03-034

MODELING USING INVENTOR AND RESISTANT, THERMAL AND ACOUSTIC STUDY OF A STANDARD COMPUTER CASE.

Armero Martínez, Antonio (1); Rubio Caro, José (1)
(1) Universidad Politécnica de Valencia

The development of the study is part of the achievement of a Final Degree Project (FDP). The objective is to develop a case or box for a medium-sized computer, also taking into account thermal and acoustic conditions. The working temperature of the processor, memories and other electronic elements that this computer incorporates must be controlled and contained, which is why an efficient heat dissipation is needed. The main challenge in the design of an enclosure is to maintain an adequate working temperature of the system and at the same time avoid noise pollution in the work environment that the fans produce. There are also resistant, size and aesthetic requirements as the enclosure is the visible part that is integrated into the workplace. The aim of the article is to develop an efficient and silent enclosure design, which accommodates the necessary electronic elements, with a contained size and with a pleasant external shape.

Keywords: Computer design; computer cabinet; computer case; computer enclosure; dissipation; ventilation.

MODELADO EN INVENTOR Y ESTUDIO RESISTENTE, TÉRMICO Y ACÚSTICO DE UNA ENVOLVENTE DE COMPUTADORA ESTÁNDAR.

El desarrollo del estudio se enmarca en la consecución de un Trabajo Final de Grado (TFG). El objetivo consiste en desarrollar una caja o envolvente de una computadora de tamaño medio atendiendo también a condicionantes térmicos y acústicos. La temperatura de trabajo del procesador, memorias y otros elementos electrónicos que incorpora esta computadora debe estar controlada y ser contenida por lo que se necesita una disipación de calor eficaz. El desafío principal en el diseño de una envolvente es mantener una adecuada temperatura de trabajo del sistema y al mismo tiempo evitar la contaminación acústica en el entorno laboral que producen los ventiladores. Hay además requisitos resistentes, de tamaño y estéticos al ser la envolvente la parte visible que se integra en el centro de trabajo. El objetivo del artículo consiste en desarrollar un diseño de envolvente eficiente, silencioso, que dé cabida a los elementos electrónicos necesarios, con un tamaño contenido y con una forma exterior agradable.

Palabras claves: Ordenador; caja de ordenador; envolvente de ordenador; disipación de calor; ventilación.

Correspondencia: Antonio Armero Martínez antonio@tecnival.com anarmar2@upvnet.upv.es

©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

1. Introducción

Actualmente las computadoras forman parte de nuestro trabajo diario y todavía más en el sector docente e investigador. Su utilización no se limita al ámbito profesional sino que se está extendiendo el uso recreativo. Esta evolución ha tenido como consecuencia un crecimiento a la par en el mercado del *hardware*. Numerosas empresas en el sector desarrollan, además de los propios componentes electrónicos, las distintas piezas necesarias para el correcto funcionamiento del equipo, como son los sistemas de refrigeración, así como la caja o chasis que alberga y protege el resto de componentes. Los ordenadores se fabrican en diferentes formatos según las necesidades, desde portátiles hasta torres de gran tamaño que se utilizan como servidores de redes. En la tipología de torre, la pieza que determina el tamaño del equipo, es la placa base que se fabrica en varias medidas estandarizadas.

En este artículo se recoge el diseño especialmente enfocado para el uso profesional, del chasis de un ordenador personal, manteniendo unas dimensiones compactas capaces de albergar el factor de forma estandarizado para placa micro-ATX. Es por ello que se priorizará en el diseño la correcta ventilación de los componentes internos que ha de albergar, así como la baja sonoridad, todo ello manteniendo unas dimensiones compactas.

Este estudio se ha desarrollado en un trabajo de fin de grado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia que ha presentado el alumno José Rubio Caro bajo la dirección del profesor y coautor de este artículo Antonio Armero Martínez.

1.1 Objetivos

La finalidad de este artículo es:

- El modelado de las piezas que definen la carcasa de un ordenador estándar.
- El estudio resistente y del comportamiento térmico y acústico de la carcasa para conseguir un buen funcionamiento del equipo.

Para ello, tras un primer diseño conceptual de las piezas, se modelará en detalle la carcasa mediante el software 3D Autodesk Inventor, a través del cual se realizarán también los planos 2D. Este mismo modelo servirá para realizar análisis estructurales bajo distintas situaciones de carga para comprobar el correcto comportamiento resistente de los materiales. Además, se estudiará de forma analítica la capacidad de chasis de disipar correctamente el calor generado por los componentes. Por último, se realizará un análisis acústico para certificar que se ajusta a los parámetros deseados. Todo ello con el fin de obtener un diseño funcional y optimizado, con un formato que se integre bien en oficina y un uso orientado a la ingeniería.

2. Componentes

Las placas electrónicas se alimentan en corriente continua a tensiones de 3, 5 y 12 voltios. Por ello el elemento principal a tener en cuenta va a ser la fuente de alimentación. Aparte de suministrar esa tensión protegen la placa base. Para las placas actuales el tipo de fuente se llama igualmente ATX. El circuito de la fuente es más moderno y siempre está activo, o sea, la fuente siempre está alimentada con una tensión pequeña para mantenerla en espera. Una ventaja adicional de las fuentes ATX es que no disponen de un interruptor de encendido/apagado, sino que trabajan con un pulsador conectado a la placa base, esto facilita las conexiones/desconexiones desde la caja, la BIOS o incluso de forma remota.

Estas fuentes se conectan a las placas mediante un conector estándar. En la placa base se encuentran además elementos indispensables del sistema, como el microprocesador, la memoria RAM, las ranuras de expansión o el circuito integrado auxiliar (chipset). En su interior,

igualmente, se halla instalado el *firmware* del BIOS, *software* de sistema que permite regular y probar las funciones elementales del *hardware* y hace las veces de soporte para la carga del sistema operativo. La placa base en ordenadores más potentes se complementa con una tarjeta de vídeo que se acopla al puerto PCIe. Estas tarjetas mejoran la experiencia de uso con programas de CAD tan habituales en ingeniería. También tienen un uso destacado en juegos, simulación y minería de criptomonedas.

Existen diversos tipos de placas base, aunque el mercado parece agruparse en torno a dos tendencias: las placas que emplean microprocesadores AMD (Advanced Micro Devices Inc.), o las que emplean microprocesadores Intel (Intel Corporation).

