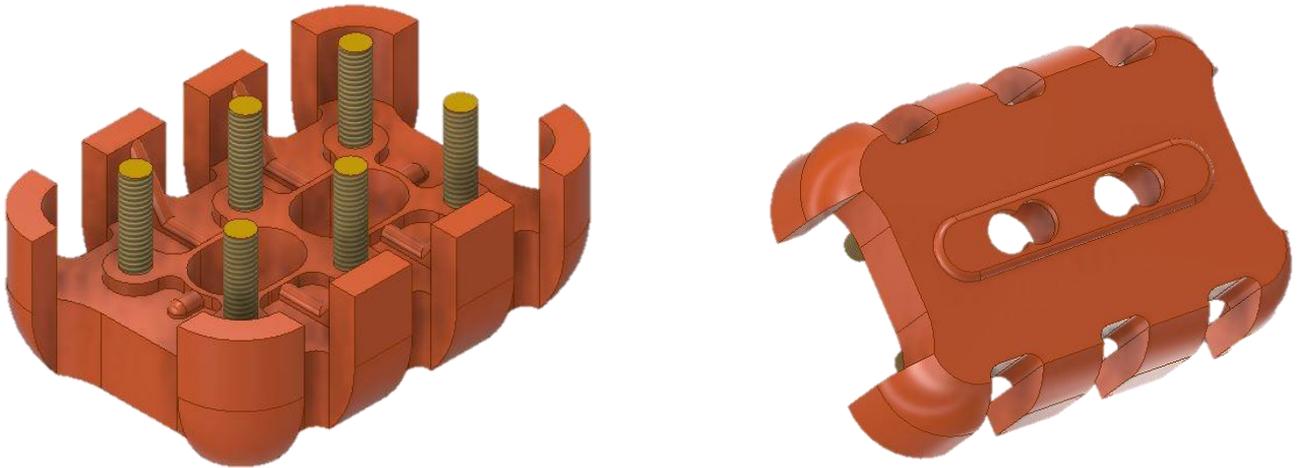


Figura 5.15. Placa de bornes.

El modelado de esta pieza comienza con la extrusión del rectángulo que va a formar la base. Además se le añade una extensión en la parte inferior mediante otra extrusión, ésta superficie creada va a ser la que esté en contacto con la carcasa. A continuación con una serie de extrusiones y simetrías se le da forma a los prismas externos que rodean el contorno de la base y con la operación revolución a los de las esquinas.

Después con una extrusión de corte se vacía en el centro de la base con forma de dos óvalos sin llegar a vaciar la extensión de la parte inferior. Se le realiza dos agujeros sencillos de D6 mm en cada óvalo con una distancia entre centros inferior al diámetro. Luego con la ayuda de un plano auxiliar se crea un nervio en uno de los prismas exteriores y con simetrías se copian en el resto de prismas, excepto en el de las esquinas. Mediante extrusiones de corte se retira material de la base justo entre cada prisma en forma de semióvalo.

De los óvalos centrales se va a extruir en su contorno unas superficies en las que habrá tres agujeros en cada lado donde se extruirá un cilindro roscado en cada uno a partir de la herramienta de rosca. Estos cilindros roscados son los bornes de conexión donde se

insertarán los terminales de arandela y de horquilla de los cables en el montaje. Por último se utiliza varias veces la herramienta de empalme para dar forma redondeada a algunos contornos de la pieza.

5.2.15. Gomas y arandelas

Elementos contruidos de goma o caucho. Se utilizan como separación entre elementos, con el fin de facilitar el desmontaje de piezas y evitar la introducción de fluidos o agentes externos.

5.2.15.1. Goma caja de bornes

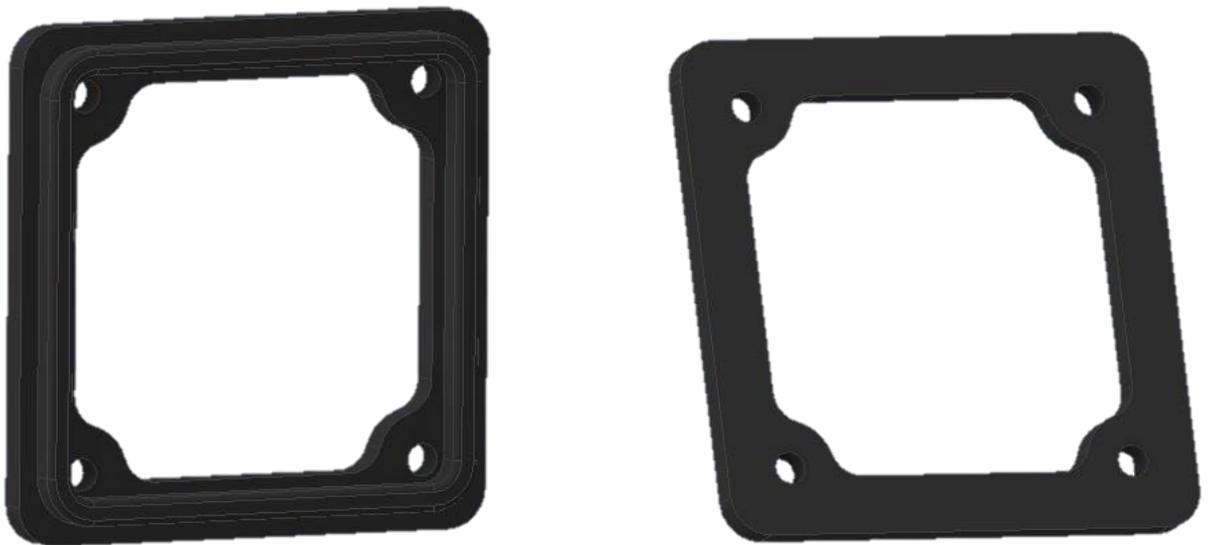


Figura 5.16. Goma caja de bornes.

El modelado de esta pieza comienza con la extrusión de unión que le dará un espesor de 4,1 mm y la forma rectangular. A continuación mediante una extrusión de corte se vacía la zona central de la pieza. Luego se utiliza la operación de agujero simple de D5 mm para poder insertar los tornillos en el montaje. Ahora para poder enganchar la goma a la caja de bornes es necesario extruir un saliente por una de las caras de la goma para que encaja perfectamente con el hueco que tiene la caja de bornes en su base inferior. La otra cara de la goma es plana e irá

apoyada en el montículo de la carcasa. Por último se utiliza la operación empalme para dar forma redondeada al saliente.

5.2.15.2 Goma tapa superior

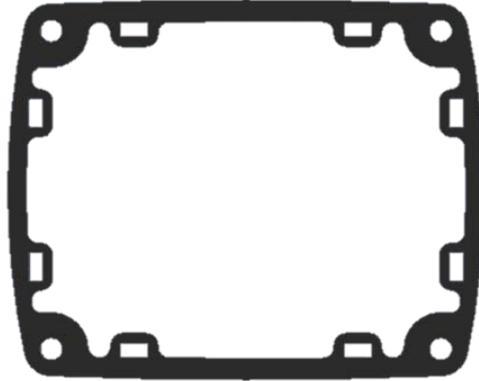


Figura 5.17. Goma tapa de bornes.

El modelado de esta pieza comienza con la extrusión de unión que le dará un espesor de 3,4 mm y la forma rectangular y un poco ovalada por los lados. A continuación mediante una extrusión de corte se vacía la zona central de la pieza. Luego se utiliza la operación de agujero simple y con la ayuda de la simetría se realizan cuatro agujeros de D5 mm para poder insertar los tornillos en el montaje. Ahora para poder enganchar la goma a la tapa de la caja de bornes es necesario extruir en vacío unos huecos para que encaje con los salientes que tiene la tapa, todo esto nuevamente ayudado de la simetría para ahorrar trabajo. Por último se utiliza la operación empalme para dar forma redondeada a la parte interior de la goma.

5.2.16. Plaquitas

Elemento utilizado como fijación para algunas conexiones. En este motor están de repuesto en caso de que haga falta utilizarlas.

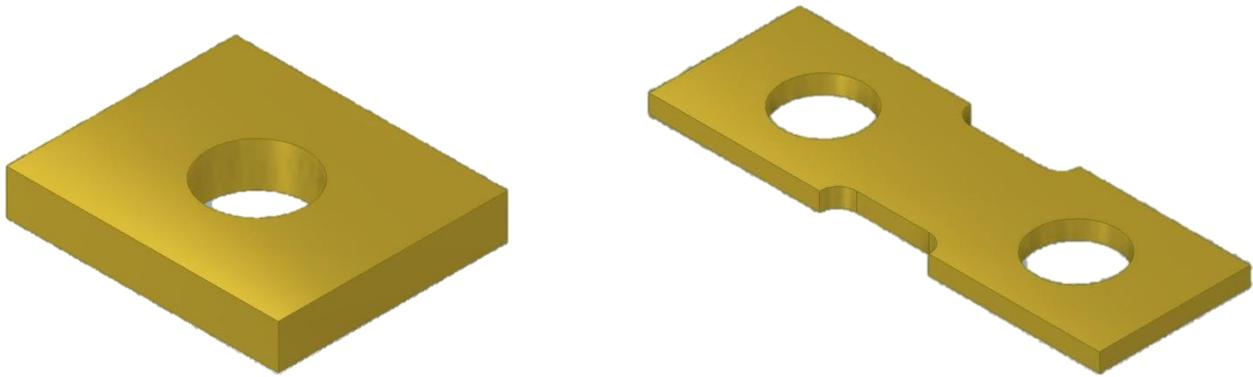


Figura 5.18. Plaquitas.

El modelado de estas piezas se realiza con una extrusión de 2 mm y 1 mm de espesor respectivamente. A continuación se lleva a cabo la operación de agujero sencillo de D4,4 mm y el uso de la operación empalme en algunas aristas para darle curvatura de 1 mm.

5.2.17. Junta de estanqueidad

Elemento utilizado para reducción de ruidos, antivibración y estanqueidad de fluidos.



Figura 5.19. Junta de estanqueidad.

El modelado de esta pieza es una simple revolución de un boceto con la forma de la junta deseada.

5.2.18. Bobinado

Es el conjunto de espiras de alambre de cobre que van enrolladas en las ranuras del estator, las cuales provocarán la creación del campo magnético que hará girar el rotor. Entre las espiras y el estator se coloca un molde aislante para que éstos no estén en contacto. Para el proyecto se ha simplificado el modelado de las bobinas de forma que solo se representan cinco espiras del hilo de cobre por ranura.



Figura 5.20. Molde aislante



Figura 5.21. Bobinado



Figura 5.22. Bobinado completo.

El modelado de esta pieza comienza con la creación de los moldes aislantes como el que se puede ver en la Figura 5.18, para ello, se realiza una extrusión de 98 mm de longitud con forma de arco. La base de 11.2 mm, los pilares de 10.1 mm y el arco de 5.6 mm. A continuación se extruye en la parte central con las mismas medidas que las ranuras de las láminas del estator. Por aquí es por donde se harán pasar los hilos de cobre del bobinado. Seguidamente se desfasa un plano paralelo al plano XY del origen a -1.5 mm. Este plano auxiliar se va a utilizar para terminar de dar forma al molde por la parte donde hará contacto con el estator, para ello se extruye la parte del arco con la misma forma que las ranuras del estator, igual que se ha hecho anteriormente de forma que se deje un espesor de 0.1 mm. Por último se utiliza la herramienta de empalme para dar forma redondeada a las caras exteriores.

