

Tema A1a Diseño Mecánico: Diseño para sustentabilidad.

“Estudio comparativo de motores de aire didácticos con énfasis en la sustentabilidad”.

*Vicente Borja**, *Karla Patricia López de la Fuente*, *Arturo Mendoza*

*Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería
Circuito Exterior, Conjunto Sur, Facultad de Ingeniería Edificio X, Centro de Ingeniería Avanzada
Ciudad Universitaria Cd. de México, México, C.P. 04510.*

*Autor contacto: vicenteb@unam.mx

RESUMEN

Existen diferentes métodos, herramientas y criterios para la evaluación y diseño de productos; los que se refieren a la sustentabilidad son particularmente relevantes en el contexto actual de elevada contaminación y agotamiento de recursos. El presente trabajo reporta el diseño de un motor didáctico basado en el estudio comparativo de diseños previos. El estudio incluye el uso de una herramienta software para evaluar la sustentabilidad estimando CO₂ equivalente y el impacto al medio ambiente. Este artículo describe la herramienta software empleada y el curso en el que se han desarrollado los motores como un ejercicio didáctico. Posteriormente, el propósito y metodología seguida para el desarrollo de un nuevo motor son presentados. El desarrollo del nuevo motor incluye el estudio comparativo de 5 motores desde el punto de vista de la sustentabilidad empleando una herramienta software, facilidad de manufactura, costo y eficiencia. A partir de los resultados del estudio se proponen dos nuevos motores los cuales son comparados con los 5 estudiados previamente para identificar sus ventajas.

El proceso seguido en este trabajo puede ser aplicado para el diseño de otros productos con el propósito de reducir sus impactos negativos relacionados con la sustentabilidad.

Palabras Clave: Diseño para sustentabilidad, estudios comparativos, diseño de productos.

ABSTRACT

There are different methods, tools and criteria for the evaluation and design of products; those that refer to sustainability are particularly relevant in the current context of high pollution and depletion of resources. The present work reports the design of a didactic engine based on the comparative study of previous designs. The study includes the use of a software tool to assess sustainability by estimating CO₂ equivalent and the impact on the environment. This article describes the software tool used and the course in which the motors have been developed as a didactic exercise. Subsequently, the purpose and methodology followed for the development of a new engine are presented. The development of the new engine includes the comparative study of 5 engines from the point of view of sustainability using a software tool, easy of manufacturing, cost and efficiency. From the results of the study, two new engines are proposed, which are compared with the 5 previously studied to identify their advantages.

The process followed in this work can be applied to the improvement or design of other products with the purpose of reducing their negative impacts related to sustainability.

Keywords: Design for sustainability, comparative studies, product design.

1. Introducción

El tema de la sustentabilidad es cada día más relevante en esta sociedad que se ha aprovechado de los recursos naturales sin pensar en las consecuencias. El uso de

herramientas que promueva soluciones a esta gran problemática tiene un impacto cada vez mayor. Cuando se habla de sustentabilidad se busca equilibrio. Que un sistema sea productivo y diverso, y que con el transcurso del tiempo no pierda estas cualidades. Conservar sus recursos sin agotarlos ni producir contaminantes. Encontrar un equilibrio

entre lo viable, lo equitativo y lo soportable tanto ecológicamente como económicamente y socialmente.

Este artículo tiene el propósito de mostrar el empleo y utilidad de realizar análisis de impacto ambiental (sustentabilidad) para diseñar productos. Para cumplir con su fin, se emplea como caso de estudio un motor de vapor que emplea como fluido de trabajo aire, que es usado como herramienta didáctica en un curso de licenciatura de CAD-CAM. En el caso de estudio se hace un estudio comparativo de los motores realizados en el curso en varios años, se analiza su sustentabilidad en forma cuantitativa, aunque se estudia también su manufacturabilidad, costos y eficiencia en forma cualitativa. A partir de los resultados del estudio se proponen dos nuevos diseños de motores cuyas características también son analizadas.

Este artículo está estructurado de la siguiente forma: la sección 2 incluye antecedentes considerados relevantes para abordar los temas tratados en el artículo, entre los que están herramientas software para evaluar la sustentabilidad y la descripción de aquella empleada en el estudio comparativo; la sección 3 presenta los objetivos y metodología seguida en el proyecto reportado; la sección 4 reporta el estudio comparativo de motores realizado en el que destaca la evaluación de la sustentabilidad de los motores, además, de presentar el diseño de dos nuevos motores a partir de los resultados de la comparación de los motores previos; la última sección de este documento corresponde a las conclusiones.