Las placas base se fabrican en dimensiones estándar Según las necesidades de cada usuario, existen en el mercado diversos tipos de placas base que ofrecen distintas opciones en cuanto a sus dimensiones y a la cantidad, tipo y calidad de las conexiones que ofrecen. En nuestro caso se ha seleccionado el formato Micro-ATX. Consiste en una variante del formato ATX pero con un tamaño reducido en un 25%, midiendo 244 x 244 mm. Como en el caso de las placas ATX, disponen de un zócalo para el procesador y, aunque los modelos de gama más baja admiten únicamente 2 módulos de RAM, existen otros que admiten hasta 4. Por lo general presentan hasta 4 puertos PCI/PCIe. Uno de ellos de mayor capacidad se utiliza para para la tarjeta gráfica.

La envolvente del ordenador deberá tener previsión para el atornillado de la placa base, de la fuente de alimentación, para la distribución del cableado, para las bahías dedicadas a los discos duros, a las unidades ópticas y para los ventiladores dedicados a la refrigeración. Los laterales están provistos de tapaderas desmontables que permiten el acceso al interior, con el objeto de poder manipular los componentes. El formato de torre escogido ha sido el micro-ATX, pues su tamaño más compacto sin perder funcionalidad lo hacen idóneo para equipos de trabajo potentes a la vez que son muy funcionales y cómodos para traslado, acceso y manipulación.

3. Diseño de la envolvente en Inventor®

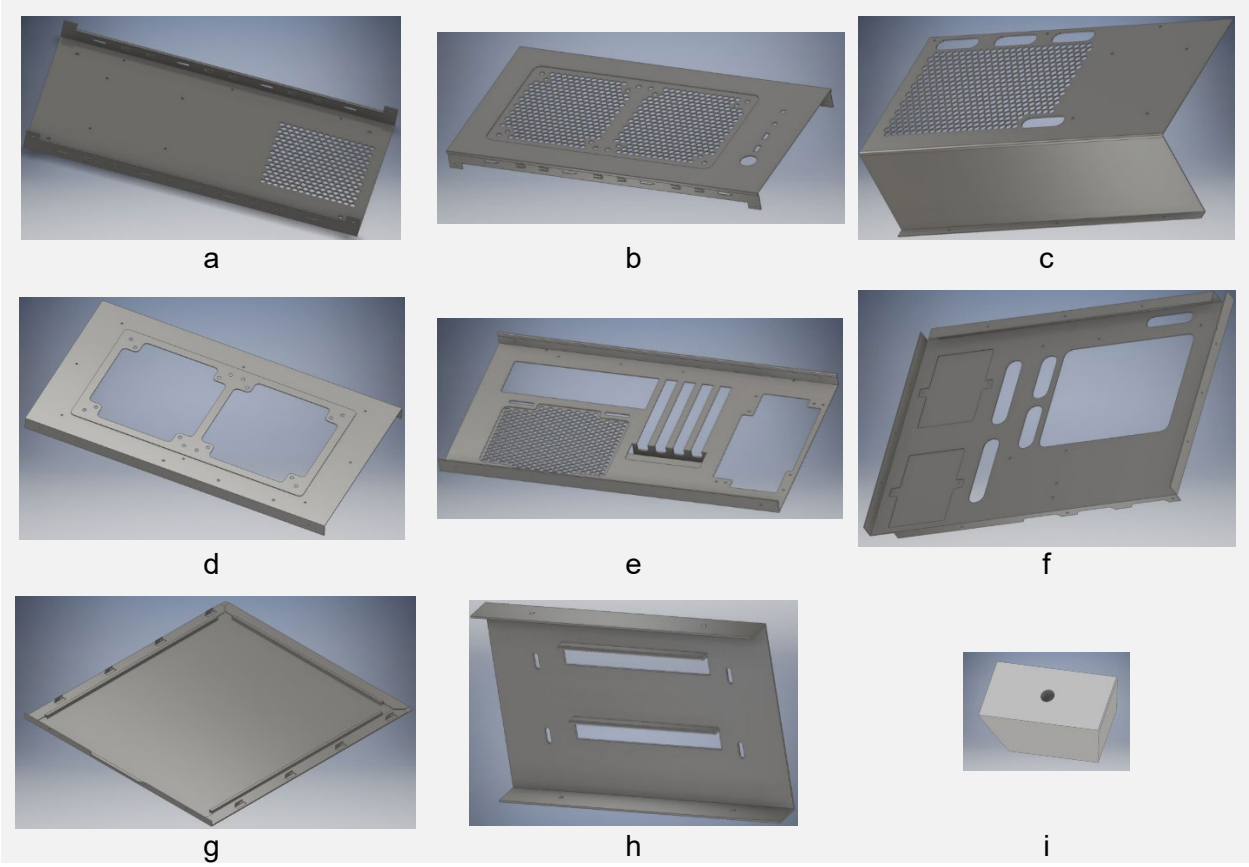
El software utilizado para el diseño de las piezas y la obtención de los planos es Autodesk Inventor, un programa de CAD de la compañía Autodesk que permite el diseño de objetos mediante modelado paramétrico en 3D. La opción *Pieza* es la adecuada para diseñar desde cero cada una de las piezas necesarias para la construcción de la caja. Mediante esta opción, pueden diseñarse piezas a partir de bocetos en 2D que posteriormente se convertirán en modelos 3D a través de operaciones como la extrusión, la revolución o el barrido. Al tratarse de un software modelador paramétrico, permite definir la geometría, dimensión y material de tal forma que, si las dimensiones se alteran en el boceto 2D, la geometría de la pieza tridimensional se actualiza de forma automática, ajustándose a las modificaciones realizadas en el boceto. Se ha seleccionado el acero como material por su resistencia y mejor precio frente al aluminio. No se utiliza el plástico como elemento principal en las envolventes salvo en portátiles de gama baja y media y en los miniordenadores de sobremesa. Nuestro modelo se diseña a partir de chapa de acero galvanizado de 1 mm de espesor.

Una vez se ha obtenido la pieza tridimensional, el programa da al usuario la oportunidad de realizarle un análisis de comportamiento en tensión utilizando el método de elementos finitos. Otra opción que ofrece este software es la de crear un molde, o crear el código correspondiente necesario para su impresión 3D. Por otro lado, la opción Ensamblaje permite al diseñador juntar todas las piezas diseñadas previamente a través de restricciones, tales como la coincidencia, de ángulo, inserción, etc. Para ello, Inventor dispone de su propio centro de contenido, en el que cuenta con numerosos elementos tales como tornillos, tuercas, perfiles, remaches, así como diversos materiales para asignar a las diferentes piezas que forman el ensamblaje. Inventor permite realizar capturas y animaciones renderizadas del

producto ensamblado, así como de cada una de las piezas obteniendo imágenes de gran calidad.