Una vez terminado el molde se pasa al modelado de las espiras de cobre, Figura 5.19. En primer lugar se dibuja circunferencias consecutivas de $D2$ mm en el interior del molde. Seguidamente se extruyen a lo largo de todo el hueco interior del molde. Una vez realizado esto se utiliza el patrón circular para obtener los 36 moldes que encajarán en las 36 ranuras del estator. A continuación se ha procedido a unir los alambres. El arrollamiento de las bobinas está realizado en dos planos y con diferente ancho. El primer bobinado une los hilos de un molde con los de otro molde dejando cuatro moldes de por medio. El segundo bobinado une los moldes externos al anterior, es decir, dejando seis moldes de por medio, como se aprecia en la Figura 5.19. Para obtener los arcos que hacen las espiras es necesario

crear dos bocetos. El primero se realiza en un plano perpendicular al eje longitudinal del molde y en él se crea un boceto donde se dibuja un arco que le dará forma al hilo. El segundo boceto se hará sobre un plano que pase por los ejes de los dos hilos a unir, en éste se dibujará con un spline, para darle forma curvada, un arco que una ambos hilos. Acabados los dos bocetos se procede a utilizar boceto 3D en lugar de un 2D como habíamos hecho hasta ahora. La herramienta a utilizar es “Curva de intersección”. Esta herramienta permite obtener una intersección de los dos planos creados. Con la nueva curva creada, se utilizará la herramienta de elevación, de forma que se creará una unión entre los dos hilos deseados con la forma de la curva de intersección. Este procedimiento es necesario repetirlo para la unión de cada uno de los hilos de las dos bobinas, por ambos lados, dejando un origen y un final de espira. Terminadas las dos primeras bobinas, se utiliza la herramienta de patrón circular, copiándolo 9 veces a lo largo de 360°, formando los 6 polos de los que consta el motor.

CAPÍTULO 6: ENSAMBLAJE

6.1. Concepto

El ensamblaje es un proceso que sirve para unir y montar digitalmente un conjunto de objetos tridimensionales con un software de dibujo. En el ensamblado de este proyecto se ha seguido trabajando con Autodesk Inventor.

Para la realización de los conjuntos ensamblados se han utilizado las piezas previamente modeladas y descritas en el capítulo anterior. Además, se han utilizado también algunos elementos normalizados del Centro de Contenido del cual dispone Autodesk Inventor. De esta forma se obtiene una representación digital del conjunto montado, de la misma forma que lo estaría en la realidad.

La utilidad de este trabajo es que se puede percibir errores en las alineaciones de agujeros o ejes de diferentes piezas, las cuales al insertar tornillos o unas piezas en otras, no encajan por tener diferentes medidas. Además una vez ensamblados los conjuntos se pueden llevar a cabo simulaciones dinámicas de donde obtener resultados de esfuerzos.

6.2. Ensamblado de las piezas

Como ya se comentó en el apartado anterior partimos de un proyecto ya creado donde estarán vinculados todos los archivos que se creen sea el formato que sea.

Se crea un nuevo archivo y se escoge para este caso “Ensamblaje: ensamblar componentes 2D y 3D” que se indica como “Normal.iam” el cual corresponde al formato IAM para ensamblar piezas. Se genera un archivo IAM por cada conjunto que se ensambla.

Para comenzar el ensamblado de los conjuntos hay que insertar las piezas, conjuntos o piezas normalizadas del Centro de Contenido. Las piezas tienen seis grados de libertad nada más insertarlas, tres de movimientos y tres de giros. Las restricciones sirven para reducir los grados de libertad. La primera pieza, la principal, hay que fijarla al origen que Inventor da por defecto.

Las herramientas que se utilizan en el proyecto son la Unión y Restricción. Knowledge.autodesk (2020) refiere que la herramienta Unión permite definir la posición de los componentes y describir el movimiento. Los tipos de Unión son: automático, rígida, de rotación, corredera, cilíndrica, plana y de bola. En este caso solo se ha utilizado la rígida

y la de rotación. La unión rígida sirve para conectar dos piezas, tanto haciendo que se toquen como indicando una separación entre ellas, eliminando todos sus grados de libertad. La unión de rotación conecta dos piezas dejando un grado de libertad de rotación.

La Restricción puede ser: de ensamblaje, movimiento, transicional y conjunto de restricciones. En el proyecto se utiliza la Restricción de ensamblaje cuyos tipos son: coincidencia, ángulo, tangente, insertar y simetría. Además en estas restricciones se puede indicar un desfase o permitir un rango de desplazamiento a la pieza. La restricción de coincidencia es aplicable en caras planas, planos de trabajo, ejes de revolución... La solución puede ser de coincidencia o de nivelación. La restricción tangente se utiliza en superficies curvas. La solución puede ser interior o exterior. La restricción de insertar se utiliza para introducir un objeto en un agujero de otra pieza, como pueden ser tornillos. La solución puede ser opuesta o alineada. Una restricción hecha para unir dos piezas aparece en el panel de relaciones de cada una de las piezas.

El ensamblado del motor de este proyecto se ha dividido en cinco ensamblajes diferentes debido a que por la cantidad de archivos que se manejan y funciones que se le aplica, el archivo final del ensamblaje es muy pesado y el programa no funciona con total rendimiento, no pudiendo trabajar adecuadamente.

A continuación se presentan los diferentes conjuntos ensamblados que se han llevado a cabo del motor, así como el proceso que se ha seguido para realizarlos:

6.2.1. Ensamblaje Caja de Bornes

Como ya se ha comentado en el capítulo anterior en la definición de cada una de las piezas, la caja de bornes se utiliza para contener la placa de bornes y el cableado conectado a ésta.

Para la realización de este ensamblaje se ha utilizado la goma que irá colocada en la base inferior de la caja, la caja de bornes, la goma que va colocada en la tapa de la caja de bornes, la tapa de la caja de bornes, el enroscable azul, la arandela de goma acoplada al enroscable azul, las plaquitas y algunos tornillos extraídos del centro de contenido.



Figura 6.1. Ensamblaje Caja de Bornes.

El ensamblaje comienza con la inserción de la caja de bornes. Ésta va a ser la pieza principal del ensamblado y por tanto se fija su eje Y con el eje Z del origen que proporciona Inventor mediante una restricción de coincidencia. Las gomas y la tapa superior también van a tener restricción de coincidencia de su eje Y con el eje Z del origen, de esta forma quedarán alineadas.

A continuación se inserta la goma que va a ir colocada en la base inferior de la caja. Se hace una restricción de coincidencia de la parte más superficial del saliente de la goma con la superficie interior del hueco realizado expresamente en la base inferior de la carcasa para que quede acoplada la goma y se le marca el límite mínimo 0 mm para que no pueda pasar de la carcasa, pero si desplazarse hacia abajo.

Por último se realiza una restricción de coincidencia de uno de los agujeros de la goma con el eje del correspondiente agujero de la caja para restringir el giro de la goma y que queden alineados todos los agujeros. Para poder utilizar los ejes de los agujeros se crean ejes de trabajo.

Ahora se insertan tres plaquitas de las que tienen dos agujeros y una de las que tiene un solo agujero y un tornillo tipo DIN 7985 (H) M4x12-H del Centro de Contenido para atornillar las plaquitas al montículo. Mediante extrusiones tipo coincidencia se alinea el eje de uno de sus agujeros y el eje del tornillo con el eje del agujero del montículo interior de la caja. Luego, también mediante extrusión de coincidencia y aplicando el límite mínimo 0 mm, se apilan las plaquitas de forma que la que solo tiene un agujero quede en contacto con el montículo y con una de las plaquitas de dos agujeros y otra de las plaquitas de dos agujeros quede en contacto con la cabeza del tornillo.

Después se inserta la goma de la tapa de la caja y se alinea mediante extrusión coincidente dos de los agujeros de la base superior de la caja con los suyos. También se hace coincidir una cara de la goma con la cara más superficial de la base superior de la caja. Se tiene que realizar también una restricción tangente de la cabeza del tornillo con la cara de la goma, para que no pueda atravesarla.

Luego se inserta la tapa superior de la caja de bornes. Hay que realizar de nuevo una restricción coincidente de la cara superior de la goma con la superficie inferior de la tapa. Nuevamente se hace coincidir los agujeros de la tapa con la caja. Ahora se insertan cuatro tornillos tipo DIN 7985 (H) M5x12-H del Centro de Contenido que harán que la tapa y la caja queden atornilladas. Para ello se tiene que utilizar la restricción de insertar en el eje del tornillo y el eje del agujero, para cada tornillo.

Finalmente queda insertar el enroscable azul y la arandela que va acoplada a él. Este enroscable sirve para tapar uno de los agujeros de una de las caras laterales de la caja por la que no va a pasar el cableado. Se utiliza una unión tipo rígida con una separación de 1,2 mm para acoplar la arandela al enroscable. Además se le añade una restricción de tangencia con la cara lateral de la caja para que no pueda traspasarla. Solo queda por tanto restringir mediante inserción el enroscable con el agujero de la caja, aplicando límite mínimo 0 mm.

6.2.2. Ensamblaje del rotor

Para la realización del ensamblaje del rotor se ha utilizado las cuatro piezas modeladas que componen este elemento. Estas son: el anillo con los barrotos, la chapa de acero del rotor, la lámina aislante del rotor y el otro anillo que cierra la jaula de ardilla.

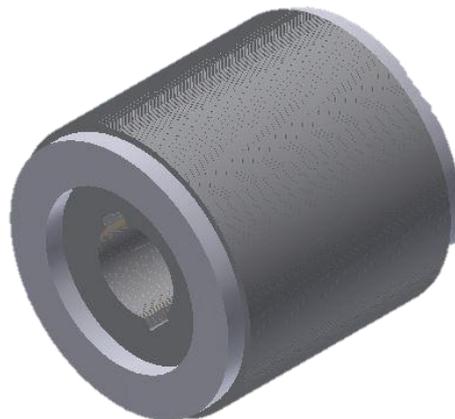


Figura 6.2. Rotor ensamblado.

El ensamblaje comienza con la inserción del anillo que ya tiene los barrotos. Se fija su eje Z al eje Y del origen mediante una restricción de coincidencia.

A continuación se insertan dos chapas de acero y una lámina aislante que también serán fijadas por sus respectivos ejes Z al eje Y del origen. Con una restricción tipo insertar, se une un agujero de la chapa con el anillo apoyada en la base del rotor de uno de los barrotos, dándole límite mínimo 0 mm. Por la otra cara de la chapa se hace una restricción de coincidencia con una cara de la lámina. Por la cara libre de la lámina se hace coincidir la segunda chapa. De esta forma quedará una lámina aislante entre dos chapas de acero. Después con restricción de coincidencia o inserción se alinean los agujeros de las chapas y la lámina. Luego se utiliza la herramienta de patrón rectangular sobre las dos chapas y la lámina. Se creará una fila en dirección del eje Y del origen de 306 unidades separadas 0,26 mm. De tal manera se forma un cilindro formado por chapas y láminas que dará cuerpo al rotor.

Por último se inserta la última pieza que forma el conjunto, que es el anillo del rotor no conectado a los barrotos que servirá de cierre para tener un rotor compacto, en un motor real esta pieza se une mediante soldadura. Al igual que el resto de elementos se hace coincidir el eje Z del anillo con el eje Y de del origen. Para terminar se crean restricciones de coincidencia de una cara del anillo con la última chapa de la serie de chapas y de esa misma cara del anillo con la base de uno de los barrotos no acoplada al anillo del rotor.

6.2.3. Ensamblaje del estator

Este ensamblaje consta de dos piezas del modelado: la chapa de acero del estator y la lámina aislante del estator.



Figura 6.3. Ensamblado del estator del motor.

El procedimiento a seguir con el ensamblaje del estator es igual al que se hace con el rotor. Se insertan dos chapas de acero y una lámina de aislante. Se restringen al eje de origen y se utiliza la restricción de coincidencia para alinear las ranuras. Se restringe la lámina aislante entre las dos chapas de acero. Por último se utiliza un patrón rectangular sobre las tres piezas y se crea una fila en la dirección del eje Y del origen de 300 unidades separadas 0,31 mm. Obteniendo así un conjunto de láminas y chapas unidas que dan cuerpo al estator del motor.