2. Antecedentes

2.1. Herramientas para evaluar la sustentabilidad

En la actualidad existen herramientas software que asisten en la estimación de los impactos de un producto, desde el punto de vista de la sustentabilidad. Entre estas herramientas están *Sustainable Minds (SM)*[1] y *CES Edupack*[2], y otras enfocadas a analizar el ciclo de vida e impacto de procesos para generar reportes de emisiones de gases de efecto invernadero y como apoyo al cumplimiento de la norma ISO14000, como son *CCaLC2*[3], *GaBi*[4] y *SimaPro*[5]. Los autores de este artículo seleccionaron SM para realizar el estudio reportado en este artículo por ser una herramienta que incluye aspectos de análisis de ciclo de vida y diseño para sustentabilidad, los resultados que ofrece, su facilidad de uso en etapas tempranas del desarrollo de productos y su interfaz sencilla. SM puede incluir en sus análisis datos sobre las etapas del ciclo de vida de productos (manufactura, uso, fin de vida, transporte), y sobre los materiales de cada componente de un producto; para estimar impactos (daño ecológico, agotamiento de recursos y daño a la salud). Los impactos se reportan en CO₂ equivalente y en *milipuntos* (mPt). Un punto (1000 mPt) representa la carga anual ambiental (i.e. la totalidad de las actividades de producción/consumo de la economía) de EEUU dividida entre la parte correspondiente de cada habitante de ese país.

Un punto representa la parte proporcional correspondiente a un individuo del impacto ambiental de la economía anual [6].

2.2. Curso CAD-CAM en la UNAM

Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora (CAD-CAM), es una asignatura de los planes de estudio de las carreras de ingeniería mecánica y mecatrónica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. También la cursan en forma optativa estudiantes de ingeniería industrial. Tiene el propósito de que los estudiantes aprendan diversas herramientas computacionales para realizar modelado de sólidos, desarrollo de planos, análisis para diseño (por ejemplo, análisis por elementos finitos, simulación de mecanismos), y simulación y generación de información para manufactura (simulación de procesos de maquinado, generación de código CN, análisis de moldabilidad).

Es común que en la impartición de la asignatura se empleen estrategias de enseñanza por proyectos para que los estudiantes aprendan las herramientas software al mismo tiempo que desarrollan una solución práctica a un problema dado.

Uno de los autores de este artículo ha impartido el curso de CAD-CAM por varios años, y uno de los proyectos que sus alumnos realizan es un motor a vapor que emplea como fluido de trabajo aire. Para este proyecto a los alumnos se les proporcionan planos de un diseño para que lo empleen como referencia, y reportes que sintetizan la información de proyectos de motores realizados en cursos previos. Los alumnos realizan el proyecto en equipos y tienen la libertad de realización otro diseño de motor, modificar el de referencia e inclusive el hacer otra máquina análoga, como una turbina. Los resultados que se deben entregar es un prototipo funcional, una presentación ejecutiva y un reporte técnico [7].

2.3. Motor de vapor

Un motor de vapor tiene como principio básico de funcionamiento la expansión de vapor comprimido. Está constituido esencialmente por un mecanismo corredera-biela-manivela, que corresponde a un movimiento recíprocante de un pistón dentro de un cilindro o camisa oscilante, el cual tiene por objetivo entregar determinada potencia a través de una flecha (ver figura 1). En una primera etapa, agua se calienta, hasta que se convierte en vapor, que a su vez se expande. Esta expansión del vapor crea una fuerza. Esta fuerza se aprovecha por medio de un pistón que encaja, dentro de un cilindro hueco, de tal modo que el pistón es empujado. Al estar el eje conectado a una biela-manivela, el movimiento de empuje del pistón, se convierte en movimiento giratorio del eje, debido a que la camisa del pistón es oscilante. Al empujarse el pistón, la entrada de vapor se cierra para compensar el empuje del pistón, y provocar, que el pistón regrese a su posición original. Se

tiene otra salida que se conecta a la camisa cuando oscila del lado opuesto a la entrada de vapor, por la cual, el vapor sale a la presión atmosférica.

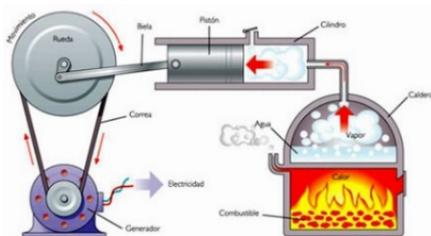


Figura 1 Funcionamiento de un motor a vapor [8].