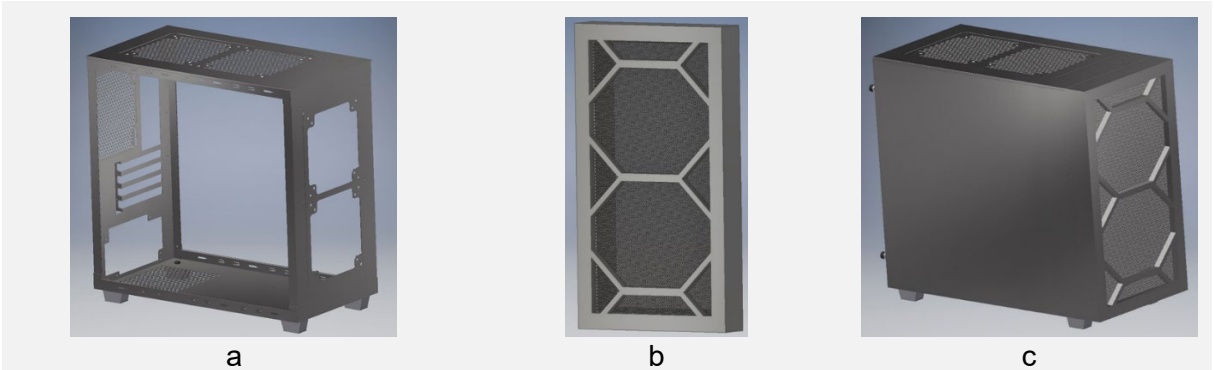
Con todo ello se definen las piezas que van a conformar nuestra caja (Figura 1). Básicamente las piezas deben formar un ortoedro. En particular, hemos definido inicialmente la posición de la fuente de alimentación en la zona inferior trasera. Tomará aire de refrigeración por la parte inferior. Para ello se ha dejado una zona perforada (Figura 1a). La placa base se coloca sobre una plancha vertical paralela a un lateral (Figura 1f). Y la fuente de alimentación queda separada y protegida por otra pieza (Figura 1c) en la parte inferior.

Figura 1. Conjunto de piezas más relevantes en el diseño. (No se mantiene la escala).



Las piezas se ensamblan para formar la envolvente de esta manera tal y como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Proceso de montaje



4. Análisis de tensiones

Para analizar el efecto sobre la envolvente del peso de los diferentes componentes se asignan valores a cada pieza. La placa base debe soportar los elementos que se conectan sobre ella. Los más pesados son el disipador del procesador y la tarjeta gráfica. Ambos no sólo ejercen una tensión directa sobre la placa, sino también un momento que en el caso del disipador puede ser elevado. La tarjeta gráfica, aunque es voluminosa, se apoya también en otro punto de la pieza trasera por lo que no queda en completamente en voladizo. Por tanto, en la placa base se tiene en cuenta tanto su propio peso incluyendo la propia CPU y la RAM, el peso del disipador de la CPU, y el peso de la tarjeta gráfica. Los valores asignados son los siguientes:

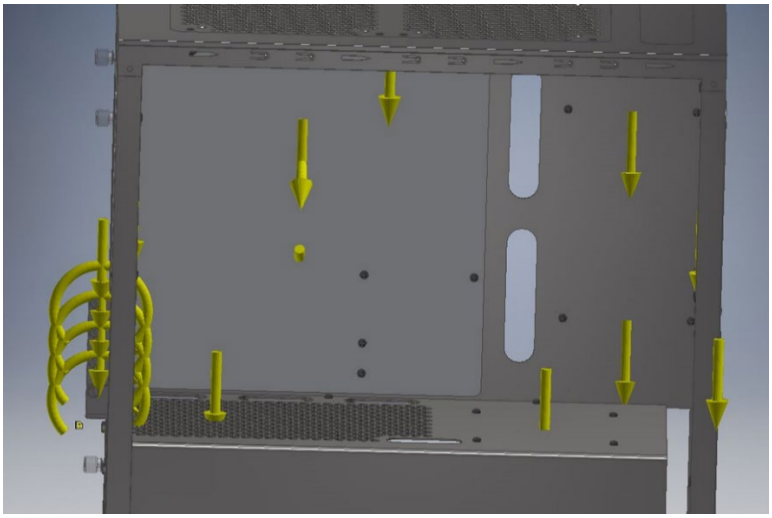
- Masa placa base: 1,0 kg
- Masa disipador CPU: 1,0 kg
- Masa tarjeta gráfica: 1.5 kg

Para poder evaluar desde la seguridad, se han considerado componentes que disponen de una gran superficie de disipación, lo que los hace más grandes y más pesados. Estamos evaluando la situación de mayor carga. Además, suponiendo que se colocaran dos tarjetas gráficas de esa masa, en total la placa base pesaría unos 5 kg, o lo que es lo mismo, 49 N. Puesto que el peso de cada componente no se aplica directamente en la placa base, a ésta le afecta un momento que, según la magnitud de la fuerza equivalente y su punto de aplicación, se ha determinado en 7.500 N·mm.

Para los cálculos estáticos se ha determinado que la zona de las salidas de las tarjetas de expansión, donde va atornillada la gráfica, recibe aproximadamente un tercio de su peso, y que cada una de ellas ocupa dos ranuras de expansión, distribuyendo así la mitad del tercio de su peso en cada tornillo de apoyo, lo que sería el equivalente a 0,25 kg por tornillo, una fuerza de 2,45 N con un momento en ese punto de 375 N·mm.

También se han tenido en cuenta los ventiladores superiores, frontales y trasero. Los superiores y frontales se han tratado como un conjunto de ventiladores y se ha considerado también un radiador que se utiliza actualmente en refrigeración líquida. Para el análisis se ha considerado el caso extremo de ubicar un radiador en la parte superior y a la vez en la frontal. Se ha signado una masa de 3 kg para un conjunto de radiador más ventiladores lo que supone otra fuerza para cada uno de unos 29,4 N. Por otro lado, el ventilador trasero se ha estimado con una masa de 300 g, valor máximo para un ventilador de 120 mm convencional. Esto hace una fuerza de 2,94 N (Figura 3).