6.2.4 Ensamblaje del bobinado

El ensamblado que se muestra a continuación es la unión del ensamblado del estator con el molde y las espiras que forman el bobinado.



Figura 6.4. Ensamblado del bobinado del estator.

El ensamblaje comienza con la restricción de coincidencia del eje del estator y del molde con el eje principal. A continuación se restringe un eje longitudinal de uno de los moldes también con el eje longitudinal de una de las ranuras del estator. De esta forma ya quedan alineados. Por último se hace coincidir la cara externa de la última chapa del estator con la cara plana del molde de forma que quede totalmente fijado al estator.

6.2.5. Ensamblaje del eje

El quinto ensamblaje se trata del acople de los elementos que van insertados en el eje. Consta de: el eje, el ensamblaje del rotor, la tapa trasera de la carcasa del motor, el ventilador y el bulón que lo fija al eje, dos rodamientos extraídos del Centro de contenido y de la junta de estanqueidad.

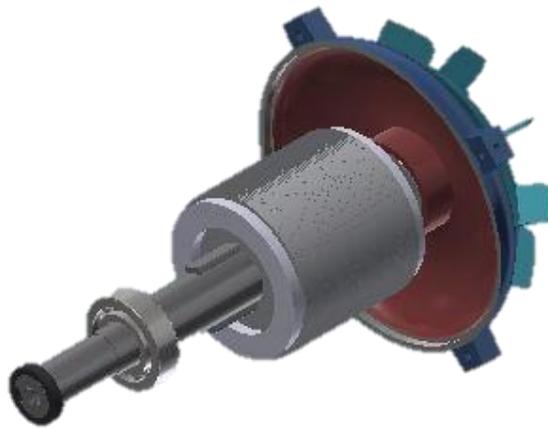


Figura 6.5. Ensamblado del eje motor.

El ensamblaje comienza con la inserción del eje del motor. Ésta, como el resto de piezas que se insertan excepto en el caso del pasador, se fija el eje Y al eje Z del origen.

A continuación se inserta el ensamblaje del rotor y mediante una restricción de coincidencia se hace que los agujeros en forma de ranura que tiene el rotor en el contorno del agujero por donde pasa el eje, coincida con los salientes que tiene el eje en la zona de mayor diámetro.

Después se insertan los dos rodamientos. El que va insertado en la tapa trasera es un rodamiento DIN 625 - T1 6204 - 20 x 47 x 14 y el que va en la zona delantera es DIN 625 - T1 6205 - 25 x 52 x 15. El rodamiento delantera se restringe mediante coincidencia con la cara del escalón que se forma a los 79 mm del inicio del eje. El rodamiento trasero se coloca en el desnivel que hay cuando cambia el diámetro del eje y que se encuentra a 61 mm empezando por la parte trasera del eje. En este caso el desnivel no tiene forma de escalón, sino que tiene forma curvada, por lo que para hacer la restricción del rodamiento hay que utilizar la restricción de tangencia. Ahora que están los rodamientos, se va a fijar el rotor para que no avance por el eje. Para el rodamiento delantero, se restringe mediante coincidencia la cara del rodamiento con la de la chapa de acero más cercana a él, dejando

un límite mínimo de 39 mm. Con el rodamiento trasero se hace lo mismo pero con un límite mínimo de 55 mm. De esta forma ya queda el rotor fijado.

Seguidamente se inserta la tapa trasera y se fija mediante coincidencia el rodamiento trasero a la cara del hueco que tiene la tapa, que coincide con el tamaño del rodamiento.

Luego se inserta el ventilador. Se utiliza la restricción de coincidencia entre los salientes de la tapa trasera y la superficie donde coinciden los nervios internos del ventilador con límite mínimo de 4 mm. Además se hace coincidir el eje del agujero transversal que tiene el eje con la ranura de la parte externa del ventilador. De esta forma ahora se inserta un pasador cilíndrico tipo UNI EN ISO 13337 4 x 28 extraído del Centro de Contenido que se fijará mediante coincidencia al eje anteriormente mencionado. Será necesaria otra coincidencia entre el borde del pasador y la cara de la aleta que está incompleta, dando un límite mínimo de 10 mm para que el pasador no se salga por ese lado. También hay que utilizar una tangencia entre la ranura del ventilador y el pasador y una coincidencia entre el pasador y el agujero del eje para terminar de restringirlo.

Por último se inserta la junta de estanqueidad y se hace un ensamblaje de coincidencia con solución nivelación entre la base de la junta y la cara frontal del eje.

6.2.6. Ensamblaje completo

En este último ensamblaje se procede a unir los ensamblajes anteriormente realizados, los cuales incluyen al ensamblado de la caja de bornes, el ensamblado del estator y el ensamblado del eje junto con el ensamblado del rotor y otras piezas, también se utilizan la carcasa del motor, las bases del motor, la placa de bornes, la carcasa del ventilador, la tapa delantera y algunos elementos insertados desde el Centro de Contenido de Inventor.



Figura 6.6. Ensamblaje completo del motor.

El ensamblaje comienza con la inserción de la carcasa que como se ha hecho en el resto de ensamblajes se va a fijar su eje Z con el eje Y del origen.

A continuación se insertan las bases del motor, una para cada lado. Se restringe mediante coincidencia la cara externa de la última aleta lateral con la superficie superior de la base con límite mínimo 0 mm. Luego se hace coincidir el eje de los dos agujeros centrales de la base con el eje de las ranuras semicirculares de la aleta.

Ahora se inserta del Centro de Contenido dos tornillos tipo SS ISO 4017 M8 x 40 que se introducirán por la parte inferior de la base a los dos agujeros centrales mediante la restricción insertar. También se insertarán del Centro de contenido dos tuercas tipo ISO 4032 M8 que se fijarán a los ejes de los tornillos con la restricción insertar y se utilizará la restricción de coincidencia para hacer que permanezca en el hueco entre las dos aletas. Este procedimiento es idéntico al que se realizará para la otra base.

Ahora se va a insertar la placa de bornes. Ésta va colocada en los cilindros piramidales del montículo de la carcasa, cuando la caja de bornes sea colocada, cubrirá la placa. Primero hay que realizar una coincidencia de la cara inferior de la placa con la base superior de los cilindros grandes del montículo, con límite mínimo 0 mm. Después se hace coincidir el eje del pequeño cilindro situado encima de uno de los cilindros piramidales, con el agujero más externo de uno de los cuatro orificios. El orificio simétrico al que se acaba de fijar, se inserta al agujero roscado del otro prisma piramidal, de forma que ahora se añade un tornillo tipo DIN 7985 (H) M4x12-H para que quede fijado.

Posteriormente se inserta el ensamblaje de la caja de bornes. Ésta va unida al montículo de la carcasa por cuatro tornillos tipo DIN 7985 (H) M5x18-H, por lo que se insertan por el interior de la caja de bornes. Luego, para que quede alineado, hay que insertar con límite mínimo de 0 mm dos de los tornillos al montículo y de esta forma ya quedaría colocada la caja.

Seguidamente se inserta el ensamblaje del estator del motor. Con dos restricciones de coincidencia de solución nivelación con el borde delantero y trasero de la carcasa se hará que el estator quede encerrado dentro de ésta.

Ahora se inserta el ensamblaje del eje con el rotor, el ventilador y la tapa trasera. Se introduce el eje por la parte trasera de la carcasa y se hace una restricción de coincidencia de ésta con la superficie más externa de la tapa trasera. Además se hace una restricción de coincidencia con solución nivelación del rotor con la carcasa para que queden fijados a la misma altura. La tapa trasera quedará unida a la carcasa mediante la inserción de cuatro tornillos tipo DIN 7985 (H) M6x35-H que irán colocados en los cuatro salientes que tiene la carcasa y la tapa en los cuatro puntos cardinales. También es necesario colocar una

tuercas tipo ISO 4032 M6:9 para cada uno de los tronillos para que queden fijados. Las tuercas además de coincidir con el eje del tornillo, tienen que coincidir con límite mínimo de 0 mm en cada una de las caras de los huecos de los salientes de la carcasa.

Una vez fijada la tapa trasera, se inserta la tapa delantera y se fija a la carcasa por la parte delantera mediante los mismos tornillos que la tapa trasera y de la misma forma, excepto el tornillo superior que no necesita tuerca porque va enroscado en el agujero del montículo de la carcasa.

Por último se inserta el protector del ventilador. Va colocado en la parte trasera, por lo que se le hace una restricción de coincidencia con la superficie del saliente de la caja y otra coincidencia entre el eje y la superficie del mallado. El protector va fijado a los salientes de la tapa trasera por los agujeros superiores de éstos y por los agujeros que tiene el protector en la parte zona de mayor diámetro, mediante tres tronillos tipo DIN 7985 (H) M4x5-H. Además es necesario realizar una tangencia entre la superficie del protector y la cabeza de los tornillos para terminar de fijarlos.

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE TENSIÓN

Autodesk Inventor tiene la capacidad de realizar simulaciones dinámicas, análisis de tensión y análisis de estructura. En este proyecto se ha realizado un estudio del análisis de tensión, concretamente en el eje del motor.

El análisis de tensión es un proceso que se ayuda de herramientas de cálculo para comprobar el comportamiento de las piezas y sus rendimientos en una aplicación real. Gracias a que incorpora tecnología ANSYS, hace uso de elementos finitos para generar mallas que separan el espacio de trabajo en pequeños elementos conectados entre sí por medio de nodos que proporcionarán información sobre la pieza. El programa utiliza elementos en forma de triángulos conectados a través de tres nodos. Este tipo de análisis se lleva a cabo para asegurar que las piezas no se rompan o deformen cuando se les aplica las cargas a la que se van a ver sometidas en su vida útil.

Una de las ventajas más destacadas de que el propio inventor tenga disponibilidad de hacer estos análisis es la posibilidad de poder modificar rápidamente los parámetros introducidos para el ensayo y poder repetir la ejecución. En caso de tener que utilizar un programa externo el proceso sería más tedioso.

Las causas de fallo por las que puede verse interrumpido el funcionamiento del motor pueden ser eléctricas, como la distorsión armónica, desequilibrio de tensión o los transitorios de tensión. Sin embargo, con este proyecto solo se tendría en cuenta los fallos provocados o derivados de efectos mecánicos, entre ellos podría tratarse de sobrecargas operativas, desalineación y desequilibrio de ejes, holguras o desgastes.

En el análisis de tensión hay dos tipos de simulaciones, que son las que se han llevado a cabo en el proyecto, el análisis estático y modal. El análisis estático evalúa las condiciones de carga estructural y el análisis modal evalúa los modos de frecuencia naturales, incluidos los movimientos de los cuerpos rígidos (Knowledge.autodesk 2021).

Para realizar el análisis hay que abrir la pieza o conjunto deseado. En el grupo “Entornos” aparece la opción “Análisis de tensión”. Una vez se accede hay que “Crear estudio”, en este apartado se puede elegir el tipo de simulación a realizar: análisis estático o análisis modal.

7.1. Análisis estático

Para poder ejecutar el análisis hay que establecer unas condiciones de contorno, éstos son parámetros como el material del que está hecha la pieza, restricciones, cargas, contactos y la configuración de malla. Dentro de restricciones se puede aplicar restricciones fijas, de pasador y sin fricción. Las cargas pueden ser de fuerza, presión, simular carga de rozamientos, momentos y gravedad. Los contactos se colocan de forma manual en función de la posición relativa entre elementos. Por último la configuración de malla permite determinar el tamaño de malla con el que trabajar dependiendo de la precisión que se desee.