Como se ha comentado, en el curso de CAD-CAM se realiza un motor de vapor impulsado por aire. Esto es por cuestiones de seguridad para que los alumnos no manejen vapor caliente, y se eviten riesgos de algún accidente. En este caso, el principio de funcionamiento del motor es el mismo que se ha explicado, aunque debido a que el aire no se expande el motor no es muy eficiente, pero sigue siendo útil como ejercicio didáctico para los alumnos.

3. Objetivos y metodología.

Este artículo presenta los resultados más importantes de un estudio desarrollado para proponer un motor de aire, motor de vapor que usa como fluido de trabajo aire. El propósito del motor es contribuir al aprendizaje de los temas contenidos en el temario de la asignatura CAD-CAM.

Los objetivos del proyecto se sintetizan a continuación:

- Proponer un motor de aire que contribuya a los objetivos de aprendizaje de la asignatura CAD-CAM.
- Desarrollar el motor con base en un estudio de diseños realizados y probados durante el curso, considerando aspectos de sustentabilidad y diseño.

A continuación, se presenta un resumen de la metodología usada para cumplir con los objetivos arriba planteados:

- Definición del problema. En esta sección se describió en términos generales la problemática a resolver.
- Requerimientos y especificaciones. Aquí se establecieron los parámetros que sintetizaban la necesidad a resolver y a los que debía ajustarse la solución planteada para cumplir con los objetivos del proyecto.
- Selección y descripción de motores para análisis. De todos los motores realizados en el curso de CAD-CAM, se seleccionaron aquellos más representativos, y que documentaran información sobre su manufactura y materiales empleados. Información relevante de los motores seleccionados fue resumida en tablas.

- Análisis de sustentabilidad con software. La siguiente actividad fue apoyada por herramientas de software para estimar la sustentabilidad de cada motor y compararlos.
- Análisis de costos, manufacturabilidad y eficiencia. Se realizó un análisis de costos considerando los precios de materia prima y procesos de manufactura encontrados en el mercado, de manufacturabilidad considerando la complejidad de las piezas, y eficiencia cualitativa de los motores.
- Propuesta de motor de aire. Se propusieron algunas opciones de diseño tomando en cuenta los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

4. Desarrollo del motor de aire

4.1. Definición del problema

Desde agosto del 2009, los alumnos del curso CAD-CAM de la UNAM realizan un motor de aire como proyecto para aplicar los conocimientos y herramientas software de la asignatura. En el curso se parte de un diseño base que los estudiantes pueden modificar o el que pueden desechar completamente. Con el fin de proponer un diseño base que sea adecuado desde los puntos de vista de desempeño, facilidad de manufactura y sustentabilidad; se propone estudiar los motores realizados en clase para seleccionar o sintetizar una propuesta.

4.2 Requerimientos y especificaciones.

La tabla 1 muestra los requerimientos establecidos para el motor de aire. Para definirlos se consideró el objetivo propuesto en la definición del problema, las herramientas con las que disponen los alumnos del curso y el presupuesto que suelen tener estos proyectos realizados por estudiantes en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Tabla 1 – Requerimientos del motor.

Requerimientos	Importancia
Minimizar costos (costo accesible para alumno).	2
De bajo impacto ambiental.	4
El motor emplea aire como fluido de trabajo.	4
Contribuir al aprendizaje del alumnado.	5

Los requerimientos de la tabla 1 están jerarquizados en una escala del 1 al 5, siendo 5 el de mayor importancia. La tabla 2 presenta las especificaciones del motor. Se establecieron con base en los requerimientos.

Tabla 2 – Especificaciones del motor.

Especificación	Valor	Unidades
Costo	<500	Pesos
Tiempo de realización	6-8	Semanas
Suministro de aire	20 – 30	[psi]

4.3. Selección y descripción de motores realizados en el curso CAD-CAM (2009-2016).

Primero se hizo una relación de los 54 proyectos relacionados con los motores desarrollados en el curso de agosto del 2009 a junio del 2016, periodo en el que se efectuó el estudio. Se clasificaron los motores de acuerdo a su arquitectura, y en algunos casos, al material usado para manufacturarlos (tabla 3).