Figura 3. Acciones sobre la envolvente



En el caso de los discos duros de 2.5”, se han representado con una masa de 100 g, lo que equivaldría a una fuerza de 0,98 N en dirección vertical aplicada sobre las piezas que los sujetan. Por su parte, los discos de 3.5” se han considerado con 500 g de masa, lo que supondría un peso de 4,9 N cada uno.

Por su parte, la fuente de alimentación se atornilla en su espacio correspondiente. Para este componente se ha asignado una masa de 3,5 kg (34,3 N), también en el rango superior.

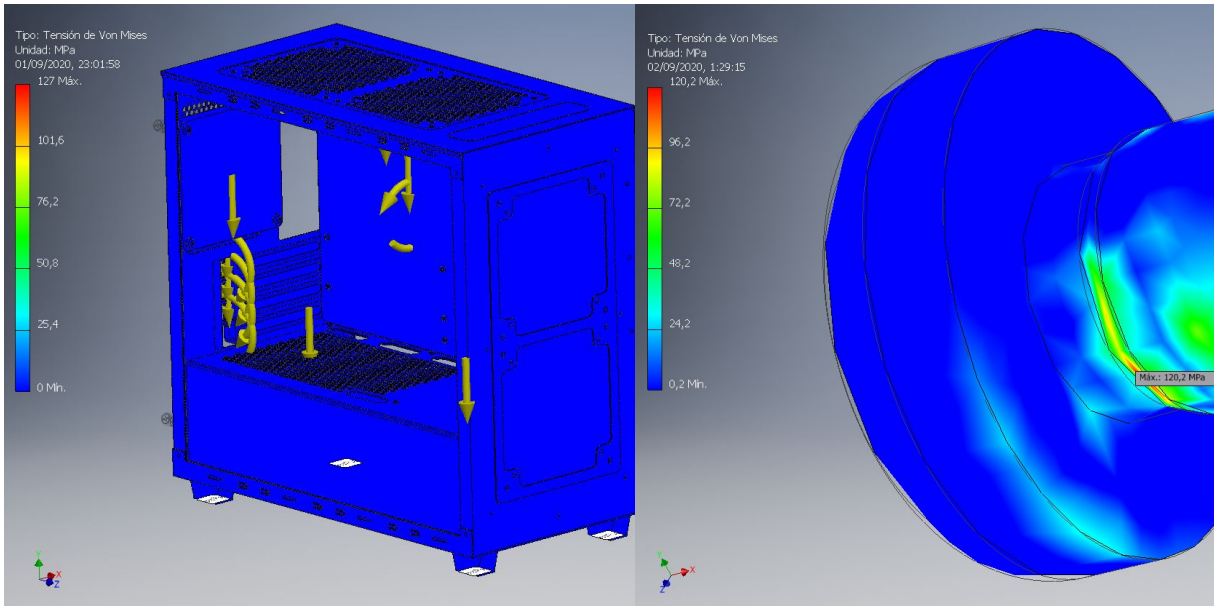
Los resultados a evaluar son el valor máximo de la Tensión de Von Mises el desplazamiento, la deformación y el coeficiente de seguridad (Autodesk, 2014). La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. Es una tensión equivalente que tiene en cuenta las tres tensiones que se dan en las direcciones principales. En este análisis, se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 4.

Como puede apreciarse, la carcasa en conjunto está sometido a una tensión muy baja. Los valores mayores de tensión aparecen en los tornillos. Concretamente, la parte que tiene que soportar una tensión más elevada es el tornillo que se encuentra en la parte inferior izquierda de la placa base, con una tensión de Von Mises de 120,2 MPa. Como es el elemento más solicitado y la tensión no llega ni a la mitad del límite elástico del acero, se concluye que toda la estructura resiste sobradamente los esfuerzos a los que se le ha sometido.

Como parte del proceso evaluamos los desplazamientos. Esta magnitud expresa la distancia a la que se han movido las diferentes piezas desde su posición original, como resultado de la aplicación de las cargas. Se comprueba el desplazamiento máximo en los tres ejes. El elemento que sufre un mayor desplazamiento es la placa base, concretamente su esquina inferior derecha, con un desplazamiento total de 0,252 mm, que se corresponde con el desplazamiento máximo tanto del conjunto como del Eje X (Figura 5). Es debido a que es la parte de la placa que queda más suelta, y en total debe soportar un gran momento generado por las tarjetas gráficas y el disipador.

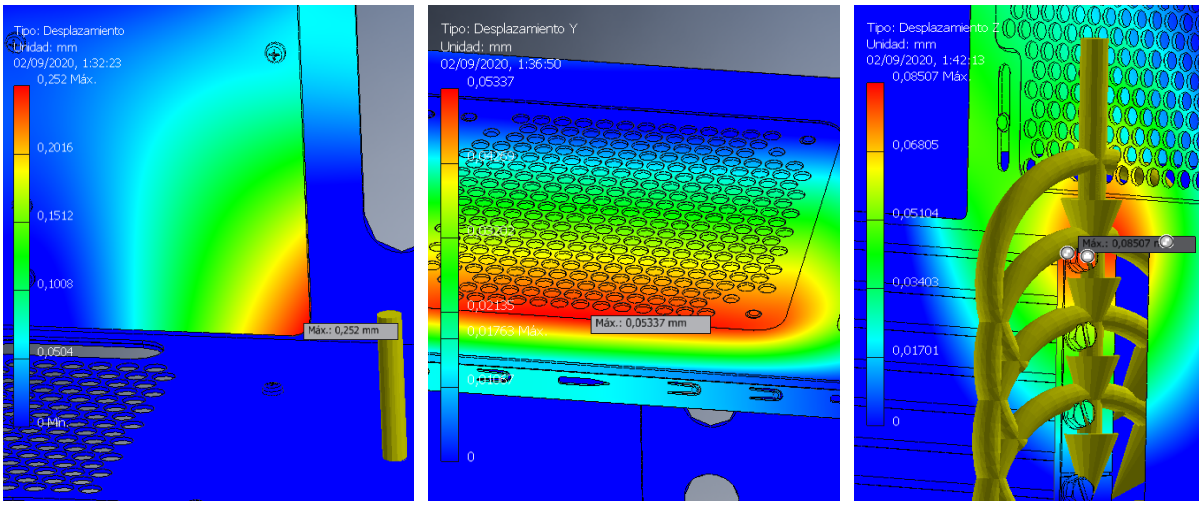
En cuanto al Eje Y, el mayor desplazamiento se da en la parte correspondiente al anclaje de los ventiladores, concretamente en el lado en el que la caja queda abierta, con un desplazamiento de 0,05337 mm. En el otro lado no hay desplazamiento, pues en su cara inferior está atornillada la bandeja de la placa base, haciendo función de refuerzo.