Se han modificado los valores por defecto que proporciona Inventor de forma que se refine la malla para obtener datos con mayor precisión sin que por ello suponga un aumento significativo del tiempo de cálculo requerido. Se ha optado por un criterio de parada de un 5% y un número máximo de refinados de 3.

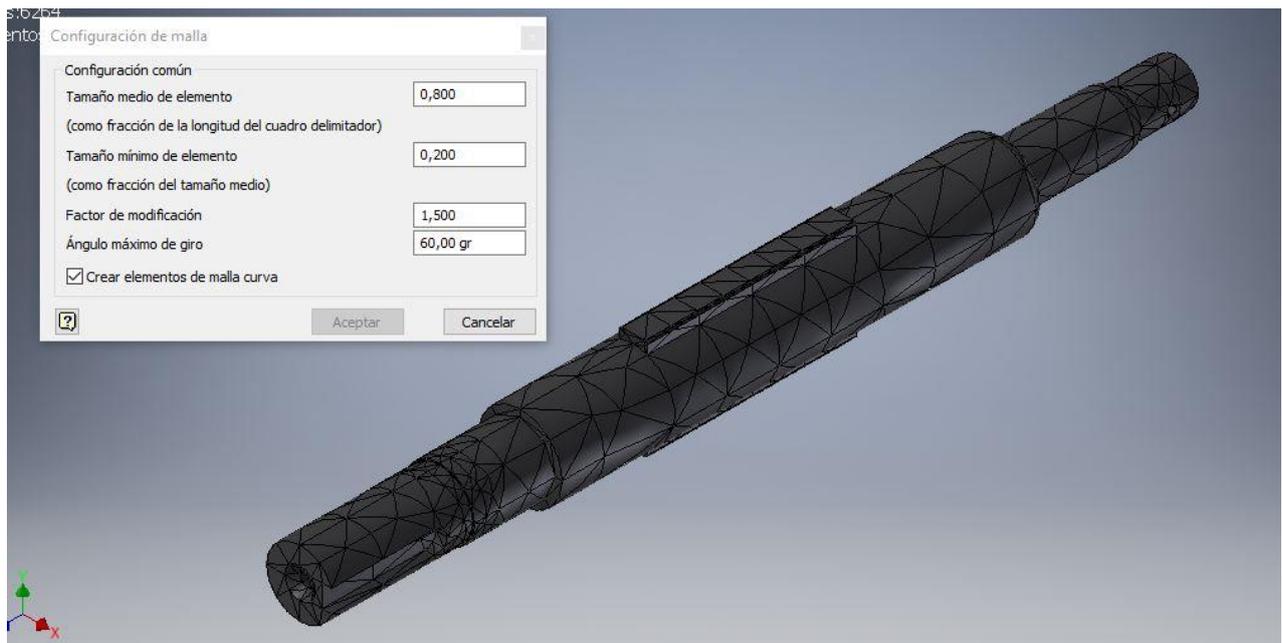


Figura 7.1. Mallado del eje sin refinar

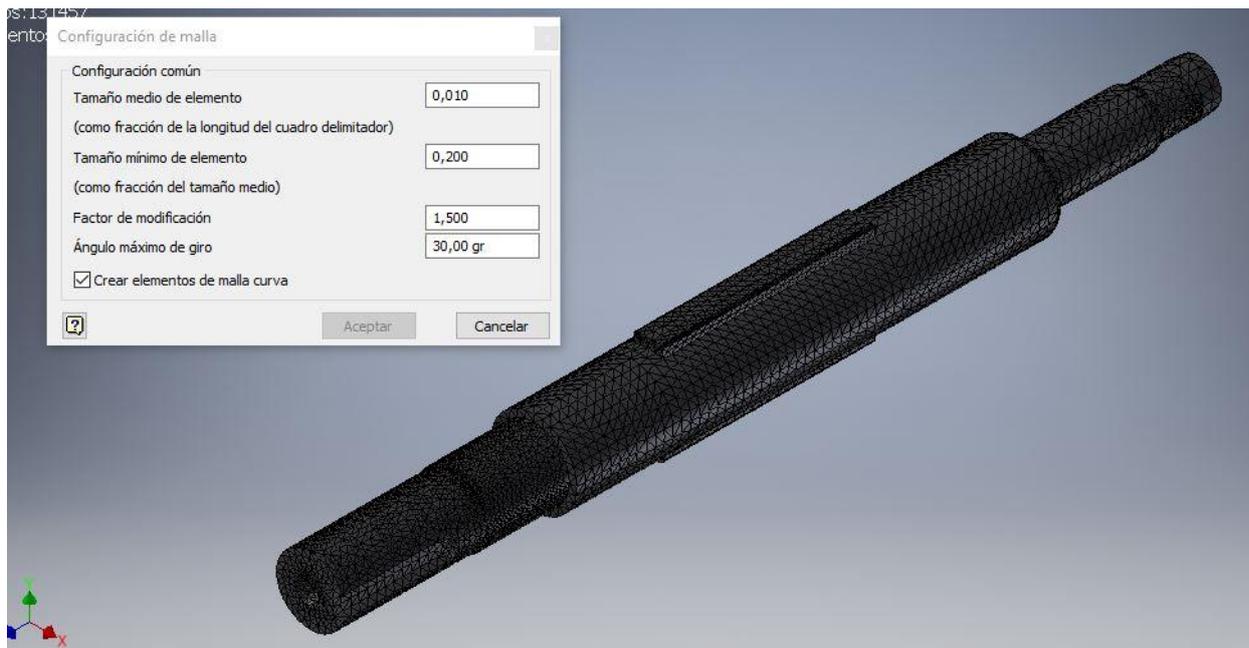


Figura 7.2. Mallado del eje refinado

El material elegido para el eje del motor ha sido acero de baja aleación con alta resistencia. No se han añadido contactos. Se han colocado restricciones fijas en las zonas donde van colocados los rodamientos y restricción de pasador en el agujero donde va colocado en pasador cilíndrico que evita que el ventilador se salga y lo fija al eje. Se colocan dos cargas de rodamientos. La primera carga para el rodamiento delantero con una magnitud de 7800N y la segunda carga para el rodamiento trasero de 6550N, especificado en las características de ambos. Por último se aplica una fuerza de 850N y un momento de 10N/mm a la parte delantera del eje, donde se encuentra la ranura donde irá la chaveta ya que será la zona de unión entre el eje y el elemento que se conecte a él, ya sea una polea, un engranaje o algún elemento similar. Los valores de la fuerza y el momento no son los reales a los que trabajará el motor, son solo ejemplos con los que poder sacar conclusiones.

Una vez introducidos todos los parámetros se ejecuta el análisis. En el panel de la izquierda se puede visualizar de forma individual los gráficos de colores con los valores obtenidos para los distintos tipos de resultados. Se obtiene la tensión de Von Mises, primera y tercera tensión principal, desplazamiento, coeficiente de seguridad, así como las tensiones, desplazamientos y deformaciones para los distintos ejes XX, XY, XZ, ZZ, YY, YZ. Además es posible visualizar el mallado que ha realizado Inventor y ver la animación de las deformaciones y desplazamientos que sufre de la pieza, si se desea, para mayor entendimiento de cómo reacciona a las cargas aplicadas. También se indica mediante una gráfica de colores los valores y las zonas sometidas a tensión. Inventor permite generar un informe donde queda reflejada toda esta información con más detalle.

A continuación se procede a reflejar algunos de los datos más relevantes, extraídos del informe obtenido.

Tensión de Von Mises

Se observa que las concentraciones de tensión aparecen en la zona en que hay un cambio de sección. Al no haber un redondeo o radio de acuerdo, la zona es un concentrador de esfuerzos, por lo que es más susceptible de romper por ahí. El programa proporciona herramientas para visualizar el punto en el que se ha obtenido el mayor valor de tensión, así como el menor. En este caso el valor más alto que es el interesante es de 53.81MPa. El límite elástico del acero es de 210000MPa, lo que queda muy alejado de la tensión obtenida y por lo tanto no habría deformación. Esto es debido a que las fuerzas aplicadas no son las reales y además se han tomado simplificaciones a la hora de introducir las condiciones de contorno como pueden ser de forma o de rozamientos con otras piezas, con el objetivo de poder manejar de forma más sencilla el programa y acelerar el proceso de cálculo. El programa aumenta y exagera el movimiento o deformación real que realiza la pieza de forma que el usuario pueda obtener información de cómo sería la deformación en caso de rotura, por eso aparece de esta forma en la Figura 7.3 y Figura 7.4.

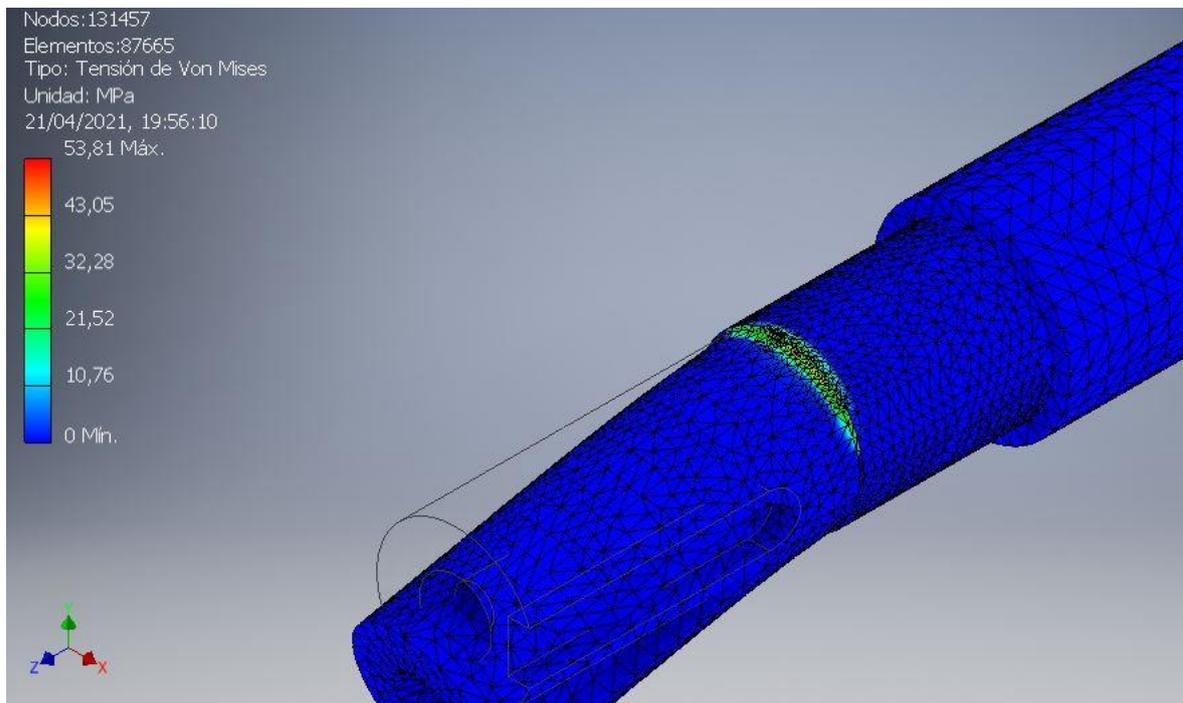


Figura 7.3. Tensión de Von Mises zona de tracción.