Tabla 3 – Clasificación de motores

Tipo de motor	Cantidad
Motor vertical un apoyo	7
Motor vertical dos apoyos	20
Motor horizontal	5
Motor de acrílico	1
Motor de MDF	3
Motor de ABS	1
Motor diagonal	1
Otros	20

Luego de categorizarlos, se descartaron tres categorías (motor de acrílico, motor diagonal y otros) por considerarse que no cumplían con el requisito de contribuir al aprendizaje o por no tener una documentación adecuada. De cada una de las 5 categorías restantes, se eligió un motor representativo (Anexo A), basándose en la calidad de su documentación (i.e. planos completos e información necesaria para su

análisis). Los motores seleccionados son descritos a continuación:

- Motor “A”. Piezas mayormente fabricadas de aluminio, configuración vertical con dos soportes para el eje. Dos piezas de ABS producidas por manufactura aditiva.
- Motor “B”. Configuración vertical, un soporte para el eje y todas sus piezas de aluminio.
- Motor “C”. Motor de configuración horizontal, piezas en aluminio, con excepción de una pieza de ABS producida por manufactura aditiva.
- Motor “D”. Configuración horizontal hecho de mdf con corte laser y ejes de aluminio.
- Motor “E”. Configuración vertical con un apoyo para el eje y piezas fabricadas por manufactura aditiva.

Para analizar los motores, se hizo una síntesis de la información de cada una de sus piezas incluyendo geometría, dimensiones, materiales, acabados y masa. En el Anexo B se presenta como ejemplo, la información de las piezas de uno de los motores seleccionados.

4.4. Análisis de sustentabilidad de los motores.

La información de cada pieza de los motores, como la mostrada en el Anexo B, se empleó para realizar la evaluación de la sustentabilidad de cada motor con SM. Se introdujo al software los datos de cada una de las piezas (i.e. materiales, masa y procesos de manufactura necesarios) para determinar las emisiones de CO2 equivalentes de cada diseño y los mPt de impacto, y compararlos entre sí.

Name	Material/Process	Qty	Amt	Unit	mPts	CO ₂ eq. kg	M\$	Part ID
+ <input type="checkbox"/> Soporte izquierdo	Aluminium, secondary, from 1	1	167.225	g	0.319	2.04	E	1
+ <input type="checkbox"/> Soporte derecho	Aluminium, secondary, from 1	1	167.225	g	0.316	1.98	E	2
- <input type="checkbox"/> Eje		1	104.25	g	0.175	1.11	E	3
<input type="checkbox"/> Material	Aluminium, secondary, from		104.25	g	0.0268	0.158	E	
<input type="checkbox"/> Process	Turning, aluminum		0.09000C	kg	0.148	0.950	E	
- <input type="checkbox"/> Conector		1	1.075	g	2.94x10 ⁻²	0.00485	E	4
<input type="checkbox"/> Material	Acrylonitrile-butadiene-styrs		1.07500C	g	2.60x10 ⁻²	0.00415	E	
<input type="checkbox"/> Process	Extrusion, film, plastics		0.00100C	kg	3.42x10 ⁻⁵	6.97x10 ⁻⁴	E	
+ <input type="checkbox"/> Manivela	Acrylonitrile-butadiene-styrs	1	2.43	g	6.59x10 ⁻²	0.0108	E	5
+ <input type="checkbox"/> Volante de inercia	Aluminium, secondary, from 1	1	69.5	g	0.100	0.633	E	6
+ <input type="checkbox"/> Separador	Aluminium, secondary, from 1	1	52.125	g	0.0991	0.629	E	7
+ <input type="checkbox"/> Pistón	Aluminium, secondary, from 1	1	69.5	g	0.132	0.839	E	8
+ <input type="checkbox"/> Camisa del pistón	Aluminium, secondary, from 1	1	85.49	g	0.137	0.857	E	9
Manufacturing total					1.28	8.10	E	

Figura 2. Captura de pantalla de SM correspondiente a la información de uno de los motores analizados.

La figura 2 muestra los datos del análisis de la etapa de manufactura de uno de los motores analizados. La primera columna corresponde al nombre de la pieza, la segunda a su material y al proceso de manufactura empleado para producirla. Como se puede ver, la tabla incluye también la masa de la pieza. Los resultados totales del análisis son el CO₂ equivalente, en este caso 1.28, y el impacto en mPt, 8.10.

La figura 3 muestra otros resultados arrojados por SM al analizar un producto, en este caso el motor "C". En la figura están ordenados de mayor a menor los impactos de cada una de las piezas.

La figura 3 muestra parte de los resultados arrojados por SM al analizar el motor "C".

Input	mPts/func unit
Process - Soporte 1: Drilling, CNC, aluminium	0.604
Process - Soporte 1: Drilling, aluminium	0.596
Process - Camisa: Drilling, aluminium	0.406
Process - Volante de inercia: Drilling, aluminium	0.177
Process - Soporte 2: Drilling, CNC, aluminium	0.129
Process - Soporte 2: Drilling, aluminium	0.127
Process - Pistón: Turning, aluminium	0.0964
Material - Soporte 1	0.0939
Process - Eje: Turning, aluminium	0.0855
Material - Camisa	0.0639

Figura 3. Resultados del impacto en mPts del motor "C" empleando SM

La figura 4 presenta los resultados del impacto del motor "E", los cuales son los más pequeños comparados con los cuatro motores restantes. El impacto de este motor es semejante al de una sola pieza de uno de aluminio.

Input	mPts/func unit
Material - Banco inferior	0.0315
Material - Volante de inercia	0.0152
Material - Banco superior	0.00777
Material - Camisa del pistón	0.00697
Process - Banco inferior: Extrusion, film, plastics	0.00446
Process - Volante de inercia: Extrusion, film, plastics	0.00215
Material - Tornillo	0.00166
Process - Banco superior: Extrusion, film, plastics	0.00110
Material - Pistón-biela	0.00109
Material - Cojinete eje volante de inercia	0.00106

Figura 4. Resultados del impacto en mPts del motor "E" realizado con SM

4.5. Análisis de costos, manufacturabilidad y eficiencia.

Posteriormente se estimó el costo de cada motor considerando su manufactura, materiales y componentes comerciales. El costo de la manufactura de las piezas maquinadas se calculó considerando el tiempo de maquinado según la complejidad de cada pieza y su tamaño;

con el tiempo de maquinado se obtuvo el costo de maquinado, tomando como referencias para el aluminio \$60/hr^[11], para el ABS \$2.5/min con avance de 9 mm/s.^[12] Para determinar el costo total se empleó el volumen en mm³ multiplicado por la densidad correspondiente (aluminio, ABS o MDF) para determinamos el peso en gr. Con éste se obtuvo un costo estimado de materia prima. La información disponible de cada motor incluía las herramientas necesarias para maquinar cada pieza. Se aproximó el tiempo de maquinado basándose en la complejidad de cada pieza. Con este tiempo de maquinado se determinó el costo del maquinado considerando los precios citados en el párrafo anterior.

Así mismo se estimaron los costos para las piezas de MDF y ABS. El corte láser se consideró en toda la placa en vez de pieza por pieza, pues es la forma más eficiente de efectuar este proceso de manufactura.

Finalmente, se sumaron los costos de la materia prima total como el costo de manufactura de todas las piezas. A su vez, se sumó la pequeña cantidad de piezas comerciales que se encuentran en cada motor. Los resultados para el motor A se muestran en las tablas 4 y 5.

Tabla 4 – Análisis de costos del motor A, parte 1

Pieza	Material	Volumen [mm ³]	Peso [gr]	Costo Aprox.
Soporte izquierdo	Aluminio	61935.36	167.2	\$5
Soporte derecho	Aluminio	61935.36	167.2	\$5
Eje	Aluminio	3811.20	104.3	\$3
Conector	ABS	1024	1.075	\$1
Manivela	ABS	2314	2.43	\$1
Volante de inercia	Aluminio	25740.8	69.5	\$2
Separador	Aluminio	19305.6	52.13	\$2
Pistón	Aluminio	25740.8	69.5	\$2
Camisa	Aluminio	32774.13	88.49	\$3
Piezas comerciales	3 tornillos	1 resorte		\$25
				\$10

Tabla 5 – Análisis de costos del motor A, parte 2

Pieza	cantidad	Herramientas utilizadas	Tiempo de maquinado	Costo de maquinado
Soporte izquierdo	1	1	1800s	\$30
Soporte derecho	1	1	1800s	\$30
Eje	1	1	1800s	\$30
Conector	1	1	113s	\$5
Manivela	1	1	257s	\$11
Volante de inercia	1	1	1800s	\$30
Separador	1	1	720s	\$12
Pistón	1	1	720s	\$12
Camisa	1	1	1800s	\$30
	9		10810s	\$189

Para definir la eficiencia se utilizó una escala cualitativa de

1 a 3 siendo este último el valor mínimo, considerando la evaluación documentada del desempeño de cada motor.

- 3.-Funcionó, aunque no parece muy eficiente. Se ve que debido a diversas fallas en el funcionamiento no permitirían su movimiento con naturalidad.
- 2.-Funcionó bien, aunque se pueden hacer pequeñas mejoras. El diseño parece moverse, pero podría haber pequeñas fugas o inestabilidades, le podría costar trabajo empezar a moverse
- 1.-Funcionó excelente. Es un buen diseño que parece moverse naturalmente sin problemas.

La complejidad de manufactura, también se evaluó cualitativamente empleando la siguiente escala:

- 3.-Es muy complicada su manufactura o el ensamble de piezas es complicado por lo que finalmente puede quedar con un mal acabado.
- 2.-Las piezas son fáciles de manufacturar, aunque la manufactura es costosa.
- 1.-Es muy fácil de manufacturar y no se requiere ningún tipo de herramienta difícil de conseguir o manufactura costosa.

La figura 5 muestra el costo (\$), la manufacturabilidad, la eficiencia y la sustentabilidad (milipuntos) de cada uno de los 5 motores estudiados.

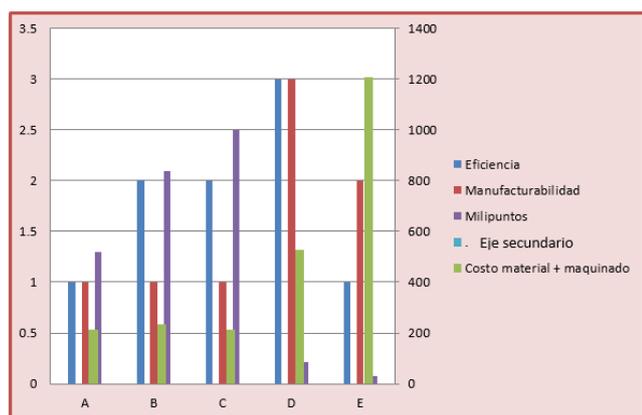


Figura 5. Gráficas de eficiencia, manufacturabilidad, costos y sustentabilidad (milipuntos) de cada motor.

La figura 5 muestra que, aunque el más eficiente es el motor de ABS, también es el más costoso por su proceso de manufactura. Por otro lado, todos los motores son manufacturables y los más baratos resultan ser los de aluminio.

Tras analizar estos resultados podemos decir que el motor A es un buen diseño, sencillo, manufacturarlo, aunque se puede mejorar modificando algunas piezas; en particular aquellas de mayor impacto a la sustentabilidad según sus resultados. El motor B resulta de fácil manufactura con resultados positivos en costos y moderados en eficiencia. El diseño puede mejorar modificando las piezas de mayor impacto según SM.

El motor C destaca por su precio accesible, pero se podría mejorar el diseño de algunas piezas haciéndolas más simples

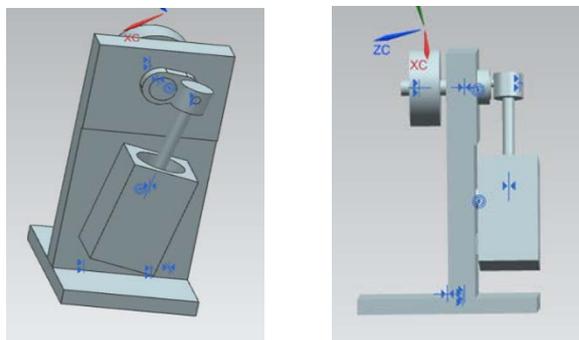
para reducir su impacto ambiental. Es complicada la manufactura del motor D por su ensamble y, además, tiene una baja eficiencia por el material que emplea (MDF) y un relativo alto costos por su proceso de manufactura. No obstante, tiene un impacto ambiental bajo. Sin embargo, se podrían mejorar algunas piezas como la cámara del pistón que está compuesta por muchas piezas, lo que eleva su costo de manufactura, además de presentar una baja eficiencia debidas a fugas.

Aunque el motor E emplea ABS que asegura dimensiones exactas y, por tanto, una eficiencia aceptable; tiene un costo elevado por el proceso de manufactura (manufactura aditiva). Por otro lado, en realidad no contribuye a la aplicación de software CAM que es parte del contenido de la asignatura. A pesar de eso, es de los que mejores resultados se obtuvieron en cuanto a impacto ambiental y eficiencia. El costo se eleva por lo que sería conveniente modificar algunas piezas.

4.6. Propuesta de nuevo diseño de motor.

En esta sección se presentan nuevos diseños de motores basados en los resultados de análisis de la sección anterior.

El primer motor, nombrado "X" (figuras 6 y 7), integra lo mejor de todos los diseños estudiados, teniendo una configuración de un solo apoyo vertical de aluminio para el eje con una manivela de ABS, pues es una pieza de manufactura relativamente compleja en aluminio. Cuenta con 7 piezas manufacturadas, lo que es un número relativamente pequeño.



Figuras 6 y 7. Motor X.

El segundo diseño propuesto, motor "Y" (figura 8), es de doble efecto de MDF con algunas piezas de aluminio, teniendo menos piezas que el motor D. Las piezas de aluminio son el cilindro, el pistón y el eje.

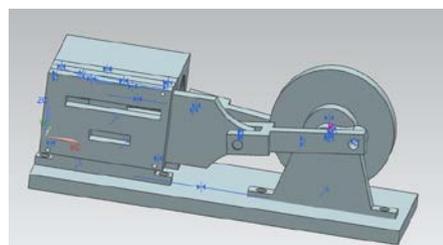


Figura 8 Motor Y.

La figura 9 compara los motores X y Y, con los previamente analizados y el motor mejor evaluado fue el X.

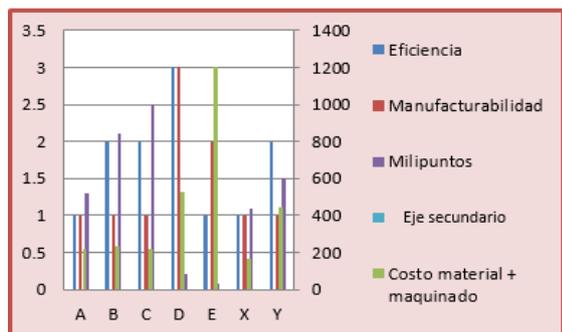


Figura 9. Gráficas de eficiencia, manufacturabilidad, costos y sustentabilidad (milipuntos) incluyendo los motores X y Y.

5. Conclusiones.

El presente artículo reporta los resultados de un proyecto para diseñar un nuevo motor que sirva como ejercicio didáctico. Lo particular del proyecto es que empleó los resultados del estudio comparativo de 5 motores, en el que la sustentabilidad fue una parte relevante, para realizar el nuevo diseño. Mientras que la comparación de la sustentabilidad de los 5 motores fue cuantitativa, gracias a la herramienta empleada; la facilidad de manufactura, el costo y la eficiencia fueron evaluados con una sencilla escala cualitativa. Esto último fue muy práctico y útil dada la información de los motores disponible para el estudio y el propósito de la comparación.

El proceso seguido y, en particular, el estudio de la sustentabilidad que se basa en el empleo de una herramienta software comercial; pueden ser aplicados para el diseño o mejora de productos en general.

Las mejoras incorporadas en el nuevo motor propuesto, motor X, incluyen los materiales y la manufactura. El motor X tiene piezas sencillas que requieren pocos procesos simples reduciendo su impacto respecto a la sustentabilidad. Respecto a los materiales, el estudio arrojó que el ABS es el de menor impacto ambiental, pero el costo de su manufactura es elevado y el maquinado de metales, como aluminio es más conveniente para los objetivos de la asignatura CAD-CAM.

Es interesante señalar que el motor de MDF, aunque resultó con una buena evaluación, tiene los inconvenientes de la eficiencia y la manufactura, por el elevado número de piezas, además de las dificultades de eficiencia por la dificultad de lubricación, malos acabados superficiales y amplias tolerancias de las piezas intrínsecos por el uso del material.

Agradecimientos.

La investigación reportada en este artículo fue desarrollada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IT101718.

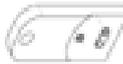
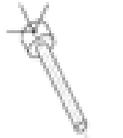
Referencias.