Figura 4 Tensión de Von Mises en la carcasa



Finalmente, en el Eje Z el elemento más desplazado es la parte trasera, concretamente la zona que se encuentra entre la primera tarjeta de expansión y el ventilador trasero. Este desplazamiento se debe al momento generado por las tarjetas gráficas, con un valor de 0,08507 mm.

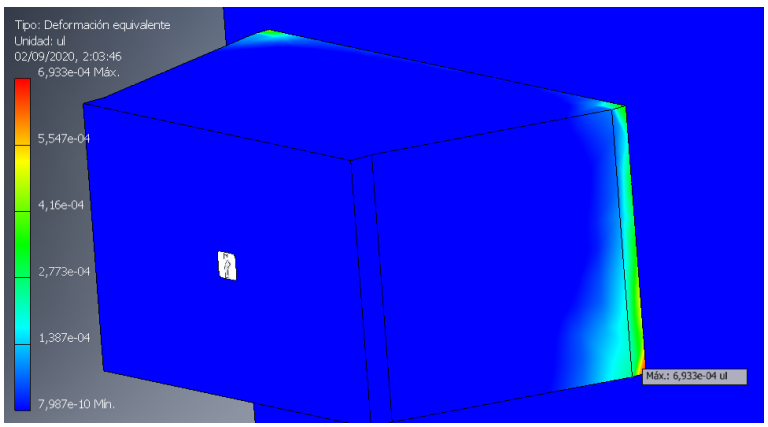
Figura 5. Desplazamientos



EJE X EJE Y EJE Z

Se entiende como coeficiente de seguridad el valor obtenido al dividir la tensión límite de elasticidad del material entre la tensión de Von Mises obtenida. En el tornillo más solicitado, este valor es de 1,72. Al estar por encima de 1, la pieza es válida para quedar sometida a las cargas propuestas sin sufrir deformación plástica. La deformación máxima tiene lugar en una de los soportes de la base. Aun así, como se puede comprobar, tiene un valor prácticamente despreciable (Figura 6).

Figura 6 Deformación máxima



5. Análisis térmico

En el presente apartado se hará una estimación de la temperatura que se puede alcanzar en el interior de la caja cuando el ordenador está bajo una carga de trabajo elevada, planteando soluciones de refrigeración que se adapten al diseño.

Para ello, en primer lugar, se estimará la potencia que se necesita disipar para los componentes habituales de mercado, tanto de gama media como de gama alta (Tabla 1).

Para los cálculos no se ha tenido en cuenta el aporte de la fuente de alimentación, pues este elemento se puede considerar un sistema aislado que se enfría por sus propios medios.

Tabla 1 Potencia a disipar por componente

Componente	Potencia (TDP) en W	
	Gama media	Gama alta
CPU	65	125
GPU	75	250
RAM	5	10
HDD	6	6
SDD	2	2
Placa base	20	20
Total potencia a disipar	173	413

Mediante la siguiente ecuación se puede estimar el caudal necesario de aire para disipar una potencia determinada consiguiendo en el aire el incremento de temperatura deseado (CP Technologies, nd). Se suele utilizar la unidad anglosajona *Cubit Feet per Minute (CFM).* Un CFM equivale a 28,31 litros por minuto.

$$CFM \simeq 1{,}76\frac{P}{\Delta T} \quad (1)$$

Donde P es la potencia a disipar. La única incógnita restante para seleccionar la configuración de ventiladores es el incremento de temperatura. En esta ecuación, dicho incremento hace referencia a cuánto se calienta el aire, no a la temperatura máxima que alcanzan los componentes, pues es el aire el que se está analizando, ya que el objeto de trabajo es elegir un sistema de refrigeración óptimo.

Considerando que el equipo de gama media puede alcanzar unas temperaturas de unos 60ºC en el procesador y tarjeta gráfica cuando ambos trabajan al 100% de su capacidad, puesto que no son de alto consumo y para una temperatura ambiente de 25ºC, esto supondría un incremento de temperatura máximo de 35ºC en los componentes. Como se ha señalado anteriormente, el aire interior no llegará a alcanzar esa temperatura, pues el tiempo que pasa en la carcasa entre que es introducido y expulsado, no es el suficiente para que se estabilice. Por tanto, su temperatura es siempre menor a la máxima a la que se encuentran sus componentes.

Una buena refrigeración es importante para el diseño por las siguientes razones:

- Los componentes electrónicos se conservan mucho mejor a bajas temperaturas.
- Cuanto menor sea la temperatura del interior de la carcasa (entendida como la “temperatura ambiente en el interior”) con mayor facilidad se realizará el intercambio de calor en los disipadores.
- Es de agradecer que el aire expulsado por la torre sea lo más fresco posible en cuanto a que, dicho aire, que siempre será más caliente que la temperatura de la habitación en la que se encuentre el ordenador, tiende a generar pequeños incrementos de la temperatura ambiente donde se encuentra el usuario. Este fenómeno puede ser molesto en épocas como el verano o en el caso de que se esté trabajando en una oficina o un lugar cerrado con numerosos equipos que estén siendo forzados térmicamente.

Se considerará un aumento de la temperatura del aire de unos 10ºC. Como se desea mantener el interior de la caja lo más fresco posible, se calculará el caudal necesario para obtener únicamente un aumento de 10ºC. Para el primer nivel de potencia obtenemos el siguiente resultado:

$$Q = 1{,}76\frac{173}{10} = 30{,}448\ CFM \quad (2)$$

Se necesita, por tanto, un caudal de 30,448 CFM para mantener el incremento de temperatura deseado. Para ello, serviría una configuración con un único ventilador trasero que expulsara el aire caliente, pues en el mercado pueden encontrarse varias opciones con dichas características.

Para el siguiente nivel de potencia correspondiente a un ordenador de gama alta que genere 413 W de calor, considerando el mismo incremento de temperatura en el aire, se requiere el siguiente caudal.

$$Q = 1{,}76\frac{413}{10} = 72{,}688\ CFM \quad (3)$$

Se obtienen 72,688 CFM, un caudal difícil de conseguir con un único ventilador, a menos que este fuera de 140 mm y enfocado a proporcionar un gran flujo de aire, aunque aun así se debería tener en cuenta la impedancia del sistema, por lo que es una solución poco viable si se desea mantener un límite de 10ºC. La opción óptima en este caso sería una configuración de dos ventiladores introduciendo aire en paralelo, con el fin de conseguir un aumento del caudal.