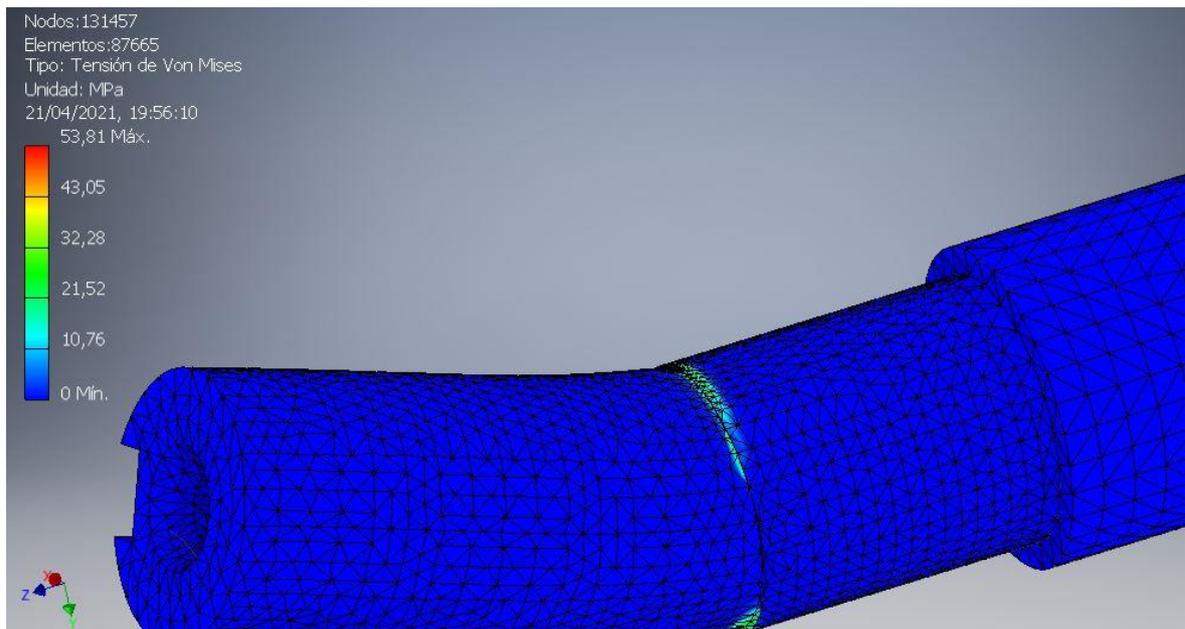


Figura 7.4. Tensión de Von Mises zona de compresión.

Como se observa en las imágenes, las tensiones a tracción son siempre mayores que a compresión y por tanto hay que tenerlas más en cuenta ya que serán en esos puntos donde empiece a aparecer roturas en caso de fallo.

Coefficiente de seguridad

De nuevo, al tratarse de fuerzas y momentos aproximados, utilizados como ejemplo, el coeficiente de seguridad que proporciona el análisis es elevado, de 5.13. Este nivel de coeficiente de seguridad es demasiado conservador, para el orden de magnitud con el que se trabaja, por lo que también podrían aplicarse modificaciones para ahorrar material y reducir pesos de forma que se obtuviesen valores más eficientes.

7.2. Análisis modal

El análisis de frecuencia modal busca las frecuencias naturales en las que la pieza vibra y las formas del modo en dicha frecuencias (Knowledge.autodesk 2021). En este tipo de ensayos se puede hacer el análisis de una estructura pretensada, donde se definen las cargas de las piezas antes de ejecutarlo, o se puede buscar las frecuencias naturales del modelo sin restricciones. Esto último es lo que se ha realizado en este proyecto simplemente para visualizar y comentar los resultados que se pueden obtener.

Con este tipo de análisis es posible hallar fallas debido a desalineación, problemas en rodamientos, desbalance, excentricidad u holguras, entre otros.

Frecuencia y Desplazamiento

Se han seleccionado ocho modos de frecuencia, aunque al no haber definido ninguna restricción, los seis primeros son 0. Por lo tanto se han obtenido resultados para el séptimo y octavo modo de frecuencia que ha sido de 1617.48Hz y 1746.03Hz, respectivamente. El programa muestra la deformación obtenida en mm para cada modo de frecuencia en X, Y, Z, indicando mediante un gradiente de colores y una gráfica de valores las zonas sometidas a deformación, al igual que pasaba con el análisis de tensión.

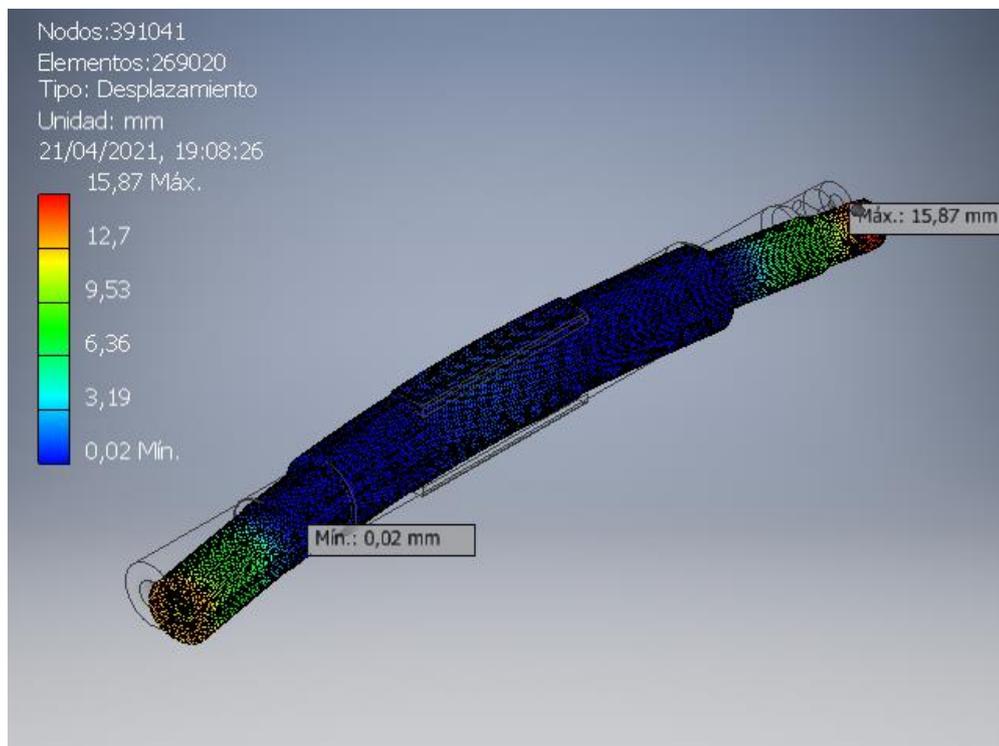


Figura 7.5. Séptimo modo de frecuencia 1617.48Hz

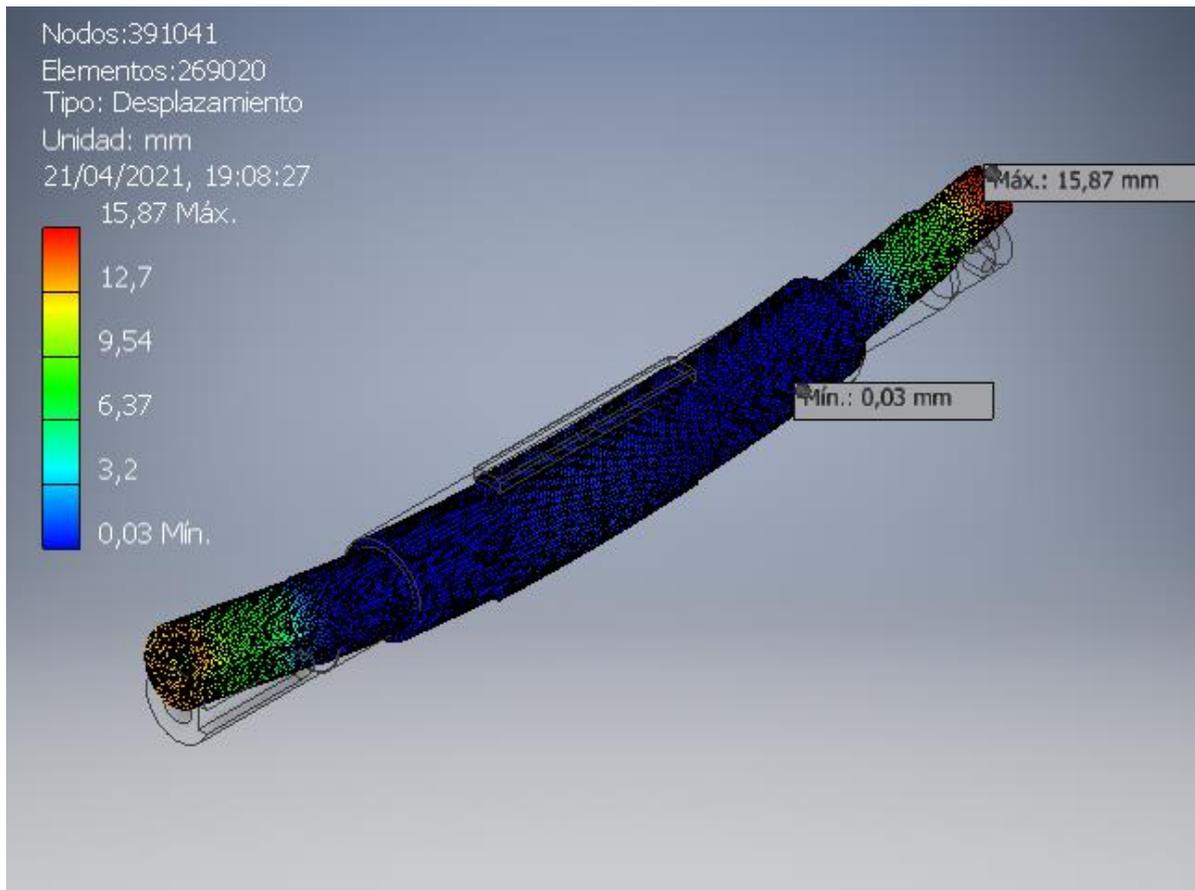


Figura 7.6. Octavo modo de frecuencia 1746.03Hz.

CAPÍTULO 8: TRABAJO FUTURO

El objetivo a largo plazo de este proyecto, siendo requerida una ampliación del mismo, es que el modelo creado pueda ser utilizado tanto en docencia como por empresas para realizar diferentes tipos de ensayos mediante software. Al efectuar los ensayos a partir de programas informáticos se ahorra en costes, ya que éstos se realizan de forma previa a la fabricación de las piezas de los motores, de esta forma no es necesario fabricar piezas para someterlas a ensayos en los cuales van a romperse.

Una de las ampliaciones es la de llevar a cabo una parametrización de los elementos de los que consta el motor de forma que se puedan realizar cambios de su geometría mediante la modificación de parámetros. Éstos pueden ser exportados a un archivo Excel o directamente manipulados en Inventor, lo que actualizará automáticamente el modelado de las piezas.

Además de la parametrización, también habría que conectar el modelo con algún tipo de software de diagnóstico de fallos en motores como podría ser Matlab y Simulink. Con ellos sería posible realizar simulaciones de roturas en el estator y el rotor y detectar los defectos que puedan aparecer.

En docencia, por ejemplo, no sería necesario disponer de varios motores para los alumnos, con el consecuente ahorro que supone cada uno de ellos, de la misma forma que no sería necesaria la búsqueda de un espacio donde almacenarlos y trabajar con ellos. Permitiría el estudio del comportamiento de los motores en función de su potencia u otros parámetros, gracias a la parametrización, mediante simulaciones hechas por ordenador.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

La resolución del proyecto presentado se ha basado en el diseño, modelado y ensamblado de un motor eléctrico de inducción de rotor de jaula de ardilla mediante el uso del programa CAD, Autodesk Inventor. Así como del análisis de una de sus piezas, en concreto el eje del motor bajo hipótesis en las que podría llegar a trabajar.

Del trabajo realizado se puede advertir que, es necesaria una buena toma de medidas previas al modelado, ya que de lo contrario en el momento de realizar los ensamblajes las piezas no coincidirán por completo y no será posible efectuarlos.

También es preciso un periodo de reflexión de la manera más adecuada de comenzar los bocetos de las piezas, debido a que un mal inicio del modelado puede provocar que sea necesario efectuar la pieza de nuevo o realizar muchos cambios, alargando esta fase.

El proceso de ensamblaje también es clave en el momento de incluir las uniones y restricciones puesto que en el momento de realizar los análisis deben de poder ejecutar los mismos movimientos con los mismos grados de libertad que tendrían en la realidad. Además, se ha observado que separar el montaje del motor en subensamblajes facilita esta tarea y optimiza el funcionamiento del programa, así como reduce el tiempo que invierte en cada operación por utilizar archivos menos pesados.

Por último, gracias a los resultados obtenidos en los ensayos realizados con Autodesk Inventor mediante el uso de elementos finitos, podemos concluir que es posible obtener información relevante de las piezas o conjuntos. En este proyecto en concreto solo se han tomado hipótesis del funcionamiento del motor, pero con datos reales y mejoras como la parametrización de las piezas, este modelo puede servir como ahorro de costes en aplicaciones industriales.

BIBLIOGRAFÍA

Disponible en: <Castillo, J., Marrufo, E. (2010). Motores Eléctricos. En E. Marrufo (Ed.), *Instalaciones eléctricas básicas* (287-306). España: McGraw-Hill Interamericana de España, SL. >

Disponible en: <Farina, A.L. (2018). Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. *Revista Ingeniería Eléctrica*, (330), 68-70>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Motor eléctrico*. Areatecnología.com. Recuperado de: <https://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Breve Historia del Motor Eléctrico*. Lovesharing.com. Recuperado de: <https://www.lovesharing.com/un-repaso-por-la-historia-del-motor-electrico/>>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Historia del motor eléctrico*. Blog.hyundaicanarias.com. Recuperado de: <https://blog.hyundaicanarias.com/historia-del-motor-electrico/>>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Los Tipos más Comunes de Carcasa de Motores Eléctricos*. Hvhindustrial.com. Recuperado de: <https://hvhindustrial.com/es/blog/tipos-comunes-de-carcasas-de-motores>>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Motor de inducción de jaula de ardilla: Principio de funcionamiento y aplicaciones*. Electrónica Fácil Top. Recuperado de: [https://www.electronicafacil.top/motor-induccion-tres-fases/motor-de-induccion-de-jaula-de-ardilla-principio-de-funcionamiento-y-aplicaciones/#Aplicacion del motor de induccion de jaula de ardilla](https://www.electronicafacil.top/motor-induccion-tres-fases/motor-de-induccion-de-jaula-de-ardilla-principio-de-funcionamiento-y-aplicaciones/#Aplicacion%20del%20motor%20de%20induccion%20de%20jaula%20de%20ardilla)>

Disponible en: <Perdomo, S. (2020). *Qué es y para qué sirve Autodesk Inventor en diseño de producto*. Deustoformación.com. Recuperado de: <https://www.deustoformacion.com/blog/bim-autocad-revit/que-es-para-que-sirve-autodesk-inventor-diseno-producto>>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Autodesk Inventor*. EcuRed. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Autodesk_Inventor>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Ensamblaje*. Knowledge.autodesk.com. Recuperado de: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn->

[explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Inventor-WhatsNew/files/GUID-49430B00-233E-4BCA-895C-54C0785996A3-htm.html](https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Inventor-WhatsNew/files/GUID-49430B00-233E-4BCA-895C-54C0785996A3-htm.html)>

Disponible en: <(sin nombre). (2020). *Selección adecuada de un motor eléctrico asíncrono*. roydisa.com. Recuperado de: <https://www.roydisa.es/archivos/3012>>

Disponible en: <(sin nombre). (2021). *Acerca del análisis de tensión*. Knowledge.autodesk.com. Recuperado de: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Inventor-Help/files/GUID-61F01A5D-7E54-45A1-9698-7BB11F0AEE94-htm.html>>

Disponible en: <(sin nombre). (2021). *Ejecución del análisis modal*. Knowledge.autodesk.com. Recuperado de: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ESP/Inventor/files/GUID-27CCC62A-134F-413F-8CF5-DF89D1F1C09E-htm.html>>

Disponible en: <(sin nombre). (2021). *Selección de Motores Eléctricos*. ecatalog.weg.net. Recuperado de: http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp>

DOCUMENTO PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. PLANTEAMIENTO PRESUPUESTO	2
2. MANO DE OBRA	2
3. PRECIOS DE LOS MATERIALES	3
4. UNIDADES DE OBRA	4
4.1 PRECIOS DESCOMPUESTOS	4
4.2 PRECIOS UNITARIOS	5
5. PRESUPUESTO FINAL	6

Índice de Tablas

Tabla 1. Cálculo de €/horas bruto ingeniero industrial	2
Tabla 2. Mano de obra	2
Tabla 3. Cálculo amortización equipo	3
Tabla 4. Cálculo coste material	3
Tabla 5. Unidad de Obra nº1	4
Tabla 6. Unidad de Obra nº2	4
Tabla 7. Unidad de Obra nº3	5
Tabla 8. Precios unitarios unidades de obra	5

1. PLANTEAMIENTO PRESUPUESTO

En este documento se presenta una valoración económica del proyecto realizado. En ésta se recogen los costes asociados a la realización del trabajo, los cuales incluyen la mano de obra, los materiales utilizados y licencias requeridas para el software utilizado.

2. MANO DE OBRA

El proyecto es realizado por un único ingeniero industrial. Los costes de la mano de obra se han calculado con las consideraciones tomadas en la Tabla 1, en la que se calcula el coste bruto anual y el coste bruto por horas.

Horas semanales	40
Semanas	52
Horas anuales brutas	2080
Vacaciones (Días/Horas)	21/168
Festivos (Días/Horas)	14/112
Horas Festivas	280
Horas anuales netas	1800
Salario bruto anual	45.000€
Salario bruto hora	25€

Tabla 1. Cálculo de €/horas bruto ingeniero industrial

La Tabla 2 muestra el cuadro de mano de obra para el tiempo dedicado por el ingeniero.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	Importe
M.O.1	h	Ingeniero Industrial	300	25€	7.500€
				TOTAL	7.500€

Tabla 2. Mano de obra

3. PRECIOS DE LOS MATERIALES

Los materiales utilizados y que computan han sido el equipo informático y las licencias de los softwares. Para ello, se ha obtenido la amortización de cada uno de ellos en la Tabla 3:

	Coste	Periodo amortización (Años/Horas)	Coste horario
Ordenador portátil HP	800€	4 años/7200 h	0.11€
Licencia Autodesk Inventor Professional 2019	2886€	1 año/1800 h	1.6€
Licencia Microsoft Office 2019	149€	4 años/7200 h	0.02€

Tabla 3. Cálculo amortización equipo

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio	Importe
MT.1	h	Ordenador portátil HP	300	0.11€	33€
MT.2	h	Licencia Autodesk Inventor Professional 2019	250	1.6€	400€
MT.3	h	Licencia Microsoft Office 2019	60	0.02€	1.2€
				TOTAL	434.2€

Tabla 4. Cálculo coste material

4. UNIDADES DE OBRA

4.1 PRECIOS DESCOMPUESTOS

A continuación se muestran los detalles de las unidades de obra de que está formado el proyecto.

Nº Orden	Descripción de la unidad de obra		
U.O.1	Ud. Estudio, análisis y diseño del motor eléctrico Toma de medidas, modelado y ensamblado de las piezas del motor. Análisis de tensión.		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
245	h Ingeniero Industrial	25€	6125€
245	h ordenador portátil HP	0.11€	26.95€
245	h Autodesk Inventor Professional 2019	1.6€	392€
	2% Costes directos complementarios		130.87€
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			6674.82€

Tabla 5. Unidad de obra

Nº Orden	Descripción de la unidad de obra		
U.O.2	Ud. Documentación y realización de informes Redacción documentación de los procesos llevados a cabo en el proyecto.		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
52	h Ingeniero Industrial	25€	1300€
52	h ordenador portátil HP	0.11€	5.72€
52	h Microsoft Office 2019	0.02€	1.04€
	2% Costes directos complementarios		26.13€
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1332.89€

Tabla 6. Unidad de obra

Nº Orden	Descripción de la unidad de obra		
U.O.3	Ud. Realización de planos Proceso de creación de los planos de conjunto		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe
3	h Ingeniero Industrial	25€	75€
3	h ordenador portátil HP	0.11€	0.33€
3	h Autodesk Inventor Professional 2019	1.6€	4.8€
	2% Costes directos complementarios		1.6€
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			81.73€

Tabla 7. Unidad de obra

4.2 PRECIOS UNITARIOS

U.O.1	Ud. Estudio, análisis y diseño del motor eléctrico	6674.82€
U.O.2	Ud. Documentación y realización de informes	1332.89€
U.O.3	Ud. Realización de planos	81.73€

Tabla 8. Precios unitarios unidades de

5. PRESUPUESTO FINAL

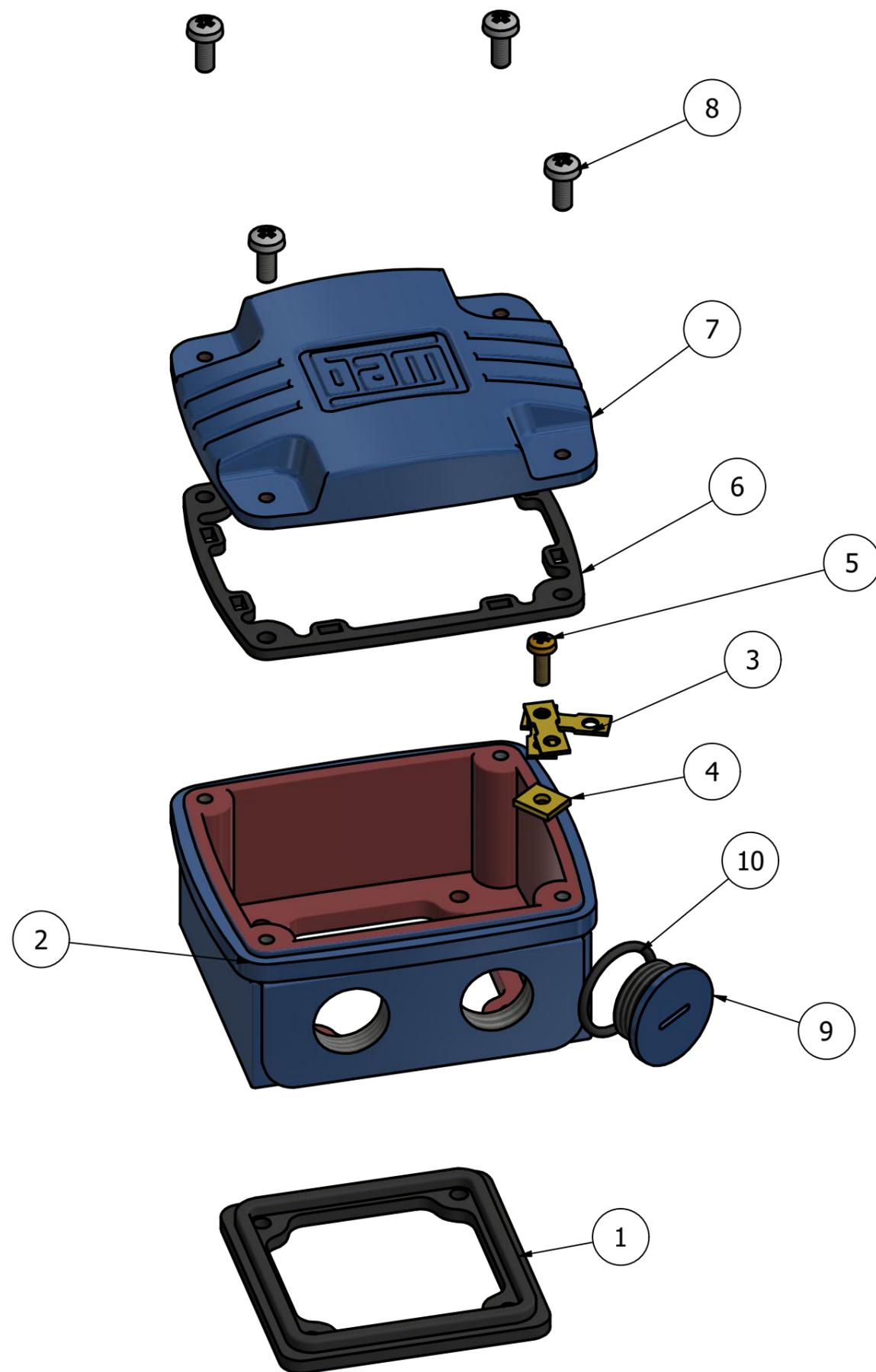
Estudio, análisis y diseño del motor eléctrico.....	6674.82€
Documentación y realización de informes.....	1332.89€
Realización de planos.....	81.73€
<hr/>	
Presupuesto de Ejecución del Material.....	8089.44€
Gastos generales (13%).....	1051.62€
Beneficios industriales (6%).....	485.36€
<hr/>	
Presupuesto de Ejecución por Contrata.....	9626.42€
I.V.A. (21%).....	2021.54€
<hr/>	
Presupuesto Base de Licitación.....	11647.96€

El presupuesto total asciende a la cantidad de:

ONCE MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y SIETE EUROS
CON NOVENTA Y SEIS CENTIMOS

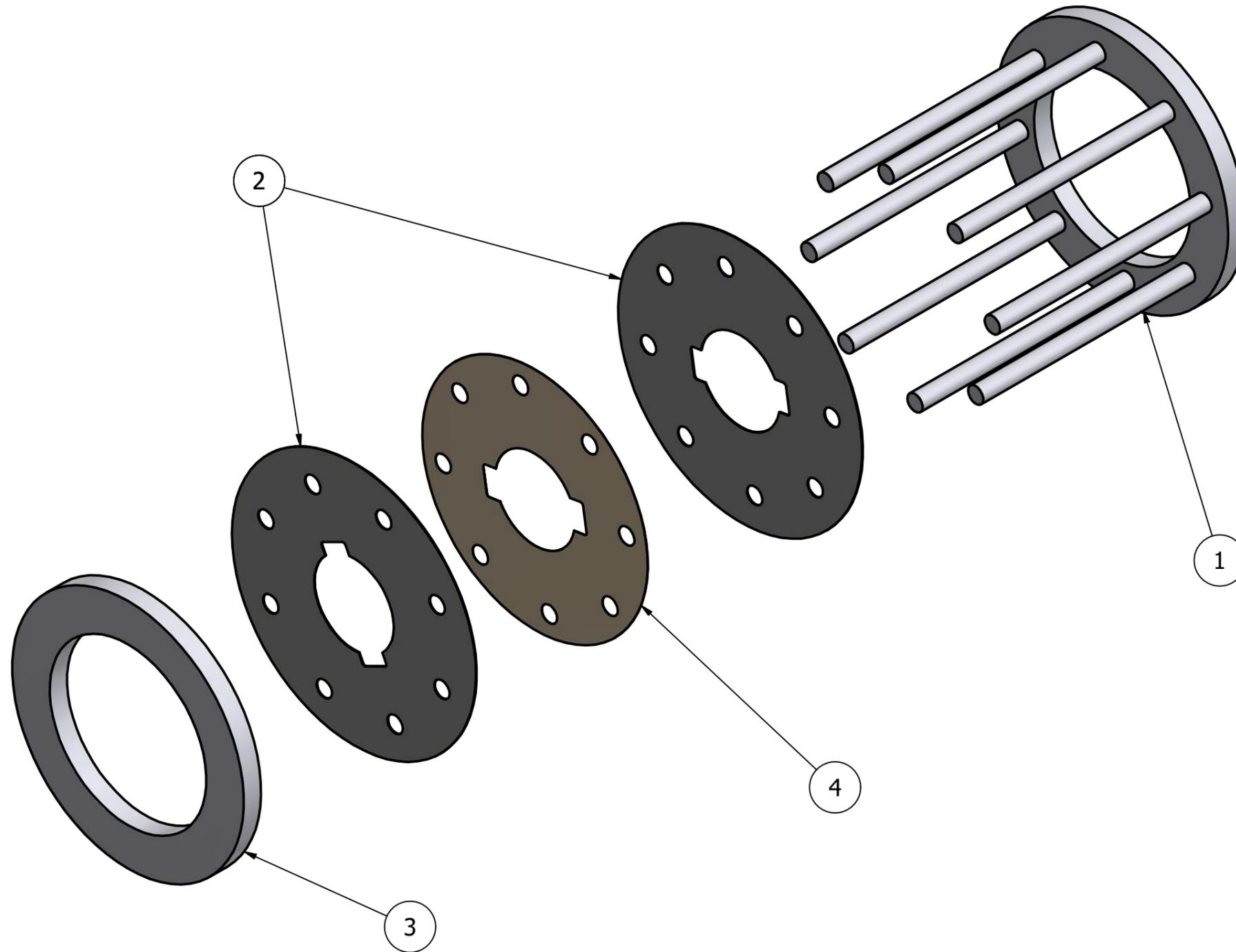
En Valencia, 28 de mayo de 2021.

ANEXOS



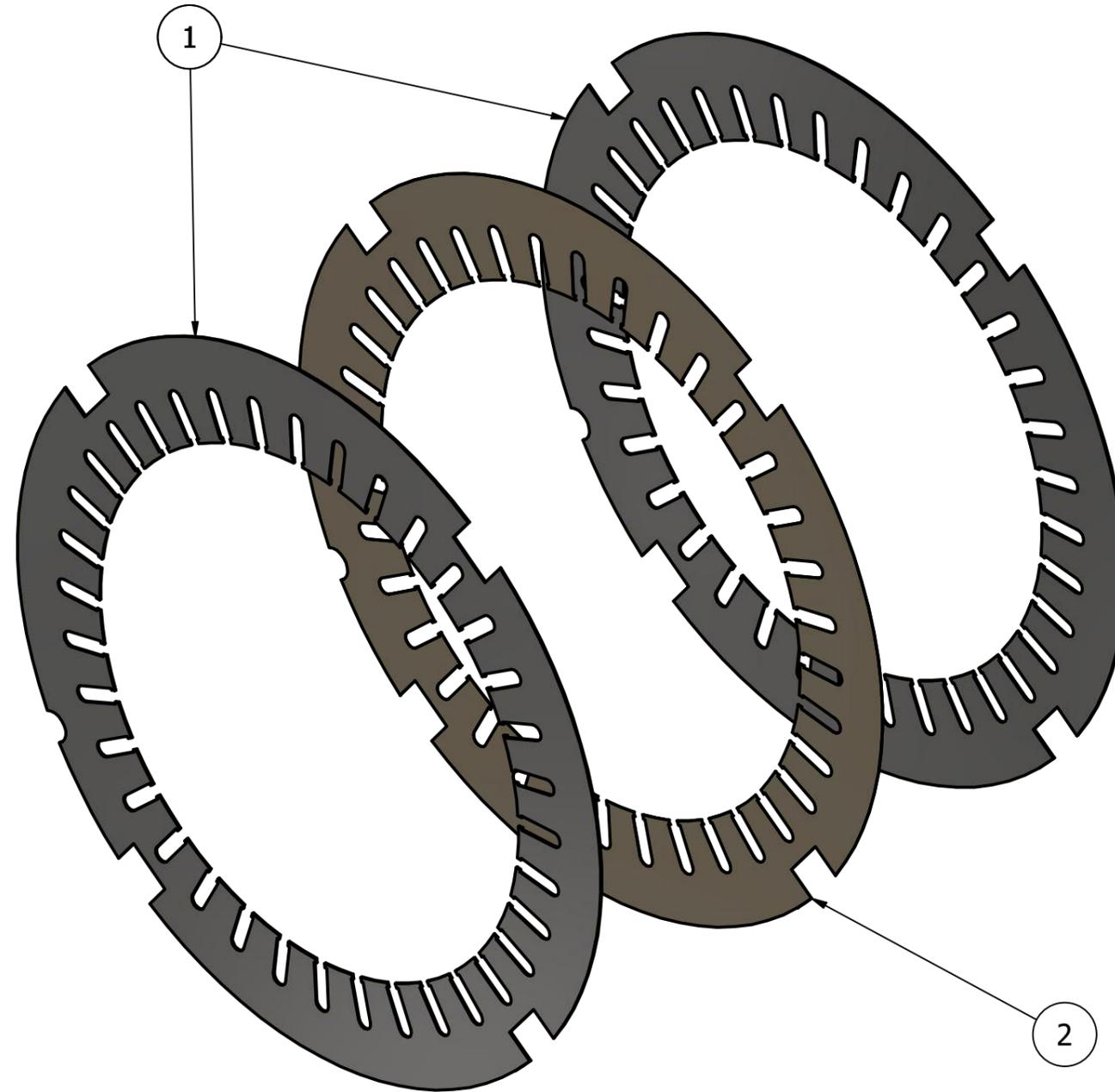
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Goma caja de bornes	
2	1	Caja de bornes	
3	3	Plaquetas	
4	1	Plaquita rectangular	
5	1	DIN 7985 (H) - M4x12-H	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco cruciforme - Tipo H
6	1	Goma tapa superior	
7	1	Tapa caja de bornes	
8	4	DIN 7985 (H) - M5x12-H	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco cruciforme - Tipo H
9	1	Enroscable azul	
10	1	Arandela de goma	

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Plano: Ensamblaje Caja de Bornes
DISEÑO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR	Autor proyecto: Javier Montesinos Sancho
	Fecha: 2020/2021



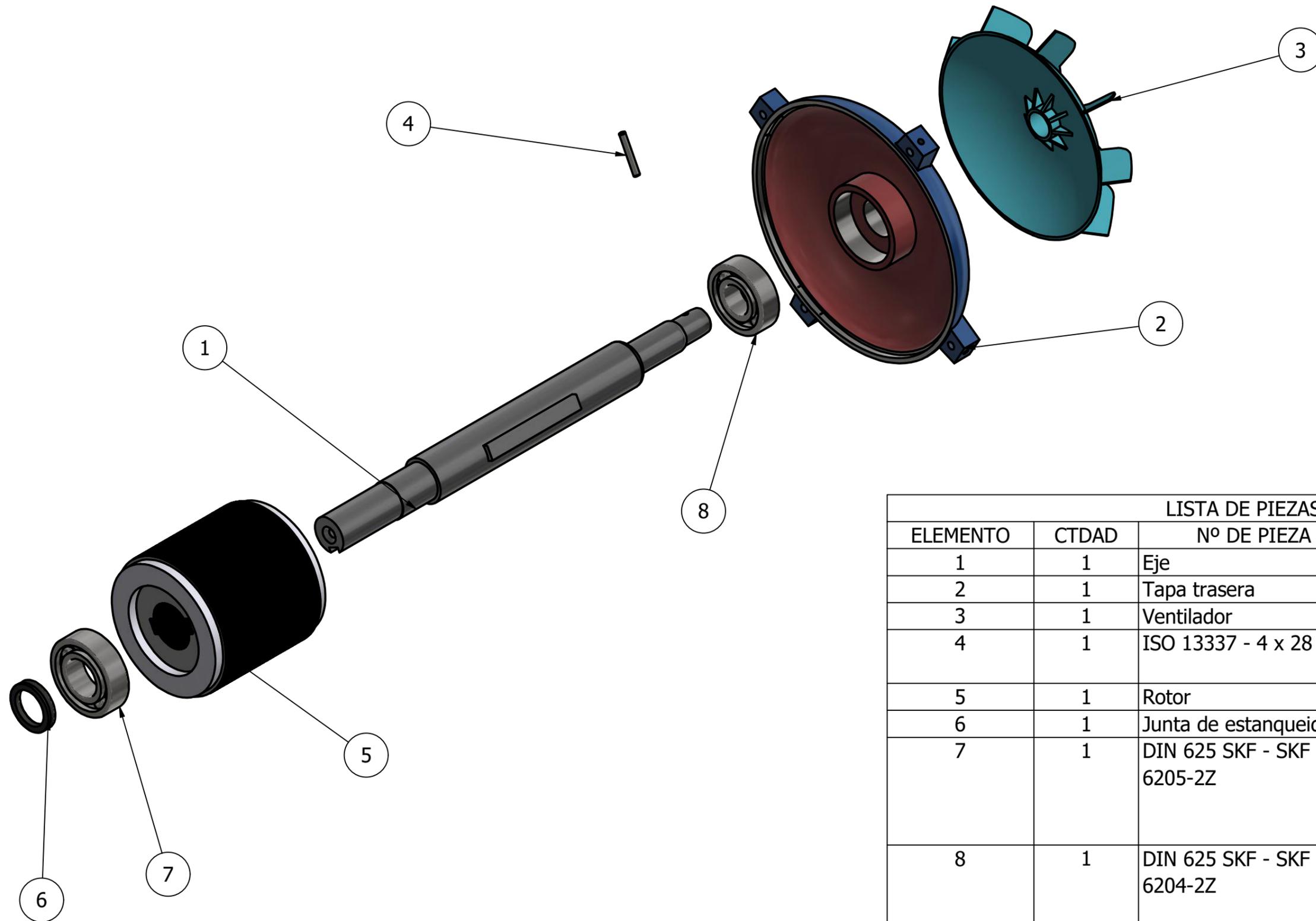
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Base y barrotes jaula de ardilla
2	2	Chapa de acero
3	1	Lamina aislante
4	1	Base jaula de ardilla

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Plano: Ensamblaje del rotor
DISEÑO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR	Autor proyecto: Javier Montesinos Sancho
	Fecha: 2020/2021



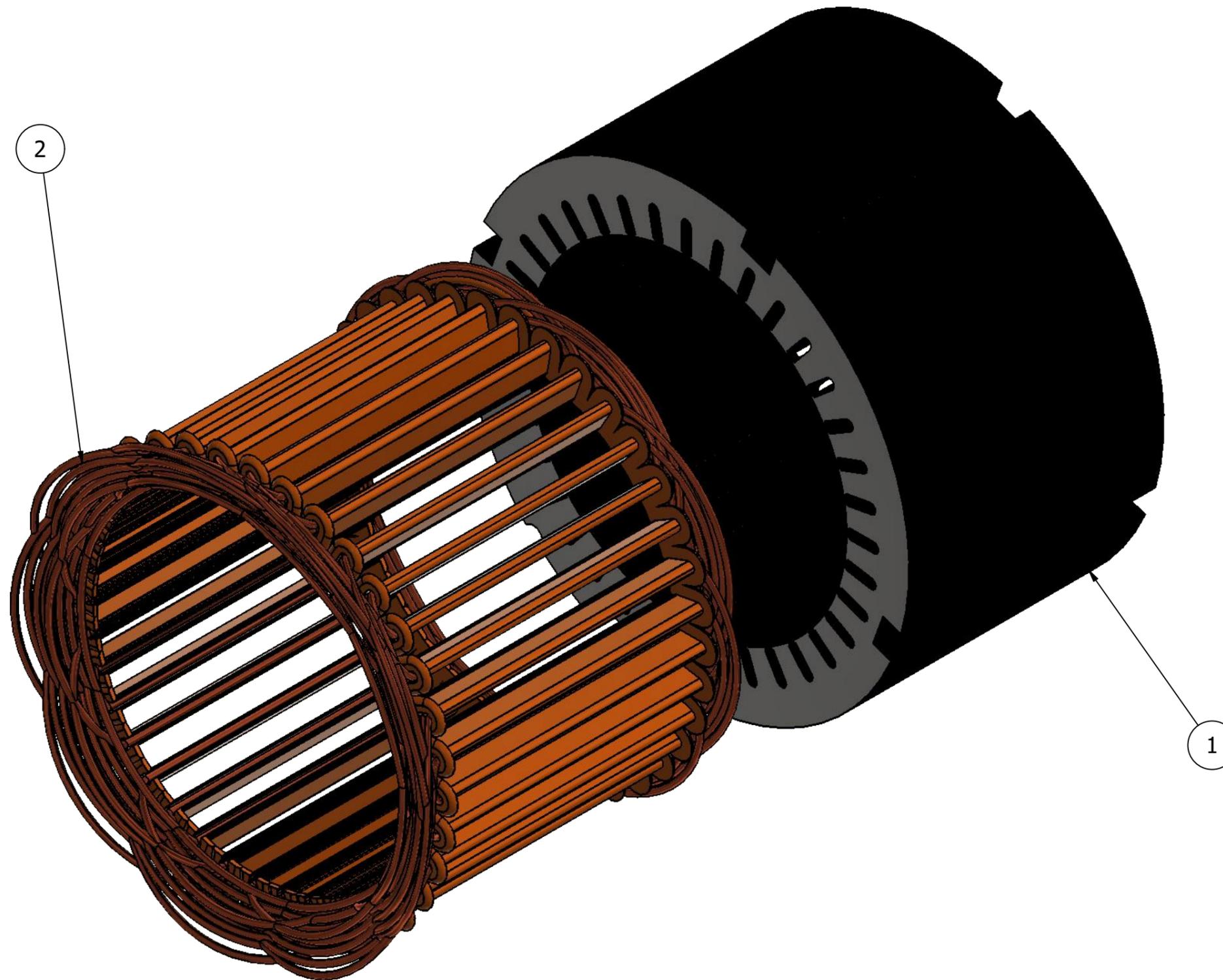
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Chapa Estator
2	1	Lámina Aislante estator

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Plano: Ensamblaje del estator
DISEÑO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR	Autor proyecto: Javier Montesinos Sancho
	Fecha: 2020/2021



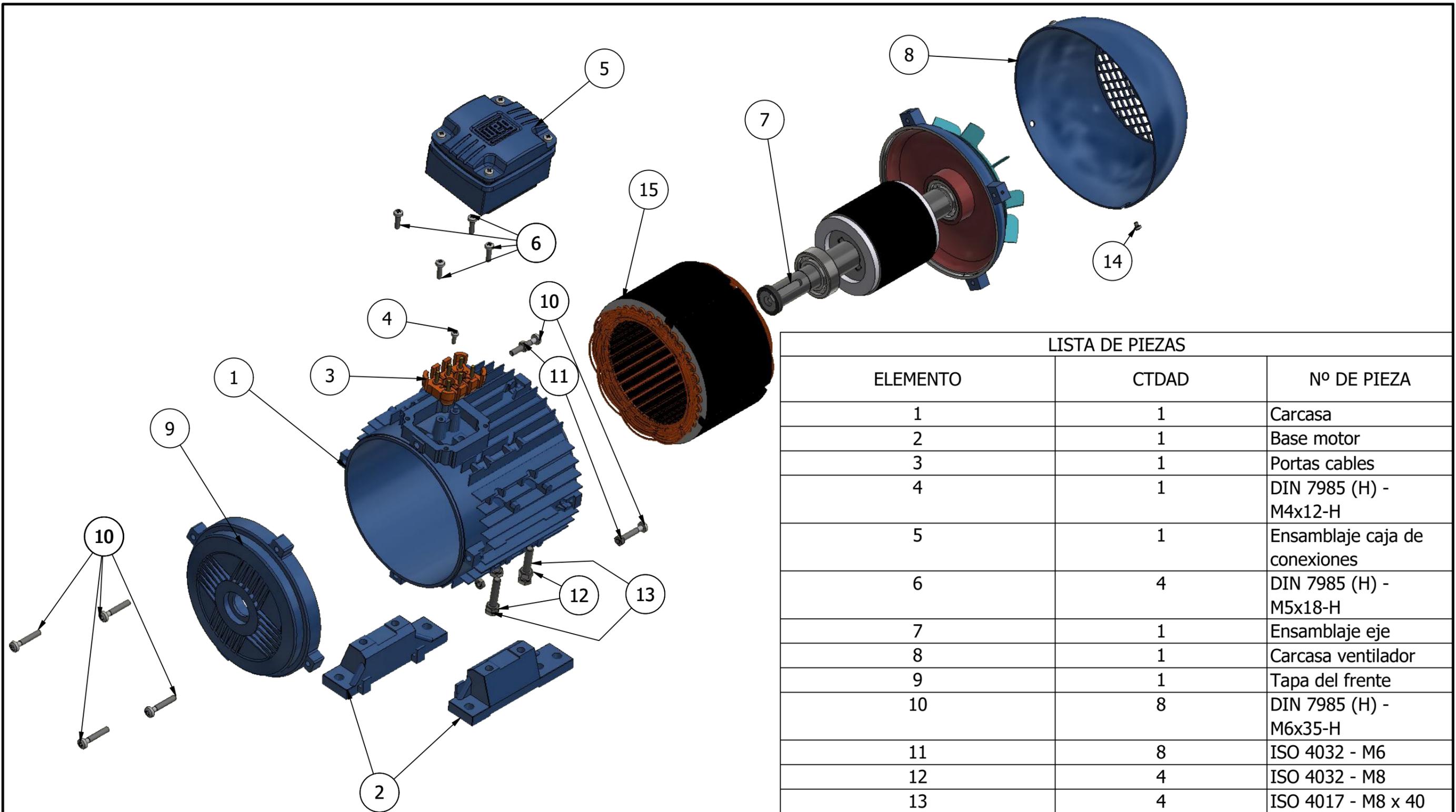
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Eje	
2	1	Tapa trasera	
3	1	Ventilador	
4	1	ISO 13337 - 4 x 28	Pasador elástico de espiral
5	1	Rotor	
6	1	Junta de estanqueidad	
7	1	DIN 625 SKF - SKF 6205-2Z	Rodamientos de bolas con acanalado profundo, de una hilera, con dos escudos Z SKF
8	1	DIN 625 SKF - SKF 6204-2Z	Rodamientos de bolas con acanalado profundo, de una hilera, con dos escudos Z SKF

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Plano: Ensamblaje del eje
	Autor proyecto: Javier Montesinos Sancho
DISEÑO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR	Fecha: 2020/2021



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Estator	
2	1	Bobinado	Espiras y moldes

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Plano: Ensamblaje del bobinado
DISEÑO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR	Autor proyecto: Javier Montesinos Sancho
	Fecha: 2020/2021



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Carcasa
2	1	Base motor
3	1	Portas cables
4	1	DIN 7985 (H) - M4x12-H
5	1	Ensamblaje caja de conexiones
6	4	DIN 7985 (H) - M5x18-H
7	1	Ensamblaje eje
8	1	Carcasa ventilador
9	1	Tapa del frente
10	8	DIN 7985 (H) - M6x35-H
11	8	ISO 4032 - M6
12	4	ISO 4032 - M8
13	4	ISO 4017 - M8 x 40
14	3	DIN 7985 (H) - M4x5-H
15	1	Ensamblaje estator

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	Plano: Ensamblaje completo
	Autor proyecto: Javier Montesinos Sancho
DISEÑO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE AUTODESK INVENTOR	Fecha: 2020/2021