- [1] Extraído de la página Sustainable Minds (mayo 2018) <http://www.sustainableminds.com>
- [2] Extraído de la página Granta Desing (mayo 2018) <http://www.grantadesign.com/education/eco/index.htm>
- [3] Extraído de la página carbón “calculations over LCIA” (2018) <http://www.ccalc.org.uk/methodology.php>
- [4] Extraído de la página “thinkstep GaBi” (mayo 2018) <http://www.gabi-software.com/mexico/index/>
- [5] Extraído de la página SimaPro (mayo 2018) <https://simapro.com/about/>
- [6] Extraído de la página Sustainable Minds (mayo 2018) <http://www.sustainableminds.com/showroom/shared/learn-single-score.html>
- [7] Extraído de la página plan de estudios de la licenciatura en ingeniería mecánica UNAM (mayo 2018) http://www.ingenieria.unam.mx/programas_academicos/licenciatura/Mecanica/09/disenio_y_manufactura_asistido_por_computadora.pdf
- [8] Extraído de la página TecnoBlog (mayo 2018) <https://1123431982.blogspot.mx/2018/05/termodinamica.html>
- [9] Ulrich, Karl., Eppinger, Steven. (2013). Diseño y desarrollo de productos. México: McGraw-Hill.
- [10] Borja, V., & Ramírez, A. (2006). *Cuadernos de gestión de tecnología. Innovación del producto*. México: Premio Nacional de Tecnología.
- [11] Corella, R., & Ramírez, J. (2011). *Desarrollo de dos proyectos didácticos para la asignatura de diseño y manufactura asistidos por computadora*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México.
- [12] Flores, A. (2011). *A proposal of criteria to evaluate and re-design sustainable products*. (Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Mecánica). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México.
- [13] Borja, V., Ramírez, A., & Corona, M., (2005). *Estudios comparativos para la innovación de productos*. Memorias del XI Congreso Internacional Anual SOMIM y IV Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica. Morelia. México
- [14] Lozada, R., Borja, V., López, M., & Ramírez, A. (2011) *Revisión de principios de ecodiseño e integración al diseño conceptual*. Memorias del xvii congreso internacional anual de la somim. San luis potosí, México.
- [15] Minquiz, G., Borja, V., López, M., Ramírez, A., Domínguez, M., y Alcaide, A. (2014) *A comparative study of CNC part programming addressing energy consumption and productivity*. 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting.
- [16] Meijer, J. (2011) *Impact Assessment Methodology*. Sustainable Minds.
- [17] Hernández, E. (1985). *Prácticas de laboratorio de máquinas térmicas*. México: Facultad de ingeniería.

Anexo A motores seleccionados de las categorías más relevantes.

	Semestre	Título (equipo)	Imagen	Comentarios	# de piezas
A	2016-1	Motor de vapor vertical dos apoyos (Los culpables.)		Este motor funciona. La geometría de las piezas es sencilla, es un motor vertical	13
B	2016-1	Los anexados 1		Motor de aire convencional. Una sola base. Vertical.	13
C	2014-2	MeCAD-TroniCAM		Motor de aire en posición horizontal	15
D	2016-2	Jagermeinstein		Motor de aire horizontal. Piezas MDF.	87
E	2016-1	NxDesign		Diseño ABS con aluminio. Motor vertical, un solo apoyo	15

Anexo B síntesis de información de cada una de las piezas del motor “A”

Nombre de la pieza	Geometría [in]	Función	Imagen	Dimensiones críticas [in]	Tolerancia [in]	Materiales	Peso [gr]
Soporte izquierdo	2x1/2	Soporte en el cual va ajustada la camisa		2	+/- 0.01	Aluminio	167.25
Soporte Derecho	2x1/2	Soporte únicamente para la flecha y el separador		2	+/- 0.01	Aluminio	167.25
Eje	3xR1/2	En donde se realiza el giro de la manivela		3	+/- 0.01	Aluminio	104.250
Conector	0.63x0.32x0.32 [mm]	Conecta el pistón con la manivela.		0.63 [mm]	+/- 0.01	ABS	1.075
Biela	1x0.87x0.16 [mm]	Transmite el movimiento del eje al pistón.		1[mm]	+/- 0.01	ABS	2.430
Volante de Inercia	1/2xR1	Para conservar la energía de giro.		2	+/- 0.01	Aluminio	69.500
Separador	1 1/2xR1/2	Para proporcionar rigidez al motor sin la necesidad de una base		1 1/2	+/- 0.01	Aluminio	52.125
Piston	2xR1/2	Realiza una trayectoria lineal impulsada por el flujo de aire y hace girar a la flecha.		2	+/- 0.01	Aluminio	69.500
Camisa del Pistón	2x1x1	Se realiza la admisión de aire y mantiene fija la trayectoria del pistón		2	+/- 0.01	Aluminio	88.490