Por otro lado, si el objetivo a alcanzar fueran 15ºC, el caudal necesario sería de 48,4586 CFM, un valor alcanzable con la mayoría de ventiladores de 120mm. Sin embargo, puesto que la impedancia del sistema no es nula, las pérdidas acabarían empeorando el flujo de aire, siendo menor el caudal que el ventilador puede proporcionar. Por ello, sería recomendable utilizar en este caso un ventilador delantero de 140 mm o la opción de los dos ventiladores en paralelo (siendo esta última opción la más eficaz), acompañados ambos casos de uno trasero que extrajera aire caliente.

Finalmente, si se quiere barajar el caso extremo, se podría suponer una situación en la que haya que enfriar una configuración con doble tarjeta gráfica de gama alta, donde la potencia calorífica aumentaría hasta los 663 W. En ese caso, para que el aire solo se calentara en 15ºC obtendríamos el siguiente caudal:

$$Q = 1.76\frac{663}{15} = 77.792\ CFM \quad (4)$$

Para este caso extremo, teniendo en cuenta la impedancia del sistema, sería necesario una combinación de doble ventilador frontal que introdujera aire. Otra alternativa para conseguir menores temperaturas sería que, aparte del aire introducido, se extrajera por medio de un ventilador trasero y dos en la parte superior, creando la configuración de flujo de aire que enfriaría el interior de manera más eficaz. Sin embargo, el equipo tendría una configuración de presión negativa, favoreciendo la entrada de polvo (Jae-Ung & Moon-Sik, 2012).

Por tanto, despejando la ecuación de tal forma que la incógnita sea la temperatura, para la caja diseñada y teniendo en cuenta los casos analizados, los resultados en grados centígrados que se obtienen barajando todas las posibilidades pueden observarse en la Tabla 2 que se va a presentar a continuación.

Tabla 2 Incremento de temperatura (ºC) interior según configuración de ventiladores

	Potencia a disipar (W)			
Configuración ventiladores (caudal CFM)	**173**	**413**	**663**	Presión int.
Trasero 120 + frontal 120 (41,6)	7,18	17,95	28,01	Neutra
Trasero 120 + frontal 140 (58,3)	5,13	12,46	20,00	Positiva
Trasero 120 + 2 frontales 120 (~83.3)	3,59	8,73	14,01	Positiva
Trasero 120 + 2 frontales 140 (~116.6)	2,58	6,27	10,06	Positiva
Trasero 120 + 2 superior 140 + 2 frontal 140 (~158.3)	1,91	4,63	7,43	Negativa

Para ello se ha considerado que los ventiladores de 120 mm proporcionan de media unos 50 CFM, los de 140 mm suben hasta 70 CFM, y que todos ellos giran a su máxima velocidad (Conroy 2021). La medida del CFM total que se ha considerado en los cálculos es tal que se adopta el valor máximo entre el CFM total de entrada y el de salida. No se suman ambos caudales, pues se trataría de una configuración “en serie” en la que entran 50 CFM y salen 50 CFM. Además, se ha estimado un coeficiente que representa la impedancia del sistema, con un valor aproximado de 1,2. Se muestra también la presión interior neutra, positiva o negativa según la disposición de los ventiladores.

Como se puede comprobar, el único caso en el que se han estudiado ventiladores en la parte superior ha sido teniendo el frontal ocupado, puesto que se pretende conseguir una presión ligeramente positiva para disminuir en la medida de lo posible la entrada de polvo.

Una vez realizado el análisis de tensión del anterior apartado y dadas las posibilidades, la opción mínima a considerar para que la carcasa sea efectiva térmicamente incluso estando equipado con componentes de gama alta que generan una gran cantidad de calor, es disponer de un ventilador trasero y uno en el frontal (Rose, B. n.d.).

Con intención de garantizar los mejores resultados de refrigeración, el ventilador frontal será de 140 mm, mientras que el trasero será de 120 mm. El hecho de que el frontal sea de 140mm permite que, además de aportar un caudal mayor de aire, sea una opción más silenciosa que el de 120, pues es necesario que gire a un menor número de rpm para aportar el mismo caudal de aire, lo que se traduce en menos fricción, menos vibraciones y menos efectos aerodinámicos que generan ruido.

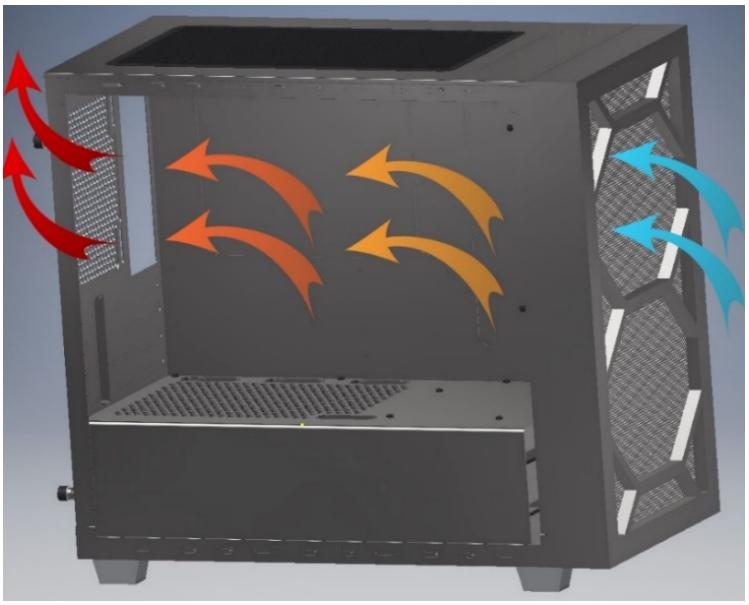
Dentro de las opciones presentes en el mercado, se ha seleccionado el modelo Arctic P14 PWM PST 140 mm para ubicar en el frontal de la caja. Este modelo tiene las siguientes especificaciones:

- Diámetro de 140 mm.
- 72,8 CFM a velocidad máxima (en flujo abierto)
- 25 dB a máxima velocidad
- Rodamiento de doble bola (con mayor vida útil que los de bolas convencionales).
- Optimizado para alta presión estática
- Minimiza las vibraciones
- Control PWM de velocidad

La misma marca dispone también de un modelo de 120 mm, que será la opción elegida para la expulsión de aire por la parte trasera de la caja. Se trata del Arctic P12 PWM 120 mm, y dispone de las mismas características que el de 140 mm, únicamente difiere en su menor tamaño.

Colocando el ventilador frontal en el espacio superior de los dos disponibles con el fin de que llegue más directo a los componentes, el flujo de aire en el interior sería el siguiente:

Figura 7 Flujo de aire en el interior de la caja diseñada



6. Análisis acústico

Uno de los objetivos del proyecto es que el equipo sea silencioso lo que también mejora el ambiente de trabajo. Para conseguir un equipo con baja sonoridad se puede actuar en dos direcciones: de forma directa sobre la emisión o indirecta sobre la absorción.

Los elementos de mayor emisión son los ventiladores. Las medidas de reducción directa de ruido que se puede adoptar en el interior de la caja teniendo en cuenta su diseño, son las siguientes:

- Seleccionar ventiladores de mayor diámetro.
- Utilizar un sistema de cojinetes silencioso (en los ventiladores)
- Usar ventiladores con la velocidad de giro regulable.
- Canalizar el aire a través del frontal de forma que no tenga excesivos obstáculos y que se introduzca y pase por la caja siguiendo una trayectoria rectilínea. Es también preferible que el aire no tenga que pasar por bahías de discos o de unidades ópticas para llegar al resto de componentes.
- Utilizar filtros con orificios circulares en lugar de rendijas.
- Reducir las vibraciones con soportes absorbentes.

Como ya hemos indicado, en el diseño final se dispondrá de un ventilador de 140 mm para el frontal. En la parte trasera se colocará uno de 120 mm. También se ha planteado incluir en la caja la opción de montarlos con elementos antivibración, pues es una opción económica que, al no dejar el ventilador atornillado a la chapa, permite reducir el efecto de las vibraciones al mínimo. Igualmente, con el fin de reducir las vibraciones se ha instalado un adhesivo de goma en puntos de apoyo que, de paso, añade a los soportes propiedades adherentes a la superficie sobre la que se vayan a colocar. También se han añadido soportes de silicona para la fuente de alimentación, en los discos duros de 3.5” (tanto en su base como en las monturas de los tornillos) y en los discos duros de 2.5” (Figura 9).

En primer lugar, vamos a calcular el aislamiento (R) que proporciona el acero. El aislamiento de paredes simples, homogéneas y delgadas se estima con la Ley de Masas que es una expresión semiempírica:

$$R = 20\log(Mf) - 47 \quad (5)$$

Donde M es la masa por unidad de superficie en kg/m^2, f es la frecuencia de la onda, en Hz, y Z es la impedancia acústica del medio en el que se encuentra la pared. En la ecuación se ha sustituido la impedancia Z que para aire toma el siguiente valor: Z = 415 rayls (Elejalde et al., 2003).

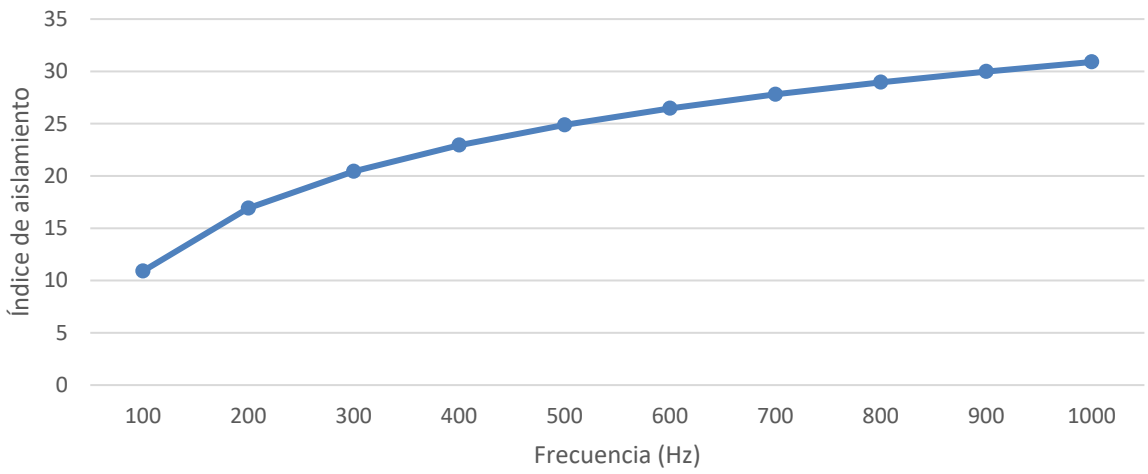
Puesto que las tapas diseñadas tienen 1 mm de grosor y son de acero galvanizado:

$\rho_{ac.galv}$ = 7.850 kg/m^3 espesor e = 1 mm = 0,001 m

Lo que resulta en una densidad superficial M = 7,85 kg/m^2

La frecuencia del sonido que se produce en el interior de la caja pertenece al espectro bajo aunque variable, pues depende mucho del tipo de componentes y de la carga térmica a la que estén sometidos, pues esto último está directamente relacionado con la velocidad a la que giran los ventiladores tanto de la caja como de los componentes. Se estima, por tanto, un rango de frecuencia de las ondas sonoras entre 0 y 1000 Hz (Nantais, 2008). Teniendo en cuenta todos los parámetros, puede obtenerse la tendencia que sigue la curva que representa el índice de aislamiento de las tapas según la frecuencia, tal y como se muestra en la gráfica (Figura 8) que recoge los resultados obtenidos a partir de los cálculos.

Figura 8. Índice de aislamiento de la tapa lateral según la frecuencia (e=1mm)



R deberá tener en este caso un valor tal que se cumpla que el nivel acústico del ambiente exterior no supere los 40 dB. Para ello aplicamos la siguiente ecuación:

$$R = L_{p1} - L_{p2} \quad (6)$$

$$L_{p2} = L_{p1} - R \leq 40dB \quad (7)$$

En la cual L_{p1} representa la presión acústica de la zona cuyo impacto se desea reducir, y L_{p2} la presión acústica del ambiente deseada, ambas medidas en dB. El valor de L_{p1} se puede estimar en aproximadamente unos 60-65 dB en el interior de la carcasa en el peor de los casos. El índice de aislamiento oscila entre 20 y 30 (200-1000 Hz). Por tanto, obtenemos un valor de L_{p2} en torno a 40 dB.

El estudio acústico realizado es aproximado. Las tapas laterales van a amortiguar el sonido, pero éste también atravesará las partes superiores, delantera y trasera, que disponen orificios para la salida y entrada de aire. En cuanto a la absorción podemos actuar sobre las tapas laterales añadiendo un material que impida la reflexión del sonido (Figura 9). Así, menos ondas provenientes de reflexiones llegarían a las tapas y, de este modo, menos se filtrarían al otro lado de la caja, resultando en una mejora acústica apreciable (Novoselov, 2017).

Figura 9. En color negro elementos adhesivos reductores de vibraciones

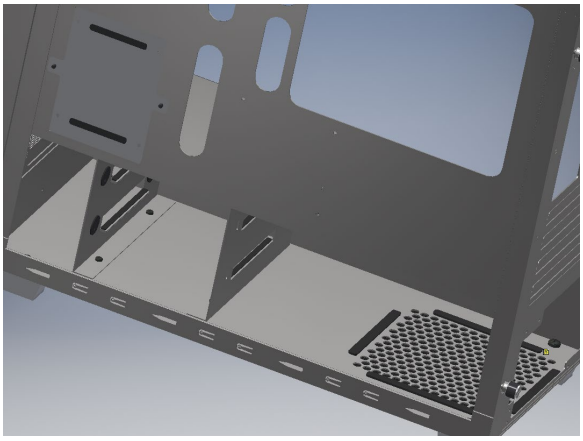
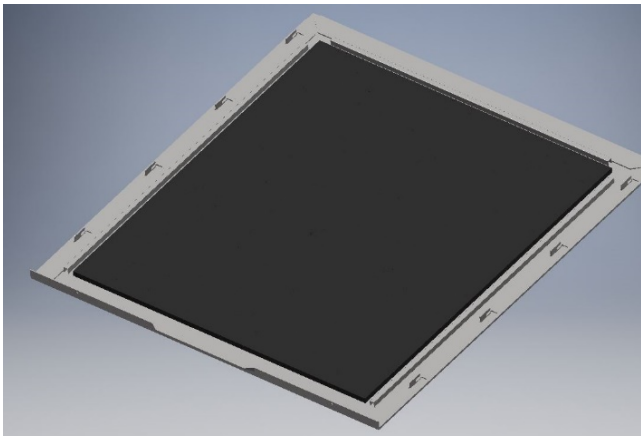


Figura 10 Colocación de láminas de material absorbente en las tapas laterales



7. Conclusiones

Los ordenadores son actualmente elementos de consumo que tienen requisitos técnicos determinados. Todas las piezas electrónicas que lo componen se concentran en una caja de dimensiones acordes a los componentes y sobre la que se establecen requisitos térmicos, acústicos, resistentes e incluso estéticos.

Las cajas se construyen en acero o aluminio y en general son suficientemente resistentes a golpes y a los pesos de los elementos que se incluyen en su interior. No obstante ya que el software utilizado lo permite, se ha realizado un estudio de resistencia del equipo determinando los elementos que más esfuerzo soportan. En nuestro caso se ha realizado el diseño de todas las piezas y el ensamblaje de las mismas con un *software* de uso profesional. Todo ello con un tamaño adaptado a los componentes y para su construcción en acero.

La disipación de calor es uno de los principales problemas a abordar en el diseño de una envolvente. A mayor potencia de procesador mayor es la necesidad de refrigeración de los componentes. Se utilizan ventiladores para mantener una temperatura estable. Por ello se ha estudiado el flujo de aire en el interior de la caja a fin de determinar la configuración más apropiada para este diseño. Finalmente se ha escogido una opción de dos ventiladores manteniendo una presión positiva en el interior.

La emisión acústica también es un efecto negativo de estas máquinas. Hacen más ruido cuanto más ventilan. Por ello también se ha realizado un estudio acústico con idea de minimizar la emisión y ofrecer una buena absorción de sonido. Como hemos visto, se ha reducido el efecto de los elementos emisores y se ha potenciado el efecto de los elementos absorbentes. Así se ha desarrollado un equipo de oficina silencioso.

Como resultado se ha obtenido un diseño efectivo y adecuado para el objetivo perseguido.

8. Referencias

Autodesk Inventor (2014). Soporte y Aprendizaje. Tensión equivalente o de Von Mises. Obtenido el 5 de abril de 2021 desde https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ESP/Inventor-Help/files/GUID-C787792D-BBB1-41A7-BBD7-CBCABCBE7C01-htm.html.

Autodesk Inventor (2014). Soporte y Aprendizaje. Deformación. Obtenido el 5 de abril de 2021 desde https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ESP/Inventor-Help/files/GUID-2E4E62D9-9493-4B65-B7A3-87F4500B626E-htm.html.

Comairrotron (n.d.). Demanda de refrigeración: volumen de aire vs presión. Obtenido el 5 de abril de 2021, desde http://www.comairrotron.com/node/2982?language=en.

Conroy S. (2021). Best PC Case Fans in 2021 (Including 80mm, 120mm, 140mm, and 200mm). Obtenido el 7 de mayo de 2021, desde https://www.wepc.com/reviews/best-case-fans/

CP Technologies (n.d.). Cooling and Noise in Industrial and Military Computer Systems. White paper. Obtenido el 5 de abril de 2021, desde https://cp-techusa.com/knowledge-zone/whitepapers/cooling-and-noise/.

Elejalde M.J., Franco A., Janariz J. & Macho E. (2003). Curso de Acústica, Aislamiento acústico. Obtenido el 5 de abril de 2021, desde http://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html.

Jae-Ung, C. & Moon-Sik H. (2012). Simulation analysis on the air flow inside computer main frame According to the location of fan. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*.

Nantais, M. (2008). Acoustical Analysis of a Desktop Personal Computer System. Tesis doctoral no publicada, University of Windsor, Windsor, ON.

Novoselov D. (2017). PC case sound dampening – Does it actually work?. Obtenido el 5 de abril de 2021, desde https://hardwarecanucks.com/computer-cases/pc-case-sound-dampening/

Rose, B. (n.d.). Understanding Airflow Fundamentals for Proper Dc Fan Selection. Obtenido el 5 de abril de 2021, desde https://www.cuidevices.com/blog/understanding-airflow-fundamentals-for-proper-dc-fan-selection.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible