



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

PROPUESTA PARA INCORPORAR DISEÑO SUSTENTABLE EN EL AREA DE
DISEÑO Y MANUFACTURA

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ALEJANDRA VILLEGAS VILLASEÑOR

TUTOR PRINCIPAL
DR. ÁLVARO AYALA RUIZ, FACULTAD DE INGENIERÍA

CD. MX. OCTUBRE 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| OBJETIVOS | 6 |
| CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 7 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 7 |
| 1.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 7 |
| CAPÍTULO 2 DESARROLLO; MÉTODO DISEÑO SUSTENTABLE | 13 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN | 13 |
| 2.2 PROCEDIMIENTO DE MÉTODO DISEÑO SUSTENTABLE..... | 13 |
| 2.2.1 MODELO ADDIE | 13 |
| 2.2.2 MÓDULOS DE SUSTENTABILIDAD | 14 |
| 2.2.3 IDEF0..... | 14 |
| 2.3 ACTIVIDADES DEL MDS..... | 15 |
| 2.3.1 A1- ANALIZAR CONCEPTOS | 17 |
| 2.3.2 A2- INCORPORAR PRÁCTICAS SUSTENTABLES | 18 |
| 2.3.3 A3- DISEÑAR PRODUCTOS SUSTENTABLES | 20 |
| 2.3.4 A4- MANUFACTURAR PRODUCTOS SUSTENTABLES | 21 |
| 2.3.5 A5- IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE OPORTUNIDAD | 22 |
| CAPÍTULO 3 DEFINICIÓN DE MÉTRICAS PARA EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD | 26 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN | 26 |
| 3.2 CONDICIONES INICIALES | 26 |
| 3.3 CRITERIO 1 DISEÑO PRELIMINAR | 26 |
| 3.3.1 MATERIA PRIMA..... | 27 |
| 3.3.2 RECUBRIMIENTOS, PROTECCIÓN CORROSIVA | 28 |
| 3.4 CRITERIO 2 DETALLE DEL DISEÑO..... | 30 |
| 3.4.1 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS | 30 |
| 3.4.2 TOLERANCIAS Y RECUBRIMIENTOS | 32 |
| 3.4.3 TOLERANCIA DE DIMENSIÓN | 35 |
| 3.5 CRITERIO 3 MANUFACTURA PRELIMINAR..... | 36 |
| 3.5.1 MANUFACTURA..... | 36 |
| CAPÍTULO 4 CASOS DE ESTUDIO | 41 |

| | | |
|---|---|----|
| 4.1 | INTRODUCCIÓN | 41 |
| 4.2 | PRUEBA PILOTO 1..... | 41 |
| 4.3 | EVALUACIÓN DE HERRAMIENTA DIDÁCTICA | 43 |
| 4.4 | PRUEBA PILOTO 2..... | 46 |
| CAPÍTULO 5 RESULTADOS | | 50 |
| 5.1 | RESULTADOS | 50 |
| 5.2 | CONCLUSIONES | 51 |
| 5.3 | TRABAJOS A FUTURO | 52 |
| REFERENCIAS..... | | 53 |
| APÉNDICE A – PRESENTACIONES | | 57 |
| APÉNDICE B – COMPONENTES DE LISTA DE VERIFICACIÓN DE SUSTENTABILIDAD..... | | 58 |
| APÉNDICE C – CARTEL CIENTÍFICO | | 62 |

INTRODUCCIÓN

Actualmente el término sustentabilidad (*sustainability*) ha tomado gran importancia durante las últimas décadas debido a la aceleración del cambio climático, el término fue usado por primera vez en 1987 en el *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, mejor conocido como el informe Brundtland (Brundtland GH, 1987).

A partir de este momento, se presentó una confusión de términos, la cual proviene del proceso de traducción del idioma inglés al español, ya que sustentable y sostenible aparentemente son el mismo concepto. Si bien, la traducción literal del vocablo original en inglés fue sostenible, paulatinamente fue apareciendo sustentable por ser morfológicamente más afín a *sustainable*.

Por otro lado, revisando la literatura se encuentran trabajos en el español americano y español europeo que, pretenden hacer una distinción entre sustentabilidad y sostenibilidad. Los cuales afirman que uno de ellos considera tres dimensiones; ecológicas, económicas y sociales, mientras el otro sólo se refiere a la dimensión ecológica.

Así, el término Desarrollo Sustentable que se utilizará en el presente trabajo, es el propuesto por Brundtland; Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, (Brundtland GH, 1987), que considera las tres dimensiones y está alineado con los 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos, los cuales fueron adoptados por los principales líderes mundiales el 25 de septiembre de 2015.

Según Fiksel Diseño sustentable es el proceso de diseño del producto el cual busca reducir los impactos ambientales nocivos del producto a lo largo de su ciclo de vida (Fiksel, J. and Fiskel, 1996). Por ello, la sustentabilidad ya no es una opción, sino una necesidad competitiva. Esta es una de las claves para conseguir la eficiencia a nivel operativo. De hecho, las organizaciones que operan de manera sustentable son más rentables y resilientes, generan un mejor valor de marca, tienen mayor acceso al capital y responden mejor a los empleados, clientes, proveedores y a la sociedad en general (Pacto Global Red México, n.d.).

En lo que se refiere a fabricación sustentable, la Agencia de Protección Ambiental de EUA, define el termino como, la creación de productos manufacturados que utilizan procesos que minimizan los impactos negativos al medio ambiente, preservan la energía y los recursos naturales, son seguros para los empleados, las comunidades y los consumidores, además de ser económicamente sólidos (USDOC, 2015). Esto implica considerar simultáneamente aspectos económicos, sociales y ambientales (TBL) para el desarrollo de los productos y los flujos de procesos (Eastwood & Haapala, 2015).

Diversos autores han desarrollado técnicas para evaluar el ciclo de vida de los productos, sin embargo, es notable la falta de métodos y herramientas para evaluar productos/componentes en las etapas iniciales del proceso de diseño sustentable. Por lo tanto, se presenta la necesidad de incorporar el concepto de sustentabilidad en la enseñanza de la ingeniería, motivando a encontrar nuevas formas de generar conciencia tanto de la importancia del diseño sustentable como de la manufactura sustentable. Así, es preciso contar con una diversidad de métodos de enseñanza y aprendizaje que aborden los criterios en la toma de decisiones sustentables (Carew et al, 2008; Zwickle et al, 2014).

En el presente trabajo se propone la incorporación de diseño y fabricación sustentable, y herramientas didácticas que faciliten la enseñanza de la sustentabilidad en los planes de estudio de Ingeniería, aportando una integración transversal en el campo de Diseño y Manufactura.

Por medio de un Método para enseñar Diseño Sustentable, que considera factores ambientales, evaluando materias primas, parámetros geométricos y dimensionales, acabados superficiales y manufactura preliminar. Dicho método es modelado mediante IDEFO, la cual es una herramienta diseñada para configurar decisiones, acciones y actividades de un sistema. El método propuesto ofrece al alumnado generar conciencia ambiental.

El primer capítulo define el término sustentabilidad que se utilizará en el presente trabajo, así como, una revisión en la literatura sobre las iniciativas de las ONGs para combatir el calentamiento global, y los esfuerzos por incluir la enseñanza de sustentabilidad en las universidades.

En el segundo capítulo se propone el MDS (Método Diseño Sustentable) con la idea de desarrollar capacidades y crear experiencias efectivas en el alumnado, donde, se proponen factores ambientales de medición para la sustentabilidad, a través de una herramienta computacional llamada LVS (Lista de Verificación de Sustentabilidad).

En el caso del capítulo tres, se explican y ejemplifican las métricas para la evaluación de sustentabilidad.

Finalmente, en el capítulo cuatro se presentan los casos de estudio en donde fue aplicado el MDS, donde se incorporaron conocimientos y habilidades para aplicar diseño sustentable, desde las primeras etapas del diseño del producto.

OBJETIVOS

- Incorporar la enseñanza de diseño sustentable en el área del diseño y manufactura para promover la construcción de una cultura de sustentabilidad.

Objetivos particulares

- Aplicar diseño sustentable en la fabricación de piezas mediante arranque de viruta.
- Desarrollar una investigación bibliográfica de los diferentes autores en sustentabilidad.
- Identificar la tendencia de enseñanza en sustentabilidad, aplicada en el área de diseño y manufactura.
- Crear factores ambientales de medición para la sustentabilidad, aplicados en el campo de diseño y manufactura de productos.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 INTRODUCCIÓN

Se realizó una revisión bibliográfica desde el punto de vista de las organizaciones no gubernamentales en el mundo, ya que existen grandes esfuerzos por disminuir el calentamiento global, tal es el caso del tratado de Kioto el cual fue creado para para reducir las emisiones de gases de efecto (GEI) invernadero que causan el calentamiento global (United Nations Climate Change, n.d.-b). El acuerdo de París, se acordó reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la mitigación, adaptación y resiliencia, este acuerdo tiene por objeto aumentar la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático (United Nations Climate Change, n.d.-a).

Sin embargo, el calentamiento global y la rapidez con la que avanza la emisión de gases de efecto invernadero no han disminuido por lo que la ONU por medio de líderes mundiales adoptaron 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de la Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible (*México | SIODS | Sistema de Información de Los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, n.d.). Buscando en el presente trabajo tomar medidas encaminadas en apoyo al objetivo; 9 Industria, Innovación e Infraestructura, 12 Producción y consumo responsables, y 13 Acción por el clima.

Por otro lado, en la literatura existe una tendencia a incorporar el punto de vista de fabricación sustentable tanto en los modelos educativos como en la vida diaria, aunque dicha tendencia tiene mínimos esfuerzos que conduzcan a la integración del criterio de sustentabilidad a las carreras de ingeniería.

1.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Iniciativas ONGs

El término Desarrollo Sostenible que se utilizará en el presente trabajo, es el propuesto por Brundtland acuñado en el informe *Nuestro futuro común*, de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo: “Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland GH, 1987).

Se han hecho notar diversos esfuerzos para lanzar iniciativas de fabricación sostenible, el Protocolo de Kioto puso en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático comprometiéndolo a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI) de conformidad con las metas individuales acordadas. Este tratado ha logrado que los gobiernos suscribientes establezcan leyes y políticas para cumplir sus compromisos ambientales, que las empresas tengan al medio ambiente en cuenta al tomar decisiones de inversión y fomentar la creación del mercado del carbono, cuyo fin es lograr la reducción de emisiones al menor costo (United Nations Climate Change, n.d.-b).

En el Acuerdo de París, 195 países acordaron un triple objetivo; limitar el aumento medio de la temperatura global a 2 grados centígrados respecto a los niveles preindustriales, redoblar esfuerzos para no superar la cota de 1,5 grados a final de este siglo y alcanzar la neutralidad climática en 2050, es decir, que la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera por la actividad humana sea equivalente a la que absorben los sumideros naturales, como los bosques. (United Nations Climate Change, n.d.-a).

El 25 de septiembre de 2015, líderes mundiales adoptaron 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible. Esta nueva agenda tiene por objeto abordar los problemas actuales y futuros. La creciente desigualdad mundial, el aumento de la exposición a los peligros naturales, la rápida urbanización, los nuevos modelos de migración y el consumo excesivo por algunos de energía y recursos naturales amenazan con elevar el riesgo de desastres a niveles peligrosos, con efectos sistémicos a nivel mundial (ONU, 2015).

Los 17 objetivos globales son:

Objetivo 1 Fin de la Pobreza

Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo. Se espera reducir a la mitad la proporción de personas que viven en la pobreza y garantizar que todos los habitantes del planeta tengan los mismos derechos.

Objetivo 2.- Hambre Cero

Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible. La nutrición deficiente provoca el 45% de las muertes de menores de 5.

Objetivo 3.- Salud y Bienestar

Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. Una de las principales metas es reducir la tasa mundial de mortalidad materna a menos de 70 por cada 100.000 nacidos vivos.

Objetivo 4.- Educación de calidad

Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. Se velará por que todos los niños tengan una enseñanza primaria y secundaria completa, gratuita, equitativa y de calidad.

Objetivo 5.- Igualdad de Género

Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas; eliminando todas las formas de violencia contra todas las mujeres y las niñas en los ámbitos público y privado, incluidas la trata y la explotación sexual.

Objetivo 6.- Agua y Saneamiento

Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todas las personas en el mundo. 884 millones de personas en todo el mundo todavía no tienen acceso a agua potable.

Objetivo 7.- Energía Asequible y No Contaminante

Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Una de cada cinco personas, no tienen acceso a la electricidad moderna.

Objetivo 8.- Trabajo decente y crecimiento económico

Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. El fin es un crecimiento del producto interno bruto de al menos el 7% anual en los países menos adelantados.

Objetivo 9.- Industria, Innovación e Infraestructura

Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, con especial hincapié en el acceso equitativo y asequible para todos.

Objetivo 10.- Reducción de las desigualdades

Reducir la desigualdad en y entre los países. Lograr progresivamente y mantener el crecimiento de los ingresos del 40% más pobre de la población a una tasa superior a la media nacional.

Objetivo 11.- Ciudades y Comunidades sostenibles

Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Objetivo 12.- Producción y consumo responsables

Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles para reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos.

Objetivo 13.- Acción por el clima

Adoptar medidas urgentes contra el cambio climático mediante la educación y sensibilización de las personas y la negociación de acuerdos y medidas nacionales e internacionales para actuar todos juntos contra el cambio climático; minimizando su impacto en la vida de las personas.

Objetivo 14.- Vida submarina

Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos y mares. Desde hace 150 años, la acidificación de los océanos ha aumentado un 30%, afectando a la vida marina. Por este motivo, para el año 2020 se espera al menos conservar por lo menos el 10% de las zonas costeras y marinas.

Objetivo 15.- Vida de ecosistemas terrestres

Proteger los bosques y luchar contra la desertificación, creando leyes para preservar los ecosistemas a nivel mundial, reduciendo la degradación ambiental y conservando la diversidad biológica.

Objetivo 16.- Paz, justicia e instituciones sólidas

Promover sociedades pacíficas y mejor acceso a la justicia. Es necesario poner fin al maltrato, la explotación, la trata, la tortura y todas las formas de violencia, reduciendo las tasas de mortalidad.

Objetivo 17.- Alianzas para lograr los objetivos

Fortalecer y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Dada la naturaleza del campo de conocimiento en el que se desarrolla el presente trabajo, se buscará tomar medidas encaminadas a contribuir con el cumplimiento de los Objetivos;

Objetivo 9 Industria, Innovación e Infraestructura, una meta de este objetivo es de aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir a las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

Objetivo 12 Producción y consumo responsables, algunas de las metas del presente objetivo son de aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales y Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes

Objetivo 13 Acción por el clima, con metas en mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

Aportando así, a contribuir aproximadamente al 18% de los 17 objetivos globales de la Nueva Agenda de Desarrollo Sostenible.

Referencias de la Academia

Según la literatura fabricación sustentable se define como la creación de productos manufacturados que utilizan procesos que minimizan los impactos negativos al medio ambiente, preservan la energía y los recursos naturales, son seguros para los empleados, las comunidades y los consumidores, además de ser económicamente sólidos (USDOP, 2015).

Diversos autores han mencionado que “uno de los facilitadores de la fabricación sustentable es la educación (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de educación Superior, 2001)(Fukushima et al., 2017)(Kremer et al, 2016). Se tiene la certeza que los planes de estudio deben estar directamente relacionados con la fabricación sustentable (Raoufi, Manoharan, et al., 2019). Así las universidades deben preparar a la próxima generación de ingenieros para contribuir a la tarea de mantener y mejorar la fabricación proporcionando los tipos adecuados de educación y formación en sustentabilidad.

La integración del desarrollo sustentable en la educación superior se reconoce cada vez más como una prioridad para un número creciente de universidades (Pérez-Foguet & Lazzarini, 2019). Tal es el caso de los siguientes trabajos de investigación:

Mitropoulos et al. señalaron que la integración de la sustentabilidad en los planes de estudios universitarios conduce al desarrollo de estudiantes con la capacidad de abordar los desafíos ambientales y sociales del planeta (Prevedouros P D, 2018). Modificar planes de estudios universitarios debe de ir a la par con desarrollar la capacidad de los académicos hacia el Desarrollo Sustentable, se considera de suma importancia para fomentar la transformación de los entornos de aprendizaje y formación (Cebrián et al., 2015; Sammalisto et al., 2015).

La necesidad de una educación en ingeniería sustentable motiva a encontrar nuevas formas de educar a un amplio espectro de estudiantes. La educación en ingeniería sustentable necesita una diversidad de métodos de enseñanza y aprendizaje que puedan abordar el papel de los valores y los supuestos en la toma de decisiones sustentables (Carew & Mitchell, 2008; Zwickle et al., 2014).

YM Ibrahim et al, realizaron un análisis de contenido en los planes de estudio de Universidades Iraquíes, revelaron que el nivel es débil, prácticamente inexistente para la educación de fabricación sustentable en los planes de estudio de estas universidades (Ibrahim et al., 2019).

Sengupta et al, desarrollaron módulos educativos para los diversos aspectos de la fabricación como parte de la Red de Coordinación de Investigación y Tecnología de Avances en la Fabricación Sustentable (Sengupta et al., 2017). Pérez-Foguet y Boris Lazzarini establecen la contribución centrada en un programa de Desarrollo Profesional Continuo destinado a involucrar y empoderar al profesorado de la Universidad Politécnica de Cataluña para integrar conceptos de Desarrollo Sustentable en sus cursos existentes (Pérez-Foguet & Lazzarini, 2019).

Raoufi et al, contribuyen al aprendizaje físico, práctico en ingeniería a través de una plataforma virtual que permite a los estudiantes visualizar y analizar el efecto de los cambios en los diseños de productos, procesos de fabricación y configuraciones sobre desempeño en sustentabilidad (Raoufi, Park, et al., 2019)

Raoufi, et al, desarrollan y demuestran un marco educativo basado en el modelo ADDIE (Raoufi, Manoharan, et al., 2019). El modelo ADDIE ofrece un método de enseñanza a través de procesos de aprendizaje, capacitación y desarrollo (Grimaldi & Engel, 2007; Michael, 2006; Seels, 1995); La *Association for Educational Communications and Technology* define al modelo ADDIE como la teoría y práctica del diseño, desarrollo, utilización, gestión y evaluación de procesos y recursos para aprender (Reiser, R. A., and Dempsey, 2002).

Manoharan et al, mencionan que este tipo de iniciativas servirán para mejorar la comprensión de los estudiantes sobre los impactos de los cambios de diseño y fabricación en el desempeño de la sustentabilidad del producto (Raoufi, Manoharan, et al., 2019).

Aunque se han desarrollado o propuesto varias metodologías de integración de la sustentabilidad en manufactura, se necesita un método que aporte integración transversal, así como herramientas didácticas para favorecer la incorporación y la enseñanza de la sustentabilidad en los planes de

estudio. La evaluación del impacto social, debido a su naturaleza compleja, sigue siendo un desafío y se deben desarrollar métodos asociados a la sustentabilidad y ponderación para evaluar adecuadamente el impacto social (Zhang et al., 2015).

Así, se propone la incorporación de fabricación sustentable y herramientas didácticas que faciliten la enseñanza de la sustentabilidad en los planes de estudio de Ingeniería, aportando una integración transversal en el campo de Diseño y Manufactura.

La propuesta es un Método para incorporar Diseño Sustentable, considerando factores ambientales que evalúan materias primas, parámetros geométricos y dimensionales, acabados superficiales y manufactura preliminar. Dicho método es modelado mediante IDEF0, la cual es una herramienta diseñada para configurar decisiones, acciones y actividades de un sistema.

CAPÍTULO 2 DESARROLLO; MÉTODO DISEÑO SUSTENTABLE

2.1 INTRODUCCIÓN

La demanda de productos sustentables está aumentando día a día (Ottman, 2017), y las empresas deben tomar decisiones conscientes con respecto a la sustentabilidad de sus productos, por ello surge la necesidad de actualizar el campo de diseño y manufactura, en donde se requiere considerar aspectos económicos, sociales y ambientales simultáneamente al desarrollar productos y flujos de procesos (Eastwood & Haapala, 2015).

El diseño sustentable (Fiksel, J. and Fiskel, 1996) se define como el proceso de diseño que tiene como objetivo reducir los impactos ambientales nocivos del producto a lo largo de su ciclo de vida. Es una decisión ambientalmente consciente que promueve el reciclaje y la reutilización de productos (Hsu et al., 2013) (Jackson et al., 2016).

2.2 PROCEDIMIENTO DE MÉTODO DISEÑO SUSTENTABLE

Se propone el Método Diseño Sustentable (MDS) con la idea de desarrollar capacidades y crear experiencias efectivas, basado en el modelo ADDIE en conjunto con módulos de sustentabilidad (Sengupta et al., 2017) implementando la fabricación sustentable en algunas materias del plan de estudios de ingeniería mecánica, específicamente en el campo de diseño y manufactura. Dicho método es modelado mediante la herramienta IDEF0, la cual es una metodología diseñada para modelar decisiones, acciones y actividades.

2.2.1 MODELO ADDIE

El modelo ADDIE es un proceso de diseño instruccional interactivo, en donde los resultados de la evaluación formativa de cada fase pueden conducir al diseñador instruccional de regreso a cualquiera de las fases previas. El producto final de una fase es el producto de inicio de la siguiente fase (Universitat D Valencia, 2013).

ADDIE es el acrónimo del modelo, atendiendo a sus fases:

- Análisis. Se analiza el contexto global de forma sistemática y crítica, cuyo resultado será la descripción de una situación y sus necesidades formativas.
- Diseño. Se desarrolla un programa del curso deteniéndose especialmente en el enfoque pedagógico y en el modo de secuenciar y organizar el contenido.

- Desarrollo. La creación real (producción) de los contenidos y materiales de aprendizaje basados en la fase de diseño.
- Implementación. Ejecución y puesta en práctica de la acción formativa con la participación de los alumnos.
- Evaluación. Esta fase consiste en llevar a cabo la evaluación formativa de cada una de las etapas del proceso ADDIE y la evaluación sumaría a través de pruebas específicas para analizar los resultados de la acción formativa.

En la actualidad el modelo ADDIE es usado en diversas estrategias de enseñanza ya que es un modelo pensado para identificar los objetivos y aplicarlos de manera sistemática, sin embargo, este modelo también se ha hecho conocido en el mundo corporativo, pues cuenta con la ventaja de que permite desarrollar modelos de aprendizaje que sean complejos.

Por consiguiente, ADDIE es la base del MDS propuesto, ya que se usan las cinco etapas del proceso y por esta razón, el producto final de una fase es el producto de inicio de la siguiente fase.

2.2.2 MÓDULOS DE SUSTENTABILIDAD

Según Sengupta 2017, cualquier enseñanza en educación relacionada con la sostenibilidad requiere un modo flexible de aprendizaje, que se caracteriza por un plan de estudios modular; políticas de reconocimiento de aprendizajes previos; disponibilidad de recursos y herramientas de aprendizaje.

Sengupta diseña módulos pensados en la Industria Química, Procesos Continuos y en el Diseño Ecológico de procesos químicos, para instalaciones preexistentes buscando que dichos procesos sean lo menos contaminantes posible, comenta que evalúa estos procesos con métricas globales como uso de materias primas, uso del agua, potencial de toxicidad, uso del suelo, etc. No asociadas al diseño del proceso si no a la mejora del mismo.

Sin embargo, no presenta resultados concretos de dichas evaluaciones. Presenta una rúbrica exclusiva para la evaluación de sus módulos. A diferencia del presente trabajo el cual adopta la metodología desde el punto de vista de Diseño y Fabricación sustentable propiamente en la Ingeniería, evaluando situaciones iniciales en el proceso conceptual del diseño de cualquier producto.

El presente trabajo se basa en la idea de que cualquier enseñanza en educación relacionada con la sustentabilidad requiere un modo flexible de aprendizaje, el cual se imparta en módulos. Por ello, el método propuesto se divide en tres criterios o módulos; Diseño Preliminar, Detalle del diseño y Manufactura Preliminar. Adoptando cada uno de ellos diferentes métricas de sustentabilidad propuestas en la investigación.

2.2.3 IDEFO

Es una metodología diseñada para modelar decisiones, acciones y actividades de manera estructurada y jerárquica las actividades que conforman un sistema. Funciona de diferentes

maneras, entre las más populares son; medio para comunicar reglas y procesos de negocios, Proporciona apoyo en obtener vistas estratégicas de un proceso, y facilita el análisis para identificar puntos de mejora (Martinez, 2005).

IDEFO se compone de 4 elementos, véase en la figura 1, descritos a continuación;

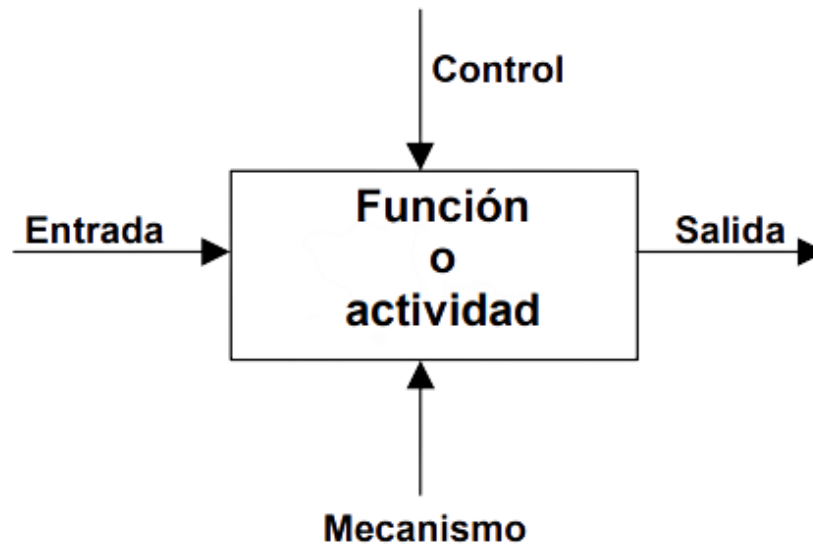


Figura 1 Elementos de IDEF0

Entradas: Material o información consumida o transformada por una actividad para producir salidas. Asociadas al lado izquierdo de la actividad (caja). Una actividad puede no tener entradas.

Salidas: Objetos producidos por la actividad o proceso. Asociadas al lado derecho de la actividad

Control: Objetos que gobiernan o regulan cómo, cuándo y si una actividad se ejecuta o no. Ejemplos: Normas, guías, políticas, calendarios, presupuesto, reglas, especificaciones, procedimientos. Asociados al lado superior de la actividad.

Mecanismos: Recursos necesarios para ejecutar un proceso. Ejemplos: Maquinaria, programas de cómputo, Instalaciones, Recursos humanos. Asociados al lado inferior de la actividad. Una actividad puede no tener mecanismos.

2.3 ACTIVIDADES DEL MDS

El punto de vista del método propuesto es la integración de la ingeniería y la manufactura sustentable. En la figura 2 se muestra el método de enseñanza para diseño sustentable utilizando la herramienta IDEF0.

| | | | | | | |
|---|------------------------------------|------------------|-------------|--------|---------|----------|
| | Author: | Date: 07/09/2021 | WORKING | READER | DATE | CONTEXT: |
| Used At: | Project: Método diseño sustentable | Rev: 07/09/2021 | DRAFT | | | TOP |
| | Notes: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | | RECOMMENDED | | | |
| | | | PUBLICATION | | | |
| <p>Purpose: Propuesta de un método para enseñar Diseño Sustentable en Ingeniería Mecánica.</p> <p>Viewpoint: Ingenieril en conjunto con la manufactura sustentable.</p> | | | | | | |
| Node: | Title: | | Number: | | Page: 1 | |
| A-0 | Método diseño sustentable | | | | | |

Figura 2 MDS

A0 Método Diseño Sustentable consta de cinco actividades las cuales se revisarán a continuación (Fig. 3).

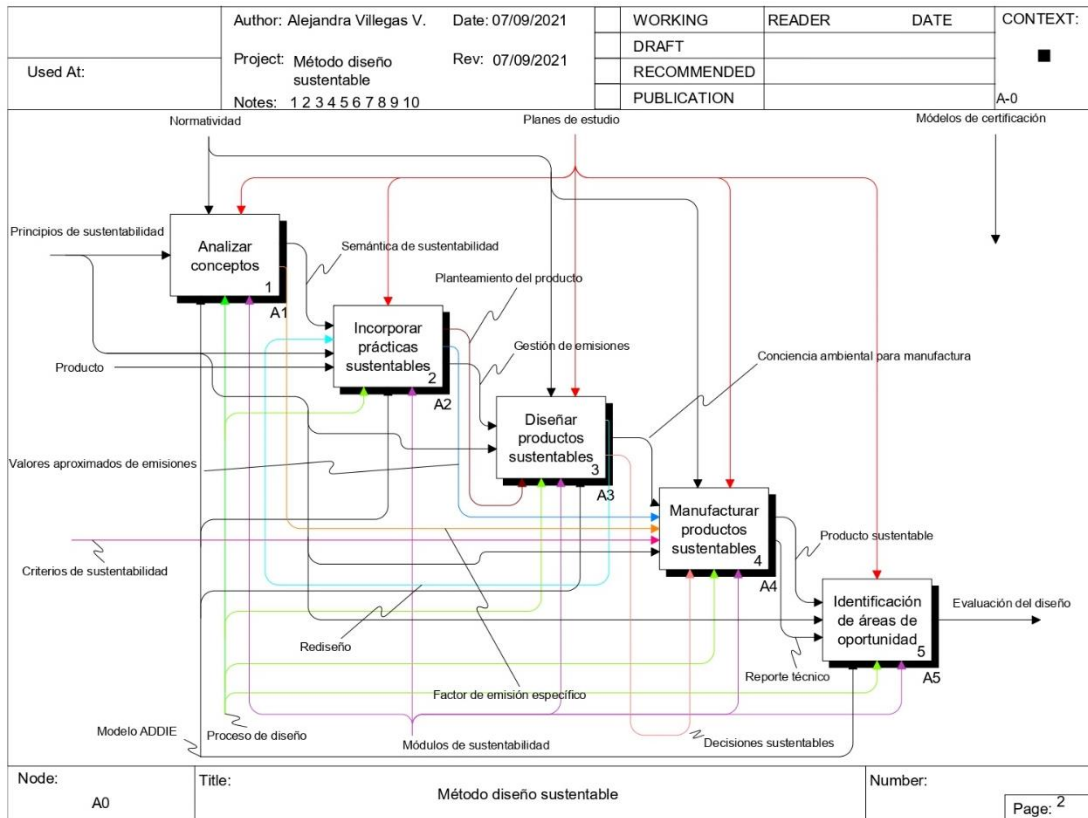


Figura 3 Descripción Método de enseñanza Diseño Sustentable

2.3.1 A1- ANALIZAR CONCEPTOS

En esta primera etapa del MDS se analiza el contexto global de forma sistemática y crítica, para localizar en donde se puede centrar la manufactura sustentable.

Para lograr analizar el contexto global del método es necesario dividir este paso en cuatro actividades; mecanismos como el modelo ADDIE, el proceso de diseño y el conocimiento del tema, se controlan por medio de; normatividad, planes de estudio y diseño para manufactura sustentable.

A11 Identifica conceptos básicos, mediante información como los principios de la sustentabilidad se reconocerá la importancia de la conciencia ambiental y conceptos sustentabilidad razonados.

A12 Estudiar la huella de carbono, de entrada, los conceptos de sustentabilidad razonados y los principios de sustentabilidad, mediante los cuales se identifican a los indicadores de impacto ambiental y las fuentes de emisión presentes en el medio.

A13 Relacionar factores de emisión, es preciso que se conozcan los factores de emisión y que sepan diferenciar las emisiones directas de las indirectas, esto se efectúa por el flujo de información de los principios de sustentabilidad, las fuentes de emisión y los indicadores de impacto ambiental.

A14 Cálculo de emisiones, para un resultado satisfactorio se define y relaciona el factor de emisión local, así como se adquiere una semántica de sustentabilidad adecuada, todo esto mediante el conocimiento del factor de emisión y diferencia de las emisiones directas e indirectas.

Este primer paso ofrece una visión introductoria y enfatiza por qué la sustentabilidad es una herramienta necesaria para los ingenieros y para la manufactura de productos, ya sea tradicional o manufactura avanzada (Fig. 4).

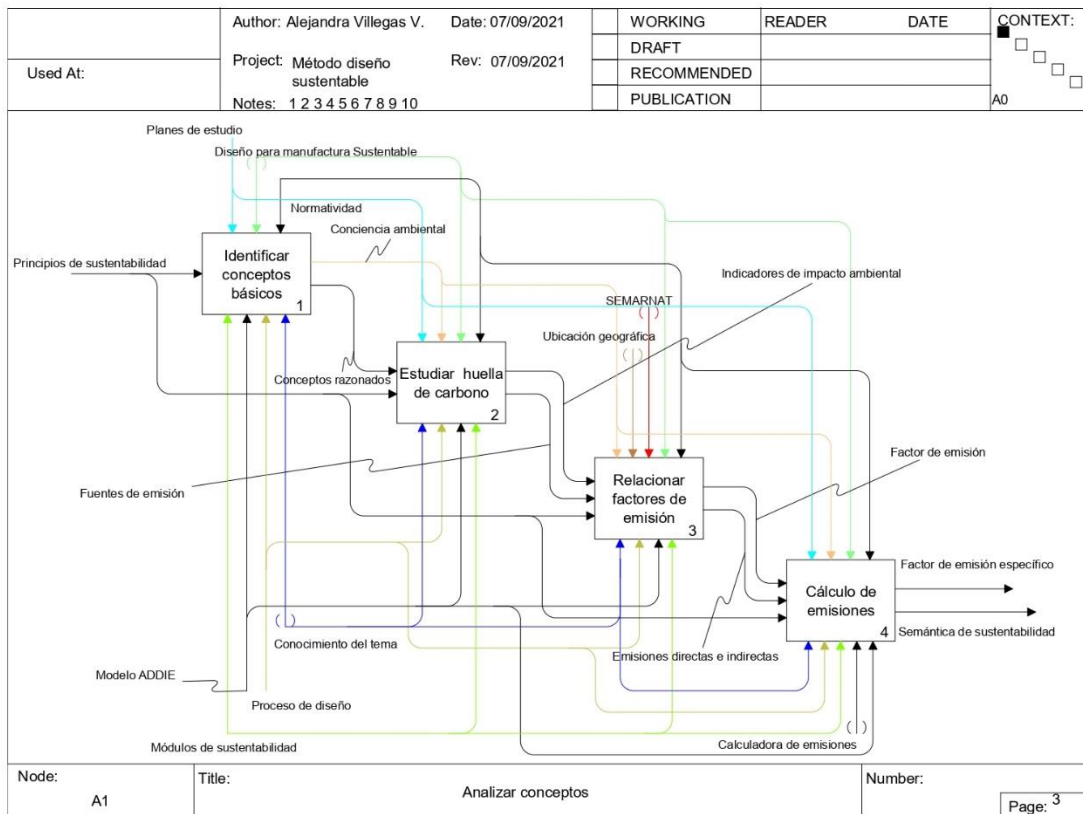


Figura 4 A1- Analizar conceptos IDEFO

2.3.2 A2- INCORPORAR PRÁCTICAS SUSTENTABLES

En esta segunda actividad, se identifican los requerimientos y especificaciones, para establecer un conjunto completo de métricas e indicadores para la fabricación sostenible (Sengupta et al., 2017). Esta actividad será controlada principalmente por los planes de estudios, teniendo de mecanismos el material didáctico, el proceso de diseño y el modelo ADDIE (Fig. 5)

A21 Descripción de métricas de factores de emisión, es de suma importancia desarrollar el conocimiento, así como identificar métricas ya existentes, por medio de los principios y semántica de la sustentabilidad.

A22 Reconocer factores ambientales para manufactura sustentable, por medio de las métricas convencionales y el desarrollo del conocimiento se alentará a la nueva generación de ingenieros a

innovar en la fabricación de productos al brindar nuevos factores ambientales de sustentabilidad formalizando el conocimiento de conceptos de ingeniería sustentable y la capacidad para evaluar simultáneamente los aspectos económicos, ambientales y sociales en la toma de decisiones (Raoufi, Park, et al., 2019).

Para generar una formación tal, que los conocimientos y habilidades satisfagan los requisitos de la fabricación sustentable, desde las primeras etapas del diseño del producto. Se propone evaluar la sustentabilidad del producto mediante los siguientes factores ambientales:

- Materia Prima
- Recubrimientos de protección anticorrosiva
- Parámetros geométricos
- Tolerancias y recubrimientos
- Tolerancia dimensional
- Manufactura

A23 Identificación de factores ambientales, se clasifica la propuesta de métricas en 3 diferentes criterios: Criterio 1 Diseño Preliminar, Criterio 2 Detalle del Diseño y Criterio 3 Manufactura Preliminar.

A24 Asignar factores ambientales, una vez clasificada la información, se aplica el conocimiento del diseño en la toma de decisiones sustentables, se hace la elección de factores ambientales, por mecanismo se tiene la correlación de necesidades según el diseño y se obtiene el planteamiento del producto, un cálculo aproximado de emisiones y una gestión de emisiones más eficiente (Fig. 5).

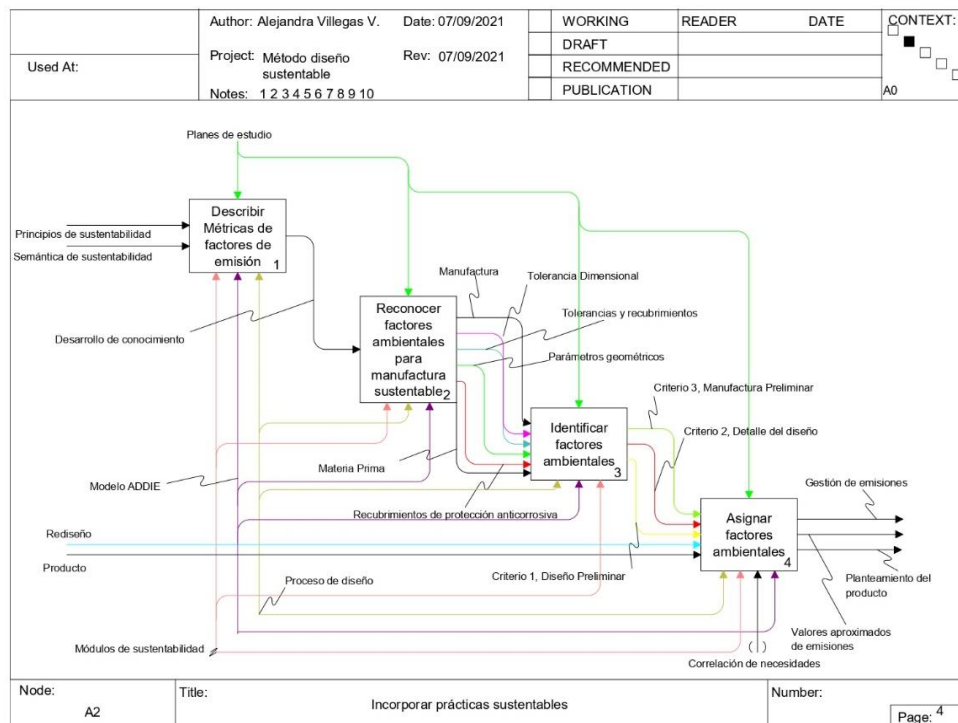


Figura 5 A2- Incorporar prácticas sustentables IDEFO

2.3.3 A3- DISEÑAR PRODUCTOS SUSTENTABLES

La información ya recabada y desarrollada en A1 donde se analiza el contexto global de forma sistemática y crítica, y A2 en donde se incorporan las prácticas sustentables por medio de los seis factores ambientales propuestos en el presente trabajo, se usa para la toma de decisiones en el diseño de productos. A través de mecanismos como material didáctico, el proceso de diseño, lluvia de ideas y el modelo ADDIE y controles en el tiempo de ejecución, los planes de estudio, la normatividad y los principios de sustentabilidad.

A31 Aplicación de sustentabilidad, teniendo de base la gestión de emisiones se evalúa el diseño sustentablemente.

A32 Generar reporte, con el diseño ya evaluado es posible generar un reporte el cual arroje un reporte técnico prudente para ser aprobado por los criterios de sustentabilidad, así continúe con el proceso, o bien, genere una propuesta de diseño la cual deberá regresar a A24 para reasignar indicadores clave de sustentabilidad con mayor eficacia.

A33 Diseño Sustentable, una vez que el producto resulte con un reporte técnico favorable pasará por la actividad de diseño sustentable, la cual, dará a conocer el diseño propuesto con decisiones sustentables y conciencia ambiental para manufactura (Fig. 6).

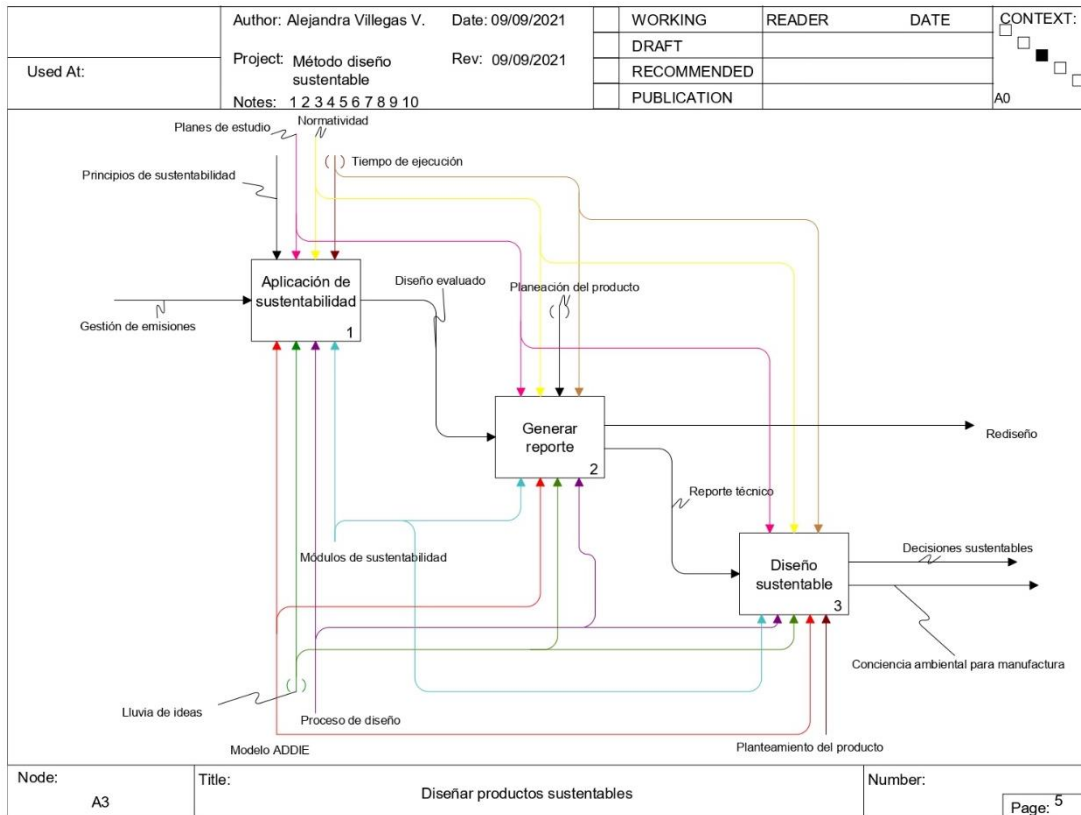


Figura 6 A3- Diseñar productos sustentables IDEFO

2.3.4 A4- MANUFACTURAR PRODUCTOS SUSTENTABLES

Se enfoca principalmente en la manufactura del producto y en las emisiones de CO₂ equivalentes resultantes. Los controles de esta actividad corresponden a; normatividad, planes de estudio, principios de sustentabilidad e indicadores clave de desempeño, por medio de mecanismos como el proceso del diseño, material didáctico y las decisiones sustentables.

A41 Manufacturar producto, entrando con criterios de sustentabilidad y la conciencia ambiental para manufactura se llevará a cabo la manufactura del producto obteniendo el tiempo real del proceso y los valores de la energía consumida en el proceso.

A42 Evaluar emisiones por manufactura, con los datos obtenidos en A41 (tiempo real y la energía consumida del proceso de manufactura) y A14 (factor de emisión específico) se hace el cálculo de emisiones total de manufactura, así mismo, se obtiene el punto de vista del alumnado.

A43 Comparar valores de emisiones, con la información de A42 que son los valores de emisiones total de manufactura, la información de A24 valores aproximados de emisiones de diseño y el punto de vista del alumnado, se lleva a cabo la comparación de valores de emisión, para obtener un reporte técnico y así un producto sustentable (Fig. 7).

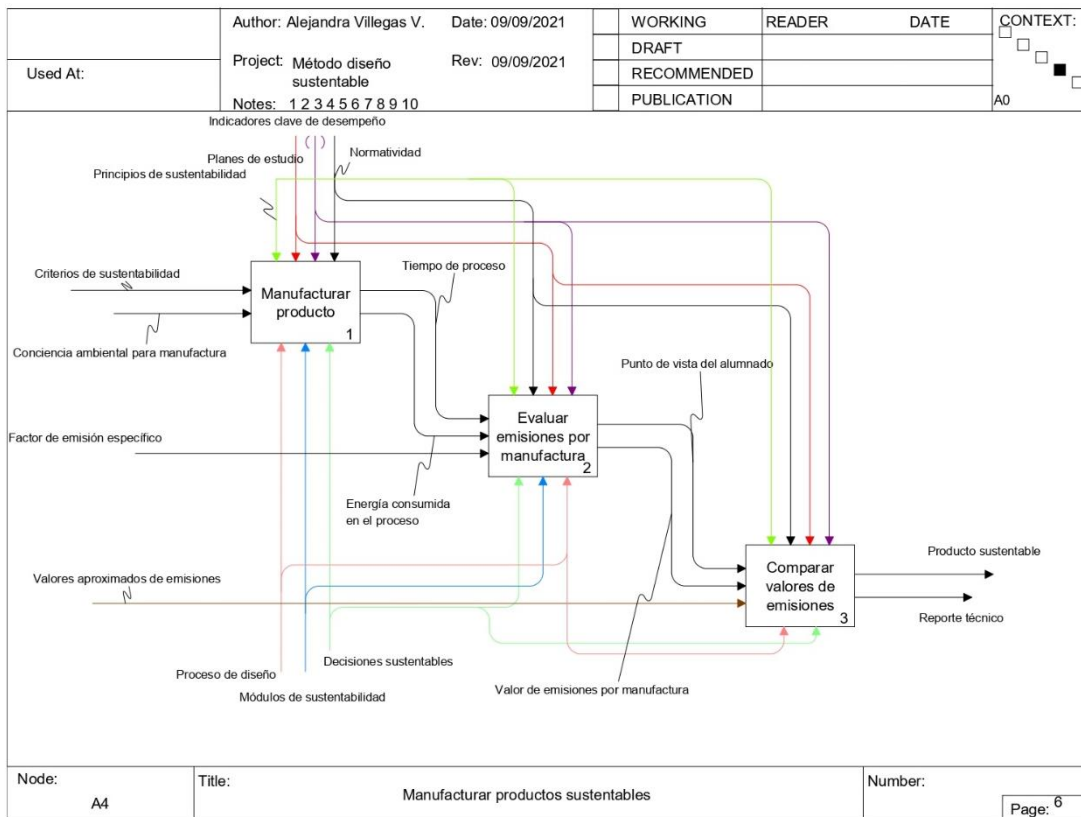


Figura 7 A4- Manufacturar productos sustentables IDEFO

2.3.5 A5- IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Finalmente, en esta etapa se evalúa el diseño del producto, así como, los hallazgos en el mismo para la realización de mejoras continuas. Esta actividad tiene como controles los requerimientos del producto y los planes de estudio, así mismo, mecanismos como; el modelo ADDIE, materiales didácticos y proceso del diseño que ayudan a realizar las actividades.

A51 Evaluación del impacto del diseño del producto, en esta actividad se evalúa el diseño del producto, considerando básicamente principios sustentables, basados en factores ambientales como el consumo energético que se ve reflejado en las emisiones de CO₂, así, al evaluar el impacto ambiental se conoce el grado de sustentabilidad del producto y se localizan las fuentes de emisión de CO₂.

Para llevar a cabo esta actividad se desarrolló una herramienta computacional llamada LVS (Lista de Verificación de la Sustentabilidad), la cual, dispone de tres secciones, correspondientes a cada uno de los Criterios del MDS, véase en la figura 8.

En la primera sección se evalúa el **Diseño preliminar**, a través de dos factores ambientales, *Materia prima y Protección corrosiva*. Materia prima considera la cantidad energética que se requiere para extraer la materia en bruto, de metales, polímeros, cerámicos y/o materiales compuestos. Por otro lado, protección corrosiva presenta datos ambientales promedio de pigmentos sintéticos base para pinturas, los cuales, indican la cantidad de CO₂equivalente por extracción.

Respecto a la segunda sección, **Detalle del diseño**, se dispone de tres factores ambientales; *Parámetros Geométricos, Tolerancias Dimensionales y Especificación Técnica*. En el caso de Parámetros geométricos, se ubican cuatro métricas:

- Radio de Curvatura, se refiere a los cambios de dirección que se presentan en los contornos del producto, por lo que se recomienda evitar radios internos en dichos contornos durante la manufactura con herramientas tradicionales de arranque de viruta, ya que se tornan en radios de difícil acceso.
- Accesibilidad Geométrica, expone los casos de mecanizar el fondo de una cavidad profunda, donde, se considera profunda una cavidad cuando esta sea mayor o igual a tres veces el diámetro de la herramienta.
- Relación de dimensiones: esta métrica apunta a la relación que existe entre la dimensión lineal máxima y mínima del diseño, si el resultado de la relación tiende a uno quiere decir que la pieza a manufacturar tendrá un índice de manufacturabilidad bajo, ya que, bastará con utilizar una herramienta.
- Relación de radios, relación entre el radio máximo y mínimo del diseño, en términos generales cuando esta relación tiende a uno quiere decir que sus radios son semejantes dimensionalmente, y la topología del diseño es más accesible, por lo tanto, disminuye el gasto energético.

Dentro del factor ambiental Tolerancias y recubrimientos se agrupan tres métricas;

- Tolerancias Geométricas, son aquellos requisitos que determinan la funcionalidad, intercambiabilidad y/o posibles cuestiones de fabricación.
- Tolerancias de ubicación evalúan la relación mecánica entre dos piezas, a través de sus posiciones funcionales.
- Recubrimiento, o mejor conocido como el acabado superficial, son los procesos de fabricación usados en la manufactura con el objeto de obtener una superficie deseada principalmente por estética o algún uso mecánico.

Referente al factor ambiental Tolerancias Dimensionales, esta métrica evalúa la precisión de las medidas o dimensiones de una pieza, ya que permite establecer un índice de manufacturabilidad asociado a la precisión de las dimensiones establecidas en los planos de fabricación.

Para la tercera sección, **Manufactura Preliminar**, contiene un factor ambiental; *La manufactura*. Este factor ambiental, indica tres métricas diferentes:

- Viruta de la pieza, es el volumen removido de materia prima.
- Relación de esbeltez, es la relación que existe entre el área de maquinado principal y el volumen de la pieza, esto quiere decir que, si el resultado de la relación tiende a uno, la pieza es demasiado delgada y debe ser manufacturada mediante un proceso diferente a arranque de viruta.
- Vida útil del fluido de corte, se refiere a la duración estimada que tiene el fluido, para cumplir correctamente con la función de lubricar y eliminar el calor generado mediante la manufactura, véase figura 8.

| Evaluación de diseños manufacturados por arranque de viruta. | | | | | | |
|--|--|---------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Desarrollado por Alejandra Villegas V. | | | | | | |
| P R D E L I S I E M Ñ O N A R | Materia prima: Metales | Material: Acero | Emisión: 3 | PUNTAJÓN | | |
| | | | | 0.0001 | | |
| | Protección Corrosiva | Color: Rojo | Emisión: 7.853 | 0.4351 | | |
| D E T A L L E | PARÁMETROS GEOMETRICOS | | Consideraciones | | Respuesta | |
| | Radio de curvatura | SI = 1 | No = 0 | SI | | |
| | Accesibilidad geométrica | SI = 1 | No = 0 | SI | | |
| | Relación de dimensiones | Dim máx | Dim mín | Relación (RD) | Consideraciones | |
| | RD= (Dim máx / dim mín) | 181 | 35 | 5.171428571 | Si RD tiende a infinito = 1 | Si RD tiende a 1 = 0 |
| | Relación radio máx-mín | Radio máx | Radio mín | Relación | Consideraciones | |
| | Rel = radio máx / radio mín | 50.54 | 6.13 | 8.244698206 | Si Rel tiende a infinito = 1 | Si Rel tiende a 1 = 0 |
| | TOLERANCIAS Y RECUBRIMIENTOS | | Consideraciones | | Respuesta | |
| | Tolerancia geométrica | | NO = 0 | SI | | |
| | Tolerancia de ubicación | SI = 1 | NO = 0 | NO | | |
| Recubrimientos | SI = 1 | NO = 0 | NO | | | |
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES | Dimensiones enteras | Dimensiones con decimales | | Dimensiones con centésimas | Dimensiones con milésimas | |
| | IL = 0 | IL = 0.25 | | IL = 0.5 | IL = 1 | |
| | | | | | | |
| M P A R N E L U F A M I C T U A | Manufactura | | | | | |
| | Viruta de la pieza | Vi | Vf | # viruta | Consideraciones | |
| | # viruta = Vi - Vf | | | 0 | # viruta >= Vf = 1 | # viruta < Vf = 0 |
| | Relacion de esbeltez | Área a mec. | Volumen pz | Relación | Consideraciones | |
| | E= A/V | | 1 | 0 | E >= 1 = 1 | E < 1 = 0 |
| | Vida util del fluido de corte (solvente) | Tc (s) | T inactiva (s) | T solvente (s) | CEF oil | Consideraciones |
| CE=((tc+tinact)/tsolvente)*(Ceoil) | 1800 | 82600 | 5184000 | 2.85 | CE < 1 = 0 | CE solvente |
| | | | | | CE > 1 = 1 | 0.046400463 |
| | TOTAL = | | | | | 6.4352 |
| | No Sustentable | | | | | |

NIVELES DE SUSTENTABILIDAD
 Nivel mínimo = 0 puntos
 Nivel máximo = 13 puntos

Figura 8 Herramienta Computacional, LVS versión Beta 4

A52 Analizar los hallazgos, por medio de las actividades registradas y la rúbrica del producto se reportan las actividades programadas ya evaluadas y los desechos sólidos del producto.

A53 Evaluación del diseño del producto, se realiza una evaluación completa del ciclo de vida del producto, para informar si se cumplió el objetivo del método, incorporar la sustentabilidad en el diseño y manufactura de productos (Fig. 9).

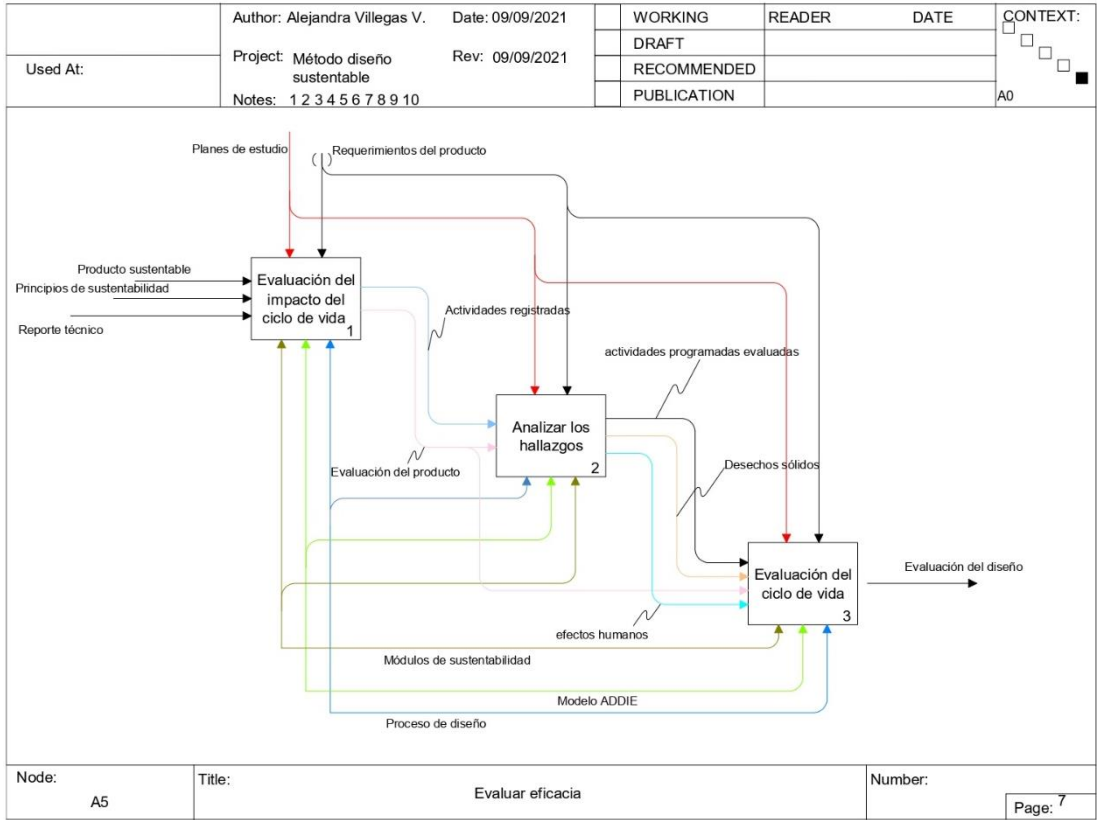


Figura 9 A5- Evaluar Eficacia IDEF0

CAPÍTULO 3 DEFINICIÓN DE MÉTRICAS PARA EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se definen 13 métricas, *Materia Prima, Recubrimientos; Protección corrosiva, Radio de Curvatura, Accesibilidad Geométrica, Relación de radios, Relación de dimensiones, , Tolerancias Geométricas, Tolerancias de Ubicación, Acabado Superficie, Tolerancias Dimensionales, Viruta de la Pieza, Relación de Esbeltez y Vida útil del fluido de corte*; clasificadas en 6 indicadores sustentables, 1. Materia Prima, 2. Recubrimientos; Protección corrosiva, 3. Parámetros Geométricos, 4. Tolerancia Dimensional, 5. Tolerancias y recubrimientos, y 6. Manufactura, dichos indicadores son agrupados en 3 criterios de sustentabilidad, Diseño Preliminar, Detalle del diseño y Manufactura Preliminar, pensados en describir, analizar y evaluar el diseño de los productos. Dichas métricas son evaluadas por medio de la LVS para conocer el impacto ambiental del diseño del producto.

3.2 CONDICIONES INICIALES

Las métricas y factores ambientales son formas de equipar o medir la sustentabilidad, en la literatura existen diferentes indicadores que no solo se encuentran en diferentes enfoques disciplinarios, sino también diferentes puntos de vista sobre el desarrollo. (*Métricas e Índices de Sostenibilidad – HiSoUR Arte Cultura Historia*, n.d.)

En el campo ambiental se han desarrollado índices para entender, describir y analizar distintos fenómenos como el clima, la pérdida de suelos y el riesgo de especies, entre muchos otros (*Indicadores Ambientales 2011*, n.d.). Existen aplicaciones comerciales que logran hacer la evaluación del diseño del producto al igual que guías especializadas en ensambles, las cuales indican que tan complicado es unir las piezas de los productos, pero no brindan información acerca del diseño.

3.3 CRITERIO 1 DISEÑO PRELIMINAR

El diseño es el proceso de idear un sistema, componente o proceso para satisfacer ciertas necesidades. Esto implica un desarrollo de toma de decisiones, en el que se aplican los recursos de forma óptima a fin de obtener los objetivos de dicho diseño (Frax, 2022). Dado lo anterior, en esta sección se presentan las métricas de evaluación del criterio 1 *Diseño Preliminar*; *Materia Prima y Recubrimientos De Protección Anticorrosiva*, las cuales aportan información y criterios que permiten la evaluación del diseño preliminar para así, tomar decisiones razonadas.

3.3.1 MATERIA PRIMA

A continuación, se enumera la energía incorporada y la huella de carbono equivalente, emitida al medio ambiente asociada a la extracción por unidad de masa, de elementos de alto rendimiento para el sector más exigente que existe; la ingeniería aeroespacial, metalmecánica y automotriz, así como de los principales polímeros usados en la manufactura aditiva. (Tabla 1 y 2) (Koltun, 2008).

Tabla 1 Datos ambientales, principales elementos usados en ingeniería (Koltun, 2008)

| Elemento | Energía incorporada [MJ/kg] | CO₂ equivalente (GWP) [kg/kg] | Evaluación en la LVS |
|-----------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
| Acero | 45 | 3 | 0.0001 |
| Aluminio | 210 | 13 | 0.0004 |
| Berilio | 6400 | 400 | 0.0133 |
| Calcio | 150 | 9.5 | 0.0003 |
| Cobalto | 130 | 8.3 | 0.0003 |
| Cobre | 60 | 3.7 | 0.0001 |
| Cromo | 300 | 16 | 0.0005 |
| Estaño | 230 | 13 | 0.0004 |
| Indio | 45000 | 2900 | 0.0967 |
| Magnesio | 320 | 36 | 0.0012 |
| Manganeso | 65 | 4 | 0.0001 |
| Níquel | 170 | 11 | 0.0004 |
| Oro | 250000 | 15000 | 0.5000 |
| Paladio | 160000 | 8500 | 0.2833 |
| Plata | 1500 | 100 | 0.0033 |
| Platino | 270000 | 15000 | 0.5000 |
| Rodio | 560000 | 30000 | 1.0000 |
| Titanio | 580 | 39 | 0.0013 |
| Tungsteno | 540 | 34 | 0.0011 |

Tabla 2 Datos ambientales de principales polímeros usados en ingeniería (Koltun, 2008)

| Elemento | Energía incorporada [MJ/kg] | CO₂ equivalente (GWP) [kg/kg] | Evaluación en la LVS |
|--|------------------------------------|---|-----------------------------|
| Polietileno (PE) | 81 | 2.8 | 0.1217 |
| Polipropileno (PP) | 80 | 3.1 | 0.1348 |
| Ácido Poliláctico (PLA) | 52 | 3.6 | 0.1565 |
| Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) | 35 | 3.8 | 0.1652 |
| Polietilentereftalato (PET) | 85 | 4 | 0.1739 |
| Policarbonato | 110 | 6 | 0.2609 |
| Polimetilmetacrilato (Acrylic, PMMA) | 110 | 6.8 | 0.2957 |
| Poliamida (Nylons, PA) | 120 | 8 | 0.3478 |
| Poliéter éter cetona (PEEK) | 300 | 23 | 1.0000 |

Como muestra de la presente métrica, se evalúa la materia prima de una pija de acero para madera, véase en la figura 10, en la tabla 1 se muestra que el acero emite al medio ambiente por extracción un total de 3 CO₂equivalente por cada Kg de acero, obteniendo 0.0001 puntos en la LVS.



Figura 10 Pija de acero

3.3.2 RECUBRIMIENTOS, PROTECCIÓN CORROSIVA

Los elementos, piezas y productos de ingeniería normalmente requieren de algún tipo de acabado superficial, ya sea para proporcionarle protección contra la corrosión, desgaste y/o acabado estético para mejorar su aspecto. El acabado más común es el recubrimiento con pintura y la gama de colores y matices disponibles (Ortega, 1965).

La pintura es una materia líquida o pastosa obtenida por la mezcla de pigmentos con aglutinante, que sirve para recubrir superficies como protección, recubrimiento o decoración. Todas las pinturas se componen a su vez de una serie de productos:

- Pigmentos: son materiales en forma de polvo que, al incorporarse en la pintura le aportan color y opacidad.
- Aglutinantes: Son los líquidos o sólidos encargados de retener los pigmentos una vez que se ha formado la pintura.
- Disolventes: son las sustancias encargadas de la disolución del aglutinante en caso de que este sea sólido; y darle la viscosidad adecuada en caso de un aglutinante líquido.
- Plastificante: el efecto del plastificante es suavizar el material, ya que al incrementar su flexibilidad, su tratamiento industrial es más sencillo (Metaportal de Arquitectura, 2019).

Como se mencionó anteriormente el pigmento es un conjunto de polvos finos que cambia el color de la luz que refleja, como resultado de la absorción selectiva de la luz según su longitud de onda. Es decir, es un polvo muy fino que actúa como colorante seco (Totenart, n.d.). Los pigmentos se pueden extraer tanto por procesos químicos como por procedimientos naturales, los cuales emiten al medio ambiente emisiones de CO₂.

Los pigmentos se pueden clasificar según su composición química y se engloban en dos grandes tipos:

A. Inorgánicos

1. Tierras naturales: ocre, sombra natural etc.
2. Tierras naturales calcinadas: sombra tostada, siena tostada, etc.

B. Orgánicos

1. Vegetales: gutagamba, índigo, rubia, etc.
2. Pigmentos orgánicos sintéticos (Mayer, 1993)

A continuación, se presenta la tabla 3 Datos ambientales promedio de pigmentos orgánicos sintéticos para pinturas (Mayer, 1993) en donde se muestra el pigmento que logra el color, sustancia química proveniente, seguido del promedio de emisiones de CO₂ equivalentes que se arrojan al medio ambiente por su extracción.

Tabla 3 Datos ambientales promedio de pigmentos orgánicos para pinturas (Mayer, 1993)

| Color | Sustancia Química | CO₂ equivalente (GWP) | Evaluación en la LVS |
|--------------|--|---|-----------------------------|
| Amarillo | Antimonio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Mercurio y Óxido de hierro. | 8.29 | 0.4596 |
| Azul | Cobalto, Estaño, Cobre, Fierro, hidróxido de cobre, manganato de barrio, oxido de cobalto y ácido fosfórico. | 10.11 | 0.5605 |
| Verde | Cobalto, Cobre, Cromo, Manganeseo, Oxido de aluminio, Cobalto, Titanio | 18.05 | 1.0000 |
| Blanco | Dióxido de Titanio, Hidróxido de aluminio, Hidróxido de Calcio, Magnesio, Nitrato de Bismuto, Oxido de Antimonio, Oxido de Estaño y Plomo. | 16.83 | 0.9328 |
| Rojo | Sulfuro de Mercurio, Cobre, Cromo y Oxido Férrico. | 7.85 | 0.4351 |
| Naranja | Antimonio y Cromo | 14.50 | 0.8033 |
| Negro | Cobalto, Antimonio de Hierro, Oxido de Cobalto y Oxido de Manganeseo | 9.15 | 0.5069 |

Evaluando una pija auto taladrante con protección corrosiva color rojo, véase en la figura 11, según los datos de la tabla 3, el pigmento para el color rojo arrojara al medio ambiente 7.85 CO_{2equivalente} por cada Kg de pigmento, teniendo en la LVS un puntaje de 0.4351.



Figura 11 Pija auto taladrante con protección corrosiva color rojo

3.4 CRITERIO 2 DETALLE DEL DISEÑO

Para mejorar la competitividad en la industria moderna de producción en masa, los productos deben diseñarse y fabricarse con dos objetivos que a menudo están en oposición: 1. disminución de tiempo y costo, 2. mejora de la calidad y la flexibilidad (O. Kerbrat et al., 2008).

El objetivo de esta sección es determinar un indicador clave de sustentabilidad que mida la influencia del tiempo de mecanizado, que, a su vez depende de la estrategia de la trayectoria de la herramienta; así como el costo y la calidad de la pieza.

3.4.1 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

Este indicador nos proporciona información sobre las piezas o áreas de una pieza más difícil de fabricar (Olivier Kerbrat et al., 2010).

Se desarrolla un nuevo enfoque para determinar qué áreas de la pieza serán las más difíciles de fabricar, los parámetros geométricos de la pieza a realizar inciden claramente en el tiempo, el costo y la calidad de fabricación. Los parámetros geométricos que hacen que una pieza mecánica sea difícil de manufacturar son (O. Kerbrat et al., 2008):

- Radio de Curvatura, se refiere a los cambios de dirección que se presentan los contornos del producto, es decir, se recomienda evitar radios internos en dichos contornos, ya que se tornan en radios de difícil acceso, durante la manufactura con herramientas tradicionales de arranque de viruta.

$$\begin{cases} 0 & \text{si } f(x) < 1 \\ 1 & \text{si } f(x) \geq 1 \end{cases} \quad \text{Ec.1}$$

- Accesibilidad Geométrica, expone los casos de mecanizar el fondo de una cavidad profunda, donde se considera profunda una cavidad cuando esta, sea mayor o igual a tres veces el diámetro de la herramienta, véase figura 14.

$$\begin{cases} 0 & \text{si } f(x) < 1 \\ 1 & \text{si } f(x) \geq 1 \end{cases} \quad \text{Ec.2}$$

- Relación de dimensiones, esta métrica apunta a la relación que existe entre la dimensión lineal máxima y mínima del diseño, si el resultado de la ecuación 3 en términos generales tiende a uno, la pieza a manufacturar será menos complicada de producir (Olivier Kerbrat et al., 2010).

$$RD = \frac{\text{Dimensión máxima}}{\text{Dimensión mínima}} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

RD → Relación de dimensiones

- Relación de radios, es la relación entre el radio máximo y mínimo del diseño, en términos generales cuando esta relación tiende a uno, quiere decir que sus radios son semejantes, y la topología del diseño es más accesible, por lo tanto, disminuye el gasto energético (Korosec et al., 2005).

$$\text{Rel máx - mín} = \frac{R_{\text{máx}}}{r_{\text{mín}}} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

Rel máx-mín → relación máxima –mínima

Rmáx → Radio máximo

rmin → radio mínimo

Ilustrando lo anterior, se evalúa el diseño del molde para botella mediante su croquis, véase figura 12, dónde todas las dimensiones corresponden a mm.

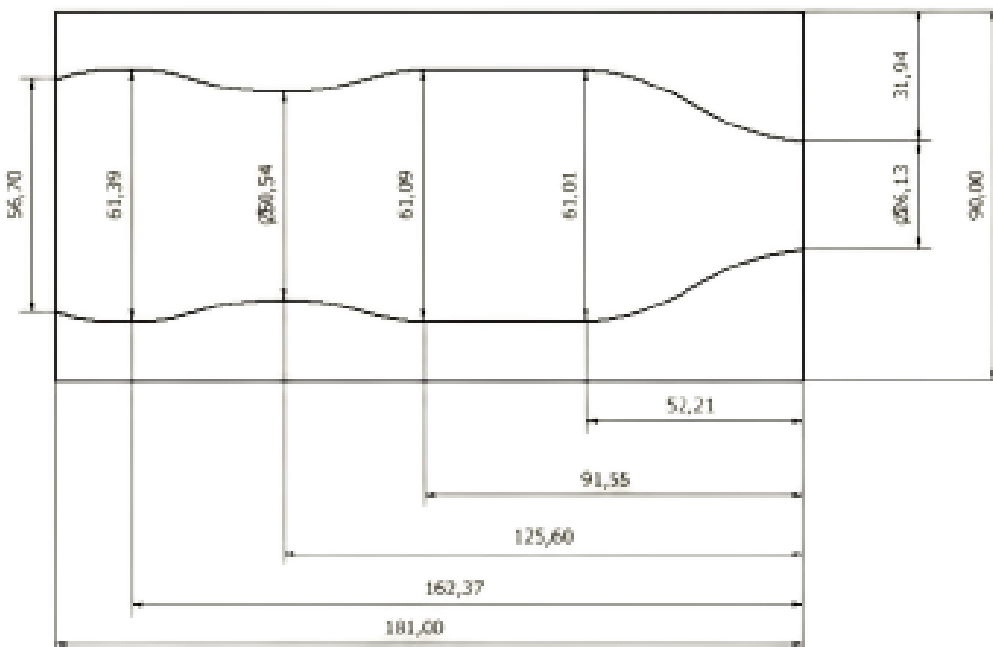


Figura 12 Croquis de diseño de molde para botella

Con respecto a Radio de Curvatura el molde para botella obtiene un punto en la LVS, ya que el diseño cuenta con 6 cambios de dirección en el contorno, véase la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} 0 & \text{si } 6 < 1 \\ 1 & \text{si } 6 \geq 1 \end{cases}$$

En el caso de Accesibilidad se obtiene un punto en la LVS puesto que, el diseño cuenta con una cavidad profunda, véase la siguiente fórmula.

$$\begin{cases} 0 & \text{si } 1 < 1 \\ 1 & \text{si } 1 \geq 1 \end{cases}$$

Por otro lado, en Relación de dimensiones, se utiliza la ecuación 3 con la dimensión máxima 181 mm y la dimensión mínima 35 mm, resultando con 1 punto en la LDV ya que el resultado de la relación tiende a ser considerablemente mayor a 1, véase en la figura 14.

$$RD = \frac{181 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 5.17$$

Ahora se evalúa mediante la relación de radios. Según el croquis del diseño, véase figura 12, el diámetro máximo es igual a 50.54 mm y el diámetro mínimo es igual a 6.13 mm, por lo tanto, los radios serían 25.27 mm y 3.065 mm respectivamente. Empleando la Ec.4:

$$Rel \text{ máx} - \text{mín} = 1 = \frac{25.27}{3.065} = 8.24$$

El resultado de la ecuación 4 es considerablemente mayor a 1, por lo que la evaluación en la LVS corresponde a 1 punto.

3.4.2 TOLERANCIAS Y RECUBRIMIENTOS

La especificación de tolerancias de alto grado y el acabado de la superficie siempre aumentan el número de operaciones requeridas y las máquinas más eficientes (Olivier Kerbrat et al., 2010). Las tolerancias y a su vez el acabado superficial serán aquellas desviaciones que pueden aceptarse sin arriesgar el funcionamiento de la pieza. Estas deben establecerse de tal forma que el elemento no sea fabricado con mayor precisión de la necesaria, puesto que en la mayoría de los casos las desviaciones estrechas aumentan los costos y requieren de una inspección posterior (Olivier Kerbrat et al., 2010).

Por consecuencia se obtiene un aumento del índice de maquinabilidad, es decir, aumento en la dificultad de fabricación. Se puede realizar la priorización de características, esto significa distinguir las características más importantes de las menos importantes, con respecto al proceso de mecanizado (Olivier Kerbrat et al., 2010).

Las tres métricas siguientes son los tres parámetros más susceptibles para llevar a cabo la priorización de características, es decir, indicar tolerancias y acabado superficial sólo en dónde sea verdaderamente necesario.

-Tolerancia geométrica: Las tolerancias geométricas deberán especificarse solamente en aquellos requisitos que afecten a la funcionalidad, intercambiabilidad y posibles cuestiones relativas a la fabricación; de otra manera, los costes de fabricación y verificación sufrirán un aumento innecesario. En cualquier caso, estas tolerancias habrán de ser tan grandes como lo permitan las condiciones establecidas para satisfacer los requisitos del diseño (Díaz del Castillo, 2008)

$$\begin{cases} 0 & \text{si } f(x) < 1 \\ 1 & \text{si } f(x) > 1 \end{cases} \quad \text{Ec.5}$$

-Tolerancia de ubicación; El control de las piezas fabricadas en cuanto a la posición relativa de sus superficies asume una importancia de gran significado debido a las pérdidas en que se puede incurrir en términos de producto rechazado, aún en los casos en que se ha apartado ligeramente de sus especificaciones de diseño esto es en especial por temas de ensamblaje e intercambiabilidad (Espinosa, L. y González, 2019).

$$\begin{cases} 0 & \text{si } f(x) < 1 \\ 1 & \text{si } f(x) > 1 \end{cases} \quad \text{Ec.6}$$

-Recubrimientos o Acabado superficial; El acabado superficial es un proceso de fabricación usado en la manufactura con el objetivo de obtener una superficie deseada en algún producto principalmente por estética o algún uso mecánico de este (Hinojos, 2009) Este acabado superficial debe ser congruente con el funcionamiento del producto, es decir se deberá especificar solamente en aquellos requisitos que afecten el uso mecánico del producto.

$$\begin{cases} 0 & \text{si } f(x) < 1 \\ 1 & \text{si } f(x) > 1 \end{cases} \quad \text{Ec.7}$$

Como muestra del factor ambiental Especificación técnica, se evaluará el diseño de un pistón mediante su croquis, véase en la figura 13, en donde, las dimensiones presentadas tienen por unidad los milímetros.

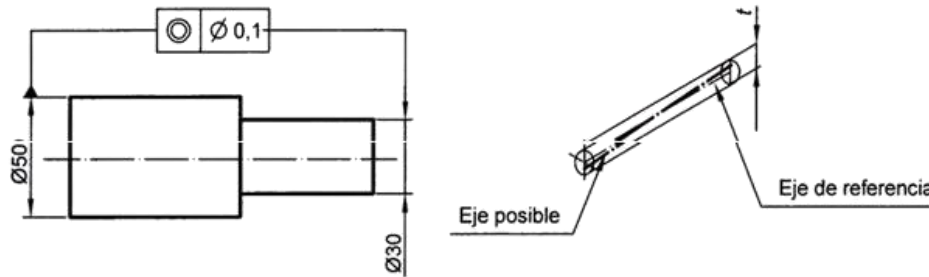


Figura 13 Croquis de diseño de pistón

Referente a Tolerancia Geométrica, el croquis de la figura 13 solo indica una Tolerancia de concentricidad, la cual, pertenece a las tolerancias geométricas. En atención a lo anterior, la evaluación será de 1 punto, véase la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} 0 & \text{si } 1 < 1 \\ 1 & \text{si } 1 > 1 \end{cases}$$

Acercas de Tolerancia de ubicación, la evaluación corresponde a cero, ya que en el croquis de la figura 14 se cuenta con cero tolerancias de ubicación, véase la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} 0 & \text{si } 0 < 1 \\ 1 & \text{si } 0 > 1 \end{cases}$$

Analizando el croquis de la figura 13, se concluye que el diseño cuenta con cero Recubrimientos o Acabados superficiales, por lo que, la evaluación de la LVS corresponde a cero puntos, véase la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} 0 & \text{si } 0 < 1 \\ 1 & \text{si } 0 > 1 \end{cases}$$

Tabla 4 Evaluación de diseño de pistón, según Factor Ambiental Especificación Técnica

| Especificación Técnica | Existencia | Puntaje |
|---|------------|---------|
| Tolerancias geométricas | ✓ | 1 |
| Tolerancias de ubicación | ✗ | 1 |
| Recubrimientos o Acabados Superficiales | ✗ | 1 |

TOTAL = 1

3.4.3 TOLERANCIA DE DIMENSIÓN

Los procesos de fabricación y ensamblaje permiten errores, por lo tanto, los productos que se manufacturan varían en forma y dimensiones. Los procesos de producción que se usan para organizar y controlar la variabilidad se evalúan a través de todo el sistema de producción. Las tolerancias son la principal herramienta de control de variaciones en el diseño (Voelcker, 1998).

Las tolerancias de dimensión permiten establecer un índice de manufacturabilidad asociado a la precisión de las dimensiones establecidas en los planos de fabricación según la cota nominal. Este índice controla la precisión de las medidas o dimensiones de una pieza, pero no controla ni forma, ni posición, ni orientación que tengan las características del producto. (Instituto., 2016).

La mayoría de los productos simplemente funcionan mejor y son más fáciles de ensamblar si se construyen a partir de sus dimensiones nominales (Voelcker, 1998). Por lo tanto, el índice de maquinabilidad de una pieza será bajo si sus dimensiones nominales no cuentan con decimales, centésimas o milésimas (Anon, 1973).

En la LVS se evaluará de la siguiente manera. Si el diseño cuenta con dimensiones con decimales sumará 0.25 puntos, por otro lado, si el diseño cuenta con dimensiones con centésimas sumará 0.5 puntos y si el diseño cuenta con milésimas sumará 1 punto a la evaluación total del indicador Tolerancias Dimensionales, véase tabla 5.

Para ilustrar lo antes mencionado, se evaluará una carcasa para termómetro mediante el siguiente croquis, véase figura 14, considerando todas las dimensiones en mm.

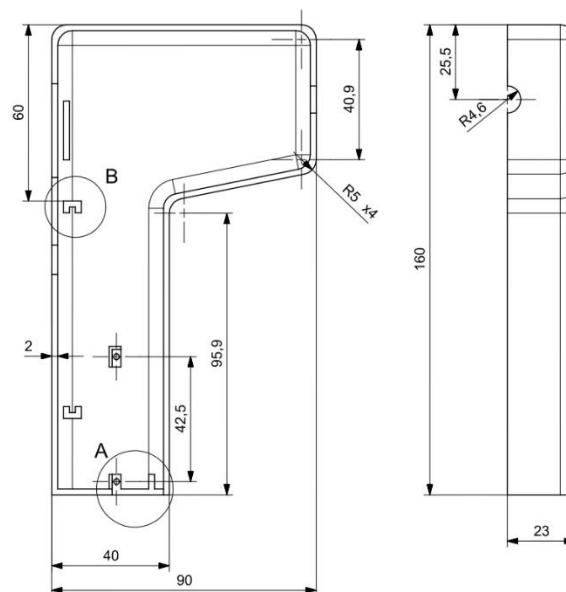


Figura 14 Croquis de carcasa para termómetro

Tabla 5 Evaluación de Carcasa para termómetro según Factor Ambiental Tolerancias Dimensionales

| Dimensiones | Existencia | Puntaje |
|----------------------------|------------|-------------|
| Dimensiones con decimales | ✓ | 0.25 |
| Dimensiones con centésimas | ✗ | 0.5 |
| Dimensiones con milésimas | ✗ | 1 |
| TOTAL = | | 0.25 |

Dado que el croquis proporciona datos de dimensiones únicamente con decimales, se sumará 0.25 puntos en total para el indicador Tolerancias Dimensionales, véase tabla 5.

3.5 CRITERIO 3 MANUFACTURA PRELIMINAR

Se incluyen métricas que ayudan a predecir si las estrategias de manufactura propuestas son adecuadas o no, para ello se evalúan características de forma, como; viruta resultante de la pieza, la esbeltez de la pieza y la vida útil del fluido de corte que será utilizado en la manufactura.

3.5.1 MANUFACTURA

Existen algunos índices previos y posteriores a la manufactura que nos ayudan a saber si las estrategias que se están utilizando son las correctas desde el punto de vista de la sustentabilidad, para ello se deben de tomar en cuenta ciertas características del producto, como lo son;

- Viruta de la pieza: las dimensiones iniciales de la pieza tienen un impacto en la cantidad de viruta que se debe retirar, por tanto, tendrán una relación directa en el costo de la pieza (Korosec et al., 2005).

$$\# \text{ de viruta} = V_{\text{inicial}} - V_{\text{final}} \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

V_{inicial} → Volumen inicial de la pieza

V_{final} → Volumen final de la pieza

Las virutas se consideran material perdido, por lo tanto, si # de viruta tiene un valor mayor al V_{final} , la cantidad de material perdido será mayor que la cantidad de material utilizado, por consecuencia el índice de manufacturabilidad de la pieza se considerará alto (Korosec et al., 2005).

En la LVS se puntuará la presente métrica de la siguiente manera; si el # de viruta es mayor al volumen final la puntuación del diseño valdrá 1 punto y si el # de viruta es menor al volumen final se evaluará con cero puntos.

- Esbeltez: es la relación que existe entre el área de maquinado principal y el volumen de la pieza, esto quiere decir que, si el resultado de la relación tiende a uno, la pieza es demasiado delgada y debe ser manufacturada mediante un proceso diferente a arranque de viruta, guíese con la siguiente formula (Korosec et al., 2005):

$$E = \frac{A}{V} \quad \text{Ec. 9}$$

Dónde:

- E → Esbeltez
- A → Área a mecanizar
- V → Volumen de la pieza

- Vida útil del fluido de corte (solvente): El fluido de corte es una sustancia que actúa como agente de enfriamiento, con propiedades especiales de punto de evaporación y condensación. Mediante cambios de presión y temperatura absorben calor en un lugar y lo disipa en otro mediante un cambio de líquido a gas y viceversa (Nieto, 2018). El solvente, ya sea a base de agua o de aceite, es importante para el mecanizado en términos de operaciones e impacto ambiental (Bell et al., 2008). En particular este estudio analiza la huella de carbono del fluido de corte a base de agua (Li et al., 2015).

Las emisiones de carbono del fluido de corte se componen de dos partes: 1. las emisiones de carbono generadas a través de la producción de aceite mineral puro CE_{oil} , y 2 las emisiones de carbono generadas por la eliminación de residuos de fluidos de corte CE_{wc} . Para calcular CE_{oil} , las emisiones de carbono generadas durante la producción de aceite mineral puro se distribuyen a lo largo de todo el ciclo de vida del fluido de corte $T_{coolant}$. CE_{oil} representa la porción de las emisiones de carbono cuando la herramienta está en uso, ya sea en espera o en funcionamiento (Li et al., 2015).

$$CE_{coolant} = \frac{T}{T_{coolant}} \times (CE_{oil} + CE_{wc}) \quad \text{Ec. 10}$$

$$T = t_c + t_{inactiva} \quad \text{Ec. 11}$$

$$CE_{oil} = CEF_{oil} \times (CC + AC) \quad \text{Ec. 12}$$

$$CE_{wc} = CEF_{wc} \times \left(\frac{CC+AC}{\delta}\right) \quad \text{Ec. 13}$$

Dónde:

$CE_{solvente}$ → Las emisiones de carbono causadas por la producción de fluido de corte (kg de CO_2)

CE_{wc} → Emisión de carbono por eliminación de fluido de corte (kg de CO_2)

CE_{oil} → Emisiones de carbono generadas por la producción de aceite mineral puro (kg CO_2)

T → Período de mecanizado (s)

t_c → Tiempo de corte (s)

$i_{inactiva}$ → tiempo inactivo (s)

$T_{solvente}$ → Ciclo de reemplazo del fluido de corte, generalmente es de 60 días = 5,184,000 segundos.

CE_{oil} → Factor de emisión de carbono para la producción de fluido de corte, aproximado = 2.85 KgCO₂ (Li et al., 2015).

CE_{wc} → Factor de emisión de carbono por eliminación de fluido de corte aproximado = 0.02 KgCO₂ (Li et al., 2015).

CC → volumen inicial de fluido de corte

CA → volumen adicional de fluido de corte

δ → concentración de fluido de corte predeterminada.

Debido a la naturaleza del experimento, se utilizará el refrigerante sin diluir, es decir, no tendremos desechos (W.C.) ni fluidos adicionales. Resultando con la siguiente formula:

$$CE_{solvente} = \frac{T}{T_{solvente}} \times CE_{oil} \quad Ec. 14$$

A modo de ejemplo se evalúan las tres métricas anteriores con el diseño del plato para trole de una grúa viajera.

Para la métrica Viruta de la pieza, según los datos de la figura 16 el volumen inicial es de (9.5*250*180) mm³ y volumen final de 241,698.062 mm³, utilizando la ecuación 8:

$$\# \text{ viruta} = (9.5 * 250 * 180)mm^3 - 241,698.062 mm^3$$

$$\# \text{ viruta} = 185,801.938$$

$$185,801.938mm^3 < 241,698.062mm^3$$



Figura 15 Plato para trole de grúa viajera



Figura 16 Propiedades físicas de plato para trole de grúa viajera

Por lo tanto, el diseño del plato para trole de una grúa viajera le corresponde cero puntos en la métrica de Viruta de la pieza.

Referente a la Esbeltez del diseño se usa la ecuación 9, tomando en cuenta los datos de la figura 16.

$$E = \frac{67656.360mm^2}{241,698.062mm^3} = 0.2799$$

Como podemos observar, el resultado de la relación de esbeltez tiende a cero, por lo tanto, en la LVS la puntuación del diseño corresponde a cero puntos.

Por otro lado, si la tendencia de la relación de Esbeltez hubiera sido considerada uno, podría significar dos cosas; uno, será complicada la manufactura, ya que el agarre podría provocar flexión en la pieza, o bien, el proceso por el que se está manufacturando el plato para trole es incorrecto.

Alusivo a la métrica Vida útil del fluido de corte, los datos de manufactura indicaron:

Tiempo de corte: 30 minutos

Tiempo inactivo de la máquina: 23 horas y 30 minutos

Usando la ecuación 14:

$$CE_{OIL} = \frac{1800 + 82600}{5184000} \times 2.85 = 0.0464$$

La métrica Vida útil del fluido de corte se evalúa de la siguiente manera:

Si CE_{OIL} tiende a 1, le corresponde 1 punto en LVS

Si CE_{OIL} tiende a 0, le corresponde 0 puntos en LVS

Dado lo anterior, la evaluación del trole de una grúa viajera es de cero puntos.

CAPÍTULO 4 CASOS DE ESTUDIO

4.1 INTRODUCCIÓN

Los casos de estudio presentados a continuación consistieron en la aplicación del método propuesto, por medio de la evaluación e investigación de productos diseñados en clases con modalidad virtual y presencial, donde se incorporaron conocimientos y habilidades para aplicar diseño sustentable, desde las primeras etapas del diseño del producto.

Se presenta la evaluación de un soporte de audífonos, una carcasa para protección de un sensor y la evaluación de una herramienta didáctica, la cual forma parte de una práctica de laboratorio dentro del LIMAC.

4.2 PRUEBA PILOTO 1

Para probar la nueva versión de la Lista de Verificación de Sustentabilidad se implementó la primera prueba piloto del Método Diseño Sustentable, MDS, en la materia de Diseño y manufactura asistida por computadora en el semestre 2022-1, modalidad virtual, en las licenciaturas de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica.

En la versión beta 2 de la Lista de Verificación de Sustentabilidad se estudió un soporte para audífonos, y se realizaron diferentes modificaciones a la estructura de los indicadores, como lo fue la nueva adaptación del indicador Tolerancias Dimensionales aunado a la clasificación de dos criterios de sustentabilidad;

- Diseño Preliminar
- Detalle del diseño

Fue alentador que al 100% de los participantes les pareció interesante considerar el punto de vista de diseño sustentable.

Con base en la actividad A1 Analizar conceptos, propuesta en el MDS véase figura 4, se les compartió información sobre el concepto de diseño sustentable mediante una plática introductoria, detallando los principios de la sustentabilidad, así como, los indicadores de impacto ambiental presentes en la literatura.

Para realizar la actividad A2 se llevó a cabo una reunión virtual para explicar las métricas existentes asociadas a los factores de emisión, así como la clasificación de las emisiones al medio ambiente. En dicha reunión se categorizaron los nuevos indicadores para manufactura sustentable propuestos en este trabajo, así como su uso e impacto.

En la actividad A3 se realizó la evaluación del diseño correspondiente al soporte de audífonos, para mostrar el uso y aplicación de los indicadores, por medio de la Lista de Verificación de Sustentabilidad en su versión beta 2, véase figura 17 y 18.



Figura 17 Pieza soporte para audífonos

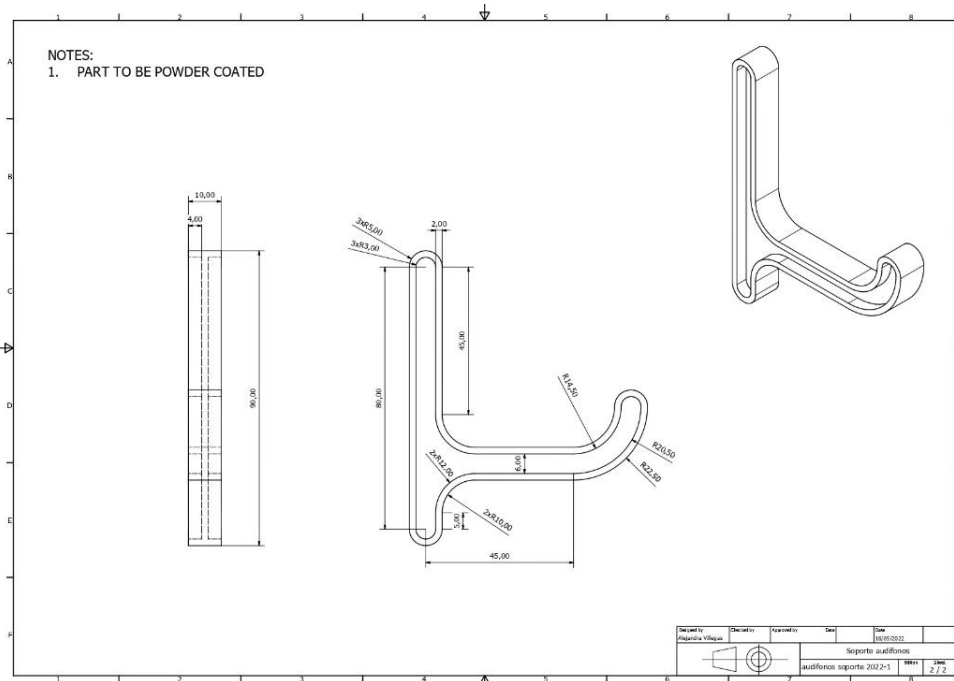


Figura 18 Plano de pieza soporte para audífonos

Para el caso de la cuarta actividad A4 Manufacturar Productos Sustentables, se guió al alumnado en el simulado de la manufactura, ya que, como ya se había mencionado la materia se llevó a cabo vía remota debido a la pandemia del COVID-19 creando así conciencia ambiental.

Para la manufactura del soporte para audífonos, la toma de decisiones sustentables fue compartida y evaluada al final del curso, con lo que se cubrió con la quinta actividad A5 del MDS, véase figura 19.

| Evaluación de diseños manufacturados por arranque de viruta. | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|---------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|------|---------------------------------|
| Desarrollado por Alejandra Villegas V. | | | | | | | | | |
| Materias primas | | | | | Consideraciones | | PUNTUACIÓN | | D e s e ñ o |
| Tipo de material: | Polímeros | Material: | Polythylene (PE) | Emisión: | 2.8 | Emisión >= 4 = 1 | Emisión < 4 = 0 | 0 | |
| Protección corrosiva, recubrimientos | | | | | Consideraciones | | | | D e t a l l e |
| Color: | Verde | Emisión: | 18.05 | | Emisión >= 12 = 1 | Emisión < 12 = 0 | 1 | | |
| Parámetros geométricos | | | Consideraciones | | | Respuesta | | | |
| Radio de curvatura | | | SI = 1 | | | No = 0 | | NO | |
| Accesibilidad geométrica | | | SI = 1 | | | No = 0 | | NO | |
| Relación de dimensiones RD= (Dim máx / dim mín) *10 | | | Dim máx | Dim mín | Relación | Consideraciones | | | |
| | | | 90 | 2 | 450 | RD >= 100 = 1 | RD < 100 = 0 | 1 | |
| Relación de esbeltez E= A/V | | | Área a mecanizar | Volumen pz | Relación | Consideraciones | | | |
| | | | 4712.39 | 11780.97 | 0.40000017 | E >= 1 = 1 | E < 1 = 0 | 0 | |
| Relación radio máx-mín Rel = radio máx / radio mín | | | Radio máx | Radio mín | Relación | Consideraciones | | | |
| | | | 22.5 | 5 | 4.5 | Rel >= 1 = 1.5 | Rel < 1.5 = 0 | 1 | |
| Volumen de la pieza en bruto VB= Lx*Ly*Lz # viruta = VB - Vf | | | Volumen inicial | | | Volumen final | | | |
| | | | 96000 | | | 75600 | | 1 | |
| | | | # viruta >= Vf =1 | # viruta < Vf = 0 | # viruta = | | 75600 | | |
| Especificación Técnica | | | | | | | | | |
| | | | #Tolerancias | Dims total | Relación | Consideraciones | | | |
| Tolerancia geométrica TG = # Tol dim/ # dim total | | | 0 | 15 | 0 | TG > 0 = 1 | TG = 0 = 0 | 0 | |
| Tolerancia de ubicación TU = # Tol geo/ # dim total | | | 0 | 15 | 0 | TU > 0 = 1 | TU = 0 = 0 | 0 | |
| Acabado superficial AS = # Tol ubi/ # dim total | | | 0 | 15 | 0 | AS > 0 = 1 | AS = 0 = 0 | 0 | |
| Tolerancias dimensionales | | | | | | | | | |
| | | | Dimensiones enteras | Dimensiones con decimales | Dimensiones con centésimas | Dimensiones con milésimas | | | |
| Tolerancias dimensionales | | | IL = 0 | IL = 0.25 | IL = 0.5 | IL = 1 | | 0.25 | |
| | | | 0 | 0.25 | 0 | 0 | | | |
| TOTAL = | | | | | | | | 4.25 | |
| No Sustentable | | | | | | | | | |

Figura 19 LVS versión Beta 2 evaluando soporte para audifonos de Prueba piloto 1

A partir de la presentación final se observó que el 25% del alumnado logró relacionar acertadamente los indicadores sustentables para crear su producto amigable con el medio ambiente, el 50% los relaciono de manera parcial y el 25% restante no encontró relación entre el diseño y los indicadores.

Hasta este punto de la investigación se decidió aplicar nuevamente el Método para incorporar las aportaciones del alumnado y considerar criterios de manufactura, dado que se planeaba cambiar de modalidad virtual a modalidad presencial, así, lograr una mayor interpretación y estudio de los nuevos indicadores sustentables.

4.3 EVALUACIÓN DE HERRAMIENTA DIDÁCTICA

Previo a aplicar el MDS en la asignatura de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora en el semestre 2022-2 se decidió evaluar una de las herramientas didácticas que se usan en el curso en la modalidad presencial, la realización de una práctica de manufactura avanzada, en la cual se fabrica una guitarra a escala de aluminio, véase figura 20 y 21.



Figura 20 Pieza herramienta didáctica 2022-2

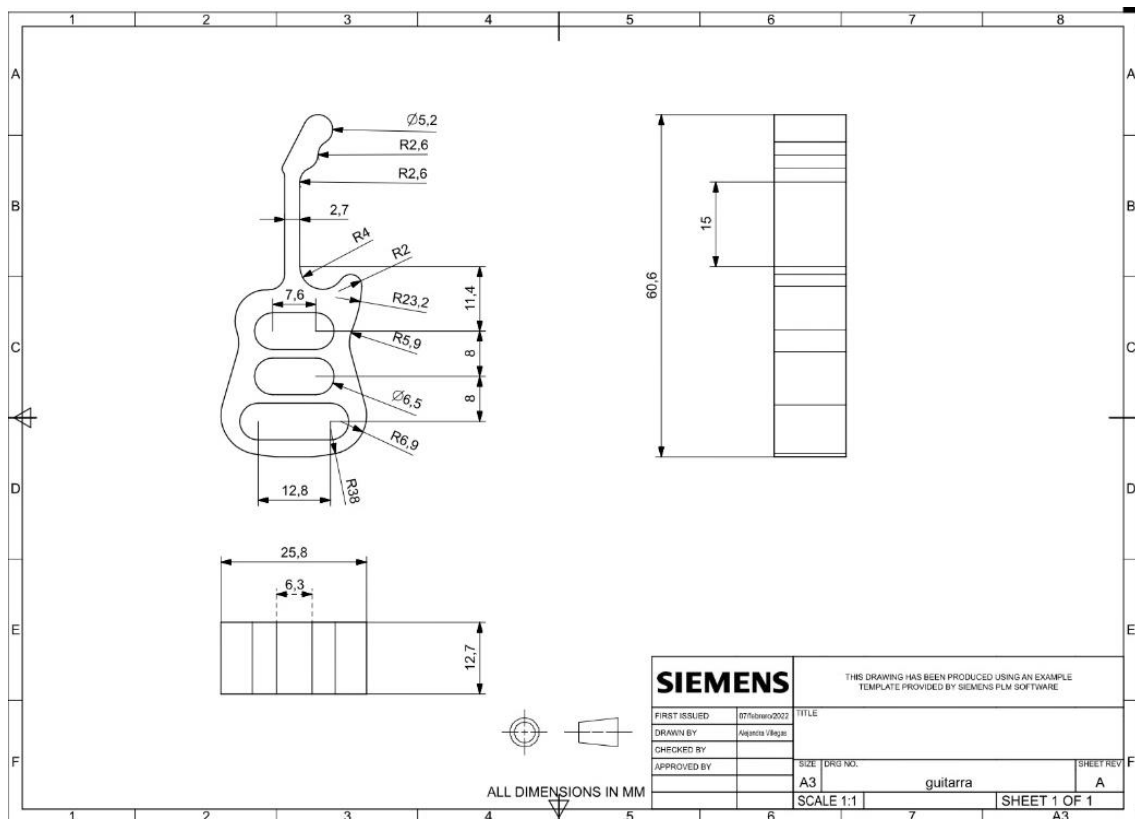


Figura 21 Plano de herramienta didáctica 2022-2

Los resultados de la Lista de Verificación de Sustentabilidad en su versión beta 3 al evaluar el diseño de la guitarra arrojaron que se encontraba en el nivel 4 de sustentabilidad, por el puntaje obtenido 4.71, véase figura 22.

| Evaluación de diseños manufacturados por arranque de viruta. | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| Desarrollado por Alejandra Villegas V. | | | | | | | | | | |
| P R E L I M I N A R | Materia prima: Metales | | Material: Aluminio | | Emisión: 13 | | PUNTAJÓN | | | |
| | Protección Corrosiva | | Color: Amarillo | | Emisión: 8.2966 | | 0.0004 | | | |
| D E T A L L E D E L D I S E Ñ O | Espesor: | 1.17 | Se recomienda usar: | SOLERA | Medidas estándar | PLACA | SOLERA | | | |
| | | | | | | 4.8 | 3.2 | | | |
| | PARÁMETROS GEOMETRICOS | | | Consideraciones | | | Respuesta | | | |
| | Radio de curvatura | | | SI = 1 | | No = 0 | | SI | | |
| | Accesibilidad geométrica | | | SI = 1 | | No = 0 | | SI | | |
| | Relación de dimensiones RD = (Dim máx / dim mín) * 10 | | | Dim máx | Dim mín | Relación (RD) | | Consideraciones | | |
| | | | | 60.6 | 12.7 | 47.71653543 | | RD >= 100 = 1 | RD < 100 = 0 | |
| | Relación radio máx-mín Rel = radio máx / radio mín | | | Radio máx | Radio mín | Relación | | Consideraciones | | |
| | | | | 38 | 2.6 | 14.61538462 | | Rel >= 1 = 1.5 | Rel < 1.5 = 0 | |
| | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA | | | # Tolerancias | Dims total | Relación | | Consideraciones | | |
| | Tolerancia geométrica TG = # Tol dim / # dim total | | | 0 | 21 | 0 | | TG > 0 = 1 | TG = 0 = 0 | |
| | Tolerancia de ubicación TU = # Tol geo / # dim total | | | 0 | 21 | 0 | | TU > 0 = 1 | TU = 0 = 0 | |
| | Acabado superficial AS = # Tol ubi / # dim total | | | 0 | 21 | 0 | | AS > 0 = 1 | AS = 0 = 0 | |
| | TOLERANCIAS DIMENSIONALES | | | Dimensiones enteras | | Dimensiones con decimales | | Dimensiones con centésimas | Dimensiones con milésimas | |
| | | | IL = 0 | | IL = 0.25 | | IL = 0.5 | IL = 1 | | |
| | | | 0 | | 0.25 | | 0 | 0 | | |
| M P A R E N E U L I F A M C I T N U A R | Volumen inicial de la pieza | | Vi | Vf | # viruta | | Consideraciones | | | |
| | # viruta = Vi - Vf | | 104775 | 16181.1046 | 88593.8954 | | # viruta >= Vf = 1 | # viruta < Vf = 0 | | |
| | Relacion de esbeltez E = A/V | | Área a mec. | Volumen pz | Relación | | Consideraciones | | | |
| | | 460.6727 | 16181.1046 | 0.028469793 | | E >= 1 = 1 | E < 1 = 0 | | | |
| Vida util del coolant | | Tc (s) | Tinactiva (s) | T coolant (s) | CEF oil | Consideraciones | | | | |
| CE = ((tc+tinact)/tcollant)*(Ceoil) | | 2100 | 5100 | 5184000 | 2.85 | CE < 1 = 0 | | CE coolant | | |
| | | | | | | CE > 1 = 1 | | 0.003958333 | | |
| TOTAL = | | | | | | | 4.7101 | | | |
| No Sustentable | | | | | | | | | | |

Figura 22 LVS versión Beta 3 evaluando Herramienta Didáctica

Dados los resultados se hacen las siguientes recomendaciones para el diseño de la guitarra:

- Disminuir las dimensiones en la placa inicial de materia prima.
- Evitar radios convexos en el diseño.
- Evitar cavidades profundas
- Evitar dentro de lo posible diferencias entre radios del diseño

Los resultados del presente caso de estudio indican que se siguen utilizando herramientas didácticas que muestran conceptos de ingeniería, pero no necesariamente consideran el concepto de sustentabilidad.

En virtud de lo anterior se confirma la necesidad de contar con método que permita la integración transversal del concepto de sustentabilidad.

4.4 PRUEBA PILOTO 2

Se implementó la segunda prueba Piloto del MDS en la materia de Diseño y manufactura asistida por computadora en el semestre 2022-2, modalidad presencial, en las licenciaturas de ingeniería mecánica y mecatrónica.

Cumpliendo con la actividad A1 Analizar conceptos del MDS, véase figura 2, se llevó a cabo una plática sobre la propuesta de implementación de diseño sustentable en el área de diseño y manufactura, así mismo, se les compartió información acerca de los factores ambientales que se proponen en la LVS en su versión beta 4.

Para la actividad A2 Incorporar prácticas sustentables, se implementó la antes mencionada LVS en su versión beta 4, durante el proyecto “*Sensor Shield*”, el cual, consiste en el diseño de una carcasa para proteger x sensor contando con los siguientes requerimientos y especificaciones;

Tabla 6 Requerimientos y especificaciones “Sensor Shield”

| Requerimientos | Especificaciones |
|---------------------------|---|
| Bajo costo | Máximo \$250 |
| Medida exacta | Tamaño 93*19*3 (mm) |
| Durabilidad | 5 años |
| Resistencia | Soporta a impactos |
| Compatibilidad geométrica | Compatible con entrada SD |
| Protección al polvo | Normativa IP60 |
| Sustentabilidad | Por debajo del 4to nivel de sustentabilidad en la LVS |
| Tolerancia dimensional | +0+1 (mm) |

Para cumplir con la actividad A3, Diseñar productos sustentables; se presenta el diseño a evaluar, véase figura 23 y 24, como ya se mencionó anteriormente la sustentabilidad fue uno de los principales requerimientos del diseño.

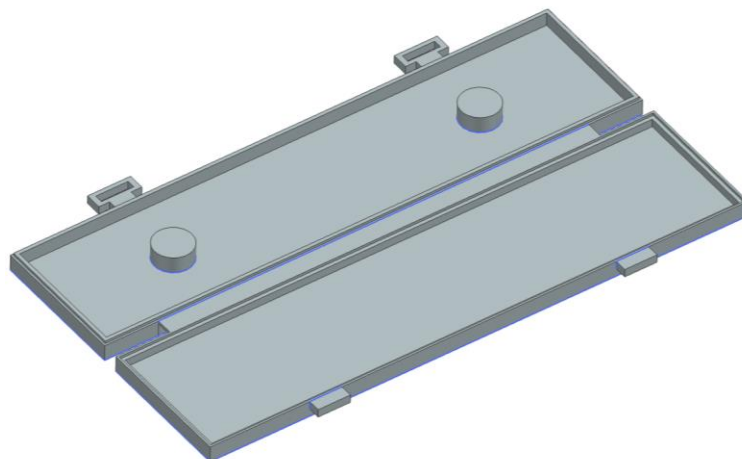


Figura 23 Diseño de Carcasa “Sensor Shield”

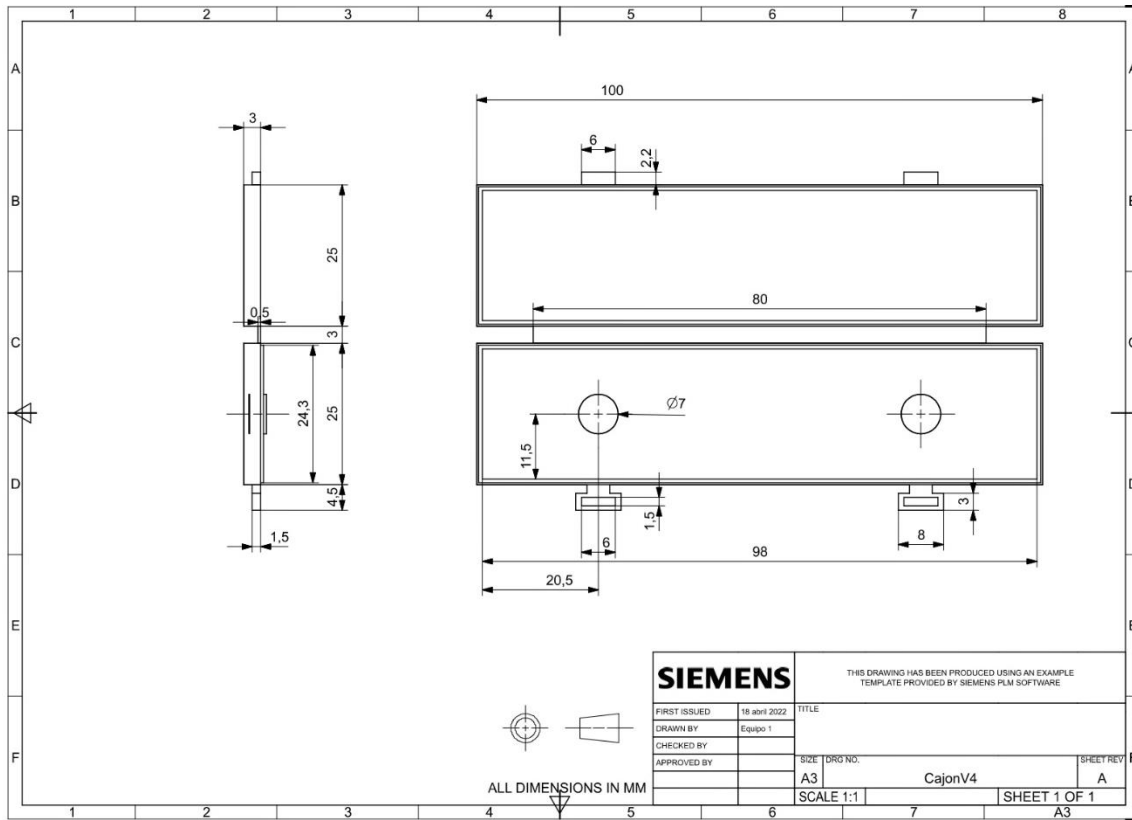


Figura 24 Plano de diseño de Carcasa "Sensor Shield"

Para realizar el producto y cumplir con la actividad A4 Manufacturar Productos Sustentables, se requirió del proceso de inyección de plástico, por lo tanto, se necesitó evaluar la factibilidad que tiene una pieza de ser fabricada por medio del proceso de inyección de plástico, donde solo se consideró la geometría y la fabricación de un molde prototipo.

La pieza plástica fue evaluada con los criterios; Diseño Preliminar y Detalle del Diseño, mientras que el molde prototipo se evaluó con el criterio de Manufactura preliminar, dada la naturaleza del proceso de producción de cada uno, véase figura 25 y 26.

| Evaluación de diseños manufacturados por arranque de viruta. | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|-----------|---------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------|--------|
| Desarrollado por Alejandra Villegas V. | | | | | | | | |
| P R E L I M I N A R | Materia prima: | Polímeros | Material: | Polipropileno (PP) | Emisión: | 3.1 | PUNTAJACIÓN | 0.1348 |
| | Protección Corrosiva | | Color: | Azúl | Emisión: | 10.1166 | | 0.5605 |
| D E T A L L E | PARÁMETROS GEOMETRICOS | | Consideraciones | | Respuesta | | | |
| | Radio de curvatura | SI = 1 | No = 0 | NO | | | 0 | |
| | Accesibilidad geométrica | SI = 1 | No = 0 | NO | | | 0 | |
| | Relación de dimensiones | Dim máx | Dim mín | Relación (RD) | Consideraciones | | | |
| | RD= (Dim máx / dim mín) | 99 | 2 | 49.5 | Si RD tiende a infinito = 1 | Si RD tiende a 1 = 0 | 1 | |
| | Relación radio máx-mín | Radio máx | Radio mín | Relación | Consideraciones | | | |
| | Rel = radio máx / radio mín | 1 | 1 | 1 | Si Rel tiende a infinito = 1 | Si Rel tiende a 1 = 0 | 0 | |
| | TOLERANCIAS Y RECUBRIMIENTOS | | Consideraciones | | Respuesta | | | |
| | Tolerancia geométrica | | NO = 0 | SI | | | 1 | |
| | Tolerancia de ubicación | SI = 1 | NO = 0 | NO | | | 0 | |
| Recubrimientos | SI = 1 | NO = 0 | NO | | | 0 | | |
| D I S E Ñ O | TOLERANCIAS DIMENSIONALES | | Dimensiones enteras | Dimensiones con decimales | Dimensiones con centésimas | Dimensiones con milésimas | | |
| | | IL = 0 | IL = 0.25 | IL = 0.5 | IL = 1 | | | |
| | | 0 | 0.25 | 0 | 0 | 0.25 | | |

Figura 25 Parte 1 de Lista de Verificación de Sustentabilidad versión Beta 4 evaluando pieza plástica de carcasa Sensor Shield equipo 1.

| | | | | | | | |
|---|--|-------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------|
| M P A R A N E L U L F A M C I T N A R | Viruta de la pieza | Vi | Vf | # viruta | Consideraciones | | |
| | # viruta = Vi - Vf | 104775 | 7425 | 97350 | # viruta >= Vf = 1 | # viruta < Vf = 0 | 1 |
| | Relacion de esbeltez | Área a mec. | Volumen pz | Relación | Consideraciones | | |
| | E= A/V | 2475 | 7425 | 0.333333333 | E >= 1 = 1 | E < 1 = 0 | 0 |
| | Vida útil del fluido de corte (solvente) | Tc (s) | T inactiva (s) | T solvente (s) | CEF oil | Consideraciones | |
| CE=((tc+tinact)/tsolvente)*(Ceoil) | 3600 | 86400 | 5184000 | 2.85 | CE < 1 = 0 | CE solvente | 0 |
| | | | | | CE > 1 = 1 | 0.049479167 | |
| | | | | | TOTAL = | 3.9453 | |
| | | | | | | | Sustentable |

Figura 26 Parte 2 de Lista de Verificación de Sustentabilidad versión Beta 4 evaluando molde prototipo para obtener carcasa Sensor Shield equipo 1.

La Lista de Verificación de Sustentabilidad beta 4 se compone de 13 métricas, sin embargo, para diseñadores principiantes se observó que no era sencillo interpretar la influencia de las métricas en los diseños, por lo que se vio la necesidad de localizar algún gráfico que permitiera establecer claramente la influencia de cada uno de las métricas para evaluar de mejor manera los diseños conceptuales.

Por lo tanto, se implementó un gráfico radial, el cual facilita la observación de incidencias de las métricas sobre los diseños, cubriendo la actividad A5 del MDS, véase figura 27.

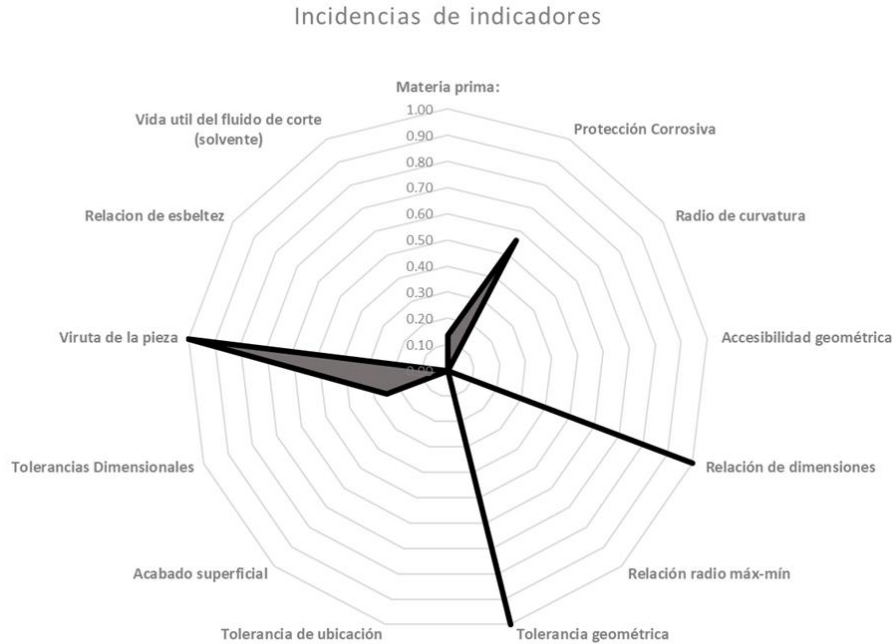


Figura 27 Gráfico Radial Evaluación Sustentable de Sensor Shield

En el gráfico se observan 3 factores de mayor afectación al diseño; Relación de dimensiones, Tolerancia Geométrica y Viruta de la pieza, ya que, son aquellos indicadores en donde la carcasa tuvo mayor incidencia.

La relación de dimensiones crea incidencia en el diseño debido a su dimensión tan pequeña, en el caso de la Tolerancia geométrica es debido al ensamble indicado en su plano. Y en el caso de la Viruta de la pieza, se crea incidencia en el diseño a causa de la materia prima, ya que al manufacturar el molde prototipo, la materia prima cuenta con un volumen inicial alto en comparación del volumen final del molde prototipo.

Los resultados de la evaluación indican que la carcasa cumple con el requerimiento de Sustentabilidad, siendo que, la carcasa se encuentra en el 3er nivel de sustentabilidad obteniendo una puntuación de 3.9, por debajo del 4to nivel permisible en la LVS.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS

5.1 RESULTADOS

En la prueba piloto 1, se observó que el 25% del alumnado logró relacionar acertadamente los indicadores sustentables para crear su producto amigable con el medio ambiente, el 50% los relaciono de manera parcial y el 25% restante no encontró relación entre el diseño y los indicadores.

La conciencia ambiental en esta primera prueba, fue mínima, debido a las condiciones propias de clases vía remota.

Por otro lado, en la prueba piloto 2 se registró un cambio en el alumnado, ya que, el 100% logró relacionar acertadamente tanto los criterios como los indicadores de sustentabilidad, aunque solo el 15% logró explicar concretamente las incidencias de los indicadores sobre su diseño. Dando por entendido que se creó satisfactoriamente uno de los objetivos del presente trabajo; conciencia ambiental.

Dentro de la prueba piloto 2 se originaron comentarios referentes a la simpleza de la herramienta didáctica, expresando lo sencillo que les parecía la evaluación de los diseños, asimismo, declararon no considerar este punto de vista en lo absoluto, ya que en ninguna parte de la curricula se había visto de esta manera.

Es alentador que al 100% del alumnado participante le haya parecido interesante implementar el punto de vista de sustentabilidad en las áreas de diseño y manufactura.

5.2 CONCLUSIONES

Se propuso un nuevo método de enseñanza para generar conciencia ambiental por medio de Diseño Sustentable, dicho método está basado en el modelo ADDIE y módulos de aprendizaje, y donde se desarrollaron trece métricas sustentables, divididas en seis factores ambientales, que a su vez se clasifican en tres criterios de sustentabilidad, centrados en la evaluación del impacto de la manufactura de un producto al medio ambiente, considerando las emisiones de CO₂ equivalentes.

El Método Diseño Sustentable (MDS) se implementó en la materia de Diseño y manufactura asistidos por computadora en los semestres 2022-1 y 2022-2 de las licenciaturas Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, es alentador observar que han sido positivas las impresiones del estudiantado, al lograr incorporar el MDS a través del uso de factores ambientales durante el proceso de diseño de productos.

Se identificaron desafíos como contar con herramientas didácticas (ejemplos de manufactura) que cumplan las condiciones de sustentabilidad, así como, desarrollar casos de estudio que contribuyan a reforzar la conciencia ambiental entre el alumnado.

El MDS debe ser aplicado continuamente ya que se necesita visibilidad por parte de los actores de la enseñanza alumno/académico siendo ellos en mayor medida de quien depende la adopción del método.

Es preciso reconocer los diversos retos que se presentaron al implementar el MDS ya que el alumnado contaba con conocimiento previo sobre procesos de diseño y al presentar nuevo método de diseño los alumnos se confundían, sin embargo, al desarrollar diversos ejemplos del uso de las métricas sustentables las ideas se alineaban y concordaban unas con otras.

5.3 TRABAJOS A FUTURO

Como trabajo a futuro, se buscará automatizar la herramienta didáctica desarrollada, e implementarla en algún software de diseño asistido por computadora (CAD) con el fin de usarlo en el dibujo, diseño y modelado en 2D y 3D.

Por otro lado, se buscará desarrollar métricas que se puedan usar en procesos de manufactura diferentes al arranque de viruta.

Al igual que se desarrollarán más casos de estudio, los cuales, permitan incorporarse en las materias de ingeniería mecánica, ingeniería mecatrónica e ingeniería industrial, evaluando desde diferentes puntos de vista.

REFERENCIAS

- Anon. (1973). Dimensioning and Tolerancing. *ANSI Stand*, 1994(Y14, 5). <https://doi.org/10.3139/9781569908167.017>
- Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de educación Superior, A. (2001). *Plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior*. XXXIX(154), 111–132.
- Aware Nations. (2021). *Sustentabilidad: Bicimaquinas que hacen zumos o lavan ropa sin electricidad – Aware Nations*. <https://awarenations.com/es/sustentabilidad-bicimaquinas-que-hacen-zumos-o-lavan-ropa-sin-electricidad/>
- Bell, D. D., Chou, J., Nowag, L., & Liang, S. Y. (2008). Modeling of the environmental effect of cutting fluid. *Tribology Transactions*, 26(1), 911–922. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0812-4>
- Bicimaquinas.com. (2019). *Bicimaquinas*. <http://bicimaquinas.com/>
- Brundtland GH. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo: “Nuestro Futuro común.”*
- Carew, A. L., & Mitchell, C. A. (2008). Teaching sustainability as a contested concept: capitalizing on variation in engineering educators’ conceptions of environmental, social and economic sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 16(1), 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.11.004>
- Cebrián, G., Grace, M., & Humphris, D. (2015). Academic staff engagement in education for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 106, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.010>
- Díaz del Castillo, F. (2008). *Tolerancias geométricas*. [http://www.aragon.unam.mx/investigacion/CIMA/Eventos/Memoria7/Enrique Cruz Garcia.pdf](http://www.aragon.unam.mx/investigacion/CIMA/Eventos/Memoria7/Enrique_Cruz_Garcia.pdf)
- Eastwood, M. D., & Haapala, K. R. (2015). A unit process model based methodology to assist product sustainability assessment during design for manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 108, 54–64. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.08.105>
- Fiskel, J. and Fiskel, J. (1996). *Design for Environment*. McGraw Hill.
- Frax, J. (2022). *Frax Desing*. [http://joelfrax.com/disenio/proceso de disenio.html](http://joelfrax.com/disenio/proceso%20de%20disenio.html)
- Fukushima, Y., Ishimura, G., Komasinski, A. J., Omoto, R., & Managi, S. (2017). Education and capacity building with research: a possible case for Future Earth. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 18(2), 263–276. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2015-0170>
- Grimaldi, D. A., & Engel, M. S. (2007). Why descriptive science still matters. In *BioScience* (Vol. 57, Issue 8, pp. 646–647). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1641/B570802>

- Hinojos, S. (2009). *Acabados superficiales, tipos y superficies*. Metrología Avanzada. <https://www.monografias.com/trabajos70/acabados-superficiales-tipos-superficiales/acabados-superficiales-tipos-superficiales2.shtml>
- Hsu, C. C., Tan, K. C., Zailani, S. H. M., & Jayaraman, V. (2013). Supply chain drivers that foster the development of green initiatives in an emerging economy. *International Journal of Operations and Production Management*, 33(6), 656–688. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2011-0401>
- Indicadores Ambientales 2011*. (n.d.). Retrieved July 1, 2022, from https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_2011/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual.html
- Instituto., M. H. (2016). *Tolerancias dimensionales*. Campus de La Fabricación Avanzada y Digital. <https://www.imh.eus/es/imh/comunicacion/docu-libre/medicion-tridimensional/resultados/tolerancias/dimensionales>
- Jackson, S. A., Gopalakrishna-Remani, V., Mishra, R., & Napier, R. (2016). Examining the impact of design for environment and the mediating effect of quality management innovation on firm performance. *International Journal of Production Economics*, 173, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.12.009>
- Kerbrat, O., Mognol, P., & Hascoet, J. Y. (2008). Manufacturing complexity evaluation for additive and subtractive processes: Application to hybrid modular tooling. *19th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, SFF 2008, January 2015*, 519–530.
- Kerbrat, Olivier, Mognol, P., & Hascoet, J. Y. (2010). Manufacturability analysis to combine additive and subtractive processes. *Rapid Prototyping Journal*, 16(1), 63–72. <https://doi.org/10.1108/13552541011011721>
- Koltun, P. (2008). Materials and sustainable development. In *Progress in Natural Science: Materials International* (Vol. 20, Issue 1). [https://doi.org/10.1016/s1002-0071\(12\)60002-1](https://doi.org/10.1016/s1002-0071(12)60002-1)
- Korosec, M., Balic, J., & Kopac, J. (2005). Neural network based manufacturability evaluation of free form machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(1), 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.06.022>
- Kremer Gul E, Haapala K, Murat A, Badu R, Kyoung-yun, M. L. & L. T. (2016). Directions for Instilling Economic and Environmental Sustainability Across Product Supply Chains. *J. Cleaner Prod*, 112(3), pp. 2066–2078.
- Li, C., Tang, Y., Cui, L., & Li, P. (2015). A quantitative approach to analyze carbon emissions of CNC-based machining systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(5), 911–922. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0812-4>
- Martinez, J. S. G. (2005). Métodos de Modelado IDEF0 e IDEF3 y uso Básico del Programa BPWin. *CFE, Comisión Federal de Electricidad*, 68.
- Mayer, R. M. (1993). *Materiales y técnicas del arte* (2005 Ediciones AKAL (Ed.); ilustrada). <https://www.pinturayartistas.com/materiales-y-tecnicas-del-arte-por-ralph-mayer/>
- Metaportal de Arquitectura, I. y C. (2019). *Pintura | Construpedia, enciclopedia construcción*.

<https://www.construmatica.com/construpedia/Pintura>

Métricas e índices de sostenibilidad – HiSoUR Arte Cultura Historia. (n.d.). Retrieved June 30, 2022, from <https://www.hisour.com/es/sustainability-metrics-and-indices-40041/>

México | SIODS | Sistema de Información de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. (n.d.). Retrieved October 20, 2022, from <https://agenda2030.mx/#/home>

Michael, J. (2006). Where's the evidence that active learning works? In *American Journal of Physiology - Advances in Physiology Education* (Vol. 30, Issue 4, pp. 159–167). American Physiological Society. <https://doi.org/10.1152/advan.00053.2006>

Nieto, A. (2018). *Los Refrigerantes y sus Propiedades*. REFRIGERANTES. <https://www.mundohvacr.com.mx/2007/02/los-refrigerantes-y-sus-propiedades/>

ONU. (2015). Memoria del Secretario General sobre la labor de la Organización. *Naciones Unidas*, 1(1), 1–88.

Ortega, J. J. (1965). *La pintura como material de ingeniería civil*. 18, 13.

Ottman, J. (2017). *The New Rules of Green Marketing: Strategies, tools, and inspiration for Sustainable Branding*, Routledge. Oxfordshire. https://es.scribd.com/book/134856632/The-New-Rules-of-Green-Marketing-Strategies-Tools-and-Inspiration-for-Sustainable-Branding?utm_medium=cpc&utm_source=google_search&utm_campaign=3Q_Google_DSA_NB_All_Spanish&utm_device=c&gclid=Cj0KCQiAkNiMBhCxARIsAIDDKN

Pacto Global Red México. (n.d.). *¿Por qué y cómo adherirse? – Pacto Mundial México*. Retrieved May 20, 2021, from https://www.pactomundial.org.mx/por-que-adherirse/?creative=457848789313&keyword=sustentable&matchtype=b&network=g&device=c&gclid=CjwKCAjw3pWDBhB3EiwAV1c5rGRtP4hwSCLKuZNGoqsDG1KnyHXN6R4Iobbd7e-oNFMrMgiP66bRrxoCmiQQAvD_BwE

Pérez-Foguet, A., & Lazzarini, B. (2019). Continuing professional education in engineering faculties: Transversal integration of sustainable human development in basic engineering sciences courses. *Journal of Cleaner Production*, 218, 772–781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.054>

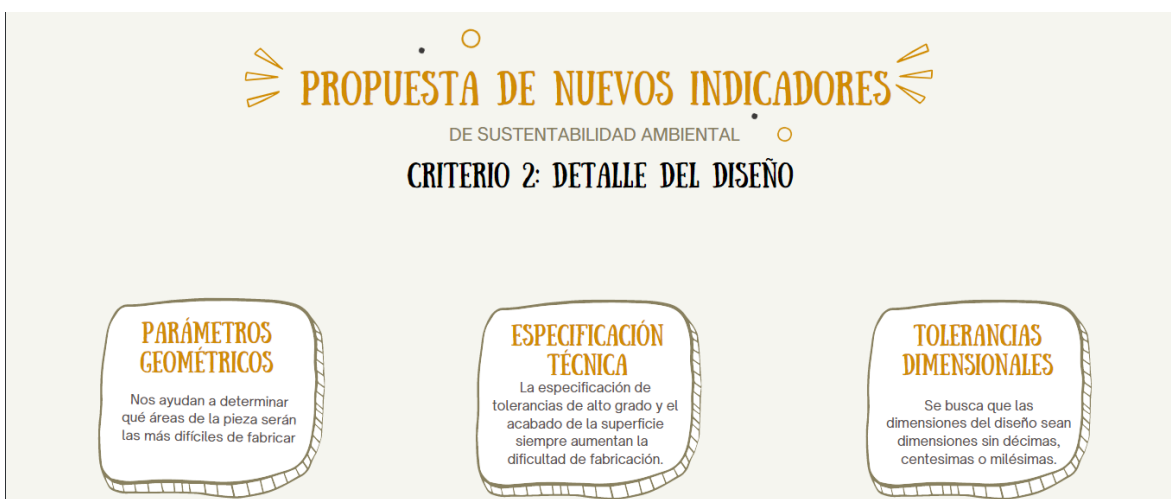
Prevedouros P D, M. L. and Z. G. (2018). Undergraduate Courses and Senior Year Track on Sustainability in Civil Engineering. *International Conference on Transportation and Development*, 213–222.

Raoufi, K., Manoharan, S., & Haapala, K. R. (2019). Synergizing Product Design Information and Unit Manufacturing Process Analysis to Support Sustainable Engineering Education. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 141(2), 1–13. <https://doi.org/10.1115/1.4042077>

Raoufi, K., Park, K., Hasan Khan, M. T., Haapala, K. R., Psenka, C. E., Jackson, K. L., Okudan Kremer, G. E., & Kim, K. Y. (2019). A cyberlearning platform for enhancing undergraduate engineering education in sustainable product design. *Journal of Cleaner Production*, 211, 730–741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.085>

- Reiser, R. A., and Dempsey, J. A. (2002). Trends and Issues in Instructional Design and Technology. In *Pearson Education* (Issue Saddle River). Pearson Education.
- Sammalisto, K., Sundström, A., & Holm, T. (2015). Implementation of sustainability in universities as perceived by faculty and staff - A model from a Swedish university. *Journal of Cleaner Production*, *106*, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.015>
- Seels, B. (1995). *Instructional Design Fundamentals: A Reconsideration, Educational Technology*.
- Sengupta, D., Huang, Y., Davidson, C. I., Edgar, T. F., Eden, M. R., & El-Halwagi, M. M. (2017). Using module-based learning methods to introduce sustainable manufacturing in engineering curriculum. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *18*(3), 307–328. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2015-0100>
- Totenart. (n.d.). *Pigmentos: Todo sobre el pigmento para pintura - Noticias de Arte Totenart*. Enero 2016. Retrieved May 27, 2021, from <https://totenart.com/noticias/que-es-el-color-pigmento/>
- United Nations Climate Change. (n.d.-a). *¿Qué es el Acuerdo de París? | CMNUCC*. Retrieved May 20, 2021, from <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>
- United Nations Climate Change. (n.d.-b). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto? | CMNUCC*. Retrieved May 20, 2021, from https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- Universitat D Valencia. (2013). *Recursos Tecnologicos: TIC*. Consuelo Belloch, U.V. <https://www.uv.es/bellohc/pedagogia/EVA4.wiki?7>
- USDOC. (2015). *How Does Commerce Define Sustainable Manufacturing?* US Department of Commerce. www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how_doc_defines_SM.asp
- Voelcker, H. B. (1998). The current state of affairs in dimensional tolerancing: 1997. *Integrated Manufacturing Systems*, *9*(4), 205–217. <https://doi.org/10.1108/09576069810217793>
- Zhang, H., Amodio, J. C., & Haapala, K. R. (2015). Establishing foundational concepts for sustainable manufacturing systems assessment through systems thinking. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, *2*(3), 249. <https://doi.org/10.1504/ijseam.2015.072124>
- Zwickle, A., Koontz, T. M., Slagle, K. M., & Bruskotter, J. T. (2014). Assessing sustainability knowledge of a student population: Developing a tool to measure knowledge in the environmental, Economic and social domains. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *15*(4), 375–389. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-01-2013-0008>

APÉNDICE A – PRESENTACIONES



PROPUESTA DE NUEVOS INDICADORES

DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

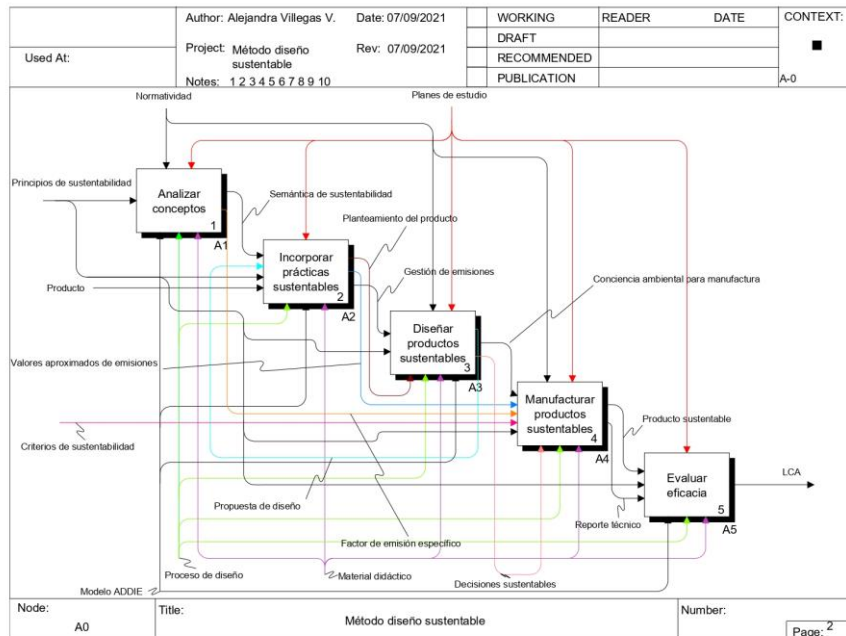
CRITERIO 3: MANUFACTURA PRELIMINAR

MANUFACTURA

Recomendaciones acerca de los volúmenes de la pieza, vida útil del refrigerante en la manufactura y relación en la manufactura y relación en esbeltez.

APÉNDICE B – COMPONENTES DE LISTA DE VERIFICACIÓN DE SUSTENTABILIDAD

Actividades del Método Diseño Sustentable




Propósito: Propuesta de un método de enseñanza para introducir la fabricación sostenible, mediante el Diseño Sustentable en el plan de estudios de Ingeniería Mecánica

Punto de vista: Ingenieril en conjunto con la manufactura sustentable.

Introducción a la sustentabilidad

SUSTENTABILIDAD:
Se define como la creación de productos manufacturados que utilizan procesos que son amigables al ambiente y a los recursos naturales, y son económicamente sólidos y seguros para los empleados, las comunidades y los consumidores (USDOC, 2019).



SOSTENIBLE:
Se refiere al desarrollo o evaluación que es compatible con los recursos de que dispone una región, una sociedad, si bien se dice que es el proceso que puede mantenerse por sí mismo, sin ayuda de otro.

DIFERENCIA ENTRE SOSTENIBILIDAD Y SUSTENTABILIDAD:
Lo sustentable se aplica a la argumentación para explicar razones o defender el proceso del desarrollo cuidando consumidores, empleados y comunidades, en tanto que lo sostenible es lo que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos.

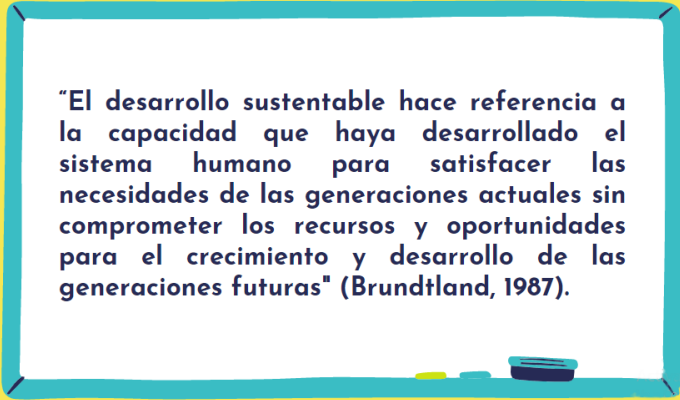


PÁGINA 2 PÁGINA 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DESARROLLO SUSTENTABLE

"El desarrollo sustentable hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras" (Brundtland, 1987).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

¿Qué puede hacer un ingeniero/a para ayudar en el desarrollo sustentable?

PÁGINA 10

PROPUESTA DE NUEVOS INDICADORES SUSTENTABLES

Alejandra Villegas Villaseñor

Los indicadores de sustentabilidad ambiental son instrumentos que evalúan la incidencia de los procesos productivos sobre el medio ambiente.
(D. Cristina, 2020)



INSTRUCCIONES

Pasos propuestos para evaluar la sustentabilidad de componentes.

| | |
|----------------|--|
| Paso 1 | Localiza el primer criterio; diseño preliminar. |
| Paso 2 | Despliega la pestaña de la celda D5 y selecciona la materia prima del diseño a evaluar; Metal o polímero. |
| Paso 3 | Despliega la pestaña de la celda G5 y selecciona el material del diseño a evaluar. |
| Paso 4 | Despliega la pestaña de la celda G7 y selecciona el color del pigmento para la protección anticorrosiva del diseño a evaluar. |
| Paso 5 | Localiza el segundo criterio; Detalle del diseño. |
| Paso 6 | Situate en C8 y coloca el espesor del diseño a evaluar, a continuación F8 te dirá si se recomienda usar Placa o Solera para la manufactura del diseño. Despliega las pestañas de las celdas I9 y J9, ahí encontraras las medidas estandar de Placas y Soleras respectivamente. |
| Paso 7 | Despliega la pestaña de la celda J11 y responde a la siguiente pregunta; ¿El diseño a evaluar cuenta con radios convexos o concavos difíciles de acceder con una herramienta convencional? |
| Paso 8 | Despliega la pestaña de la celda J12 y responde a la siguiente pregunta; ¿El diseño a evaluar cuenta con cavidades profundas? |
| Paso 9 | En la celda E14 coloca la dimensión máxima del diseño a evaluar. |
| Paso 10 | En la celda F14 coloca la dimensión mínima del diseño a evaluar. |
| Paso 11 | En la celda E16 coloca el radio máximo del diseño a evaluar. |
| Paso 12 | En la celda F16 coloca el radio mínimo del diseño a evaluar. |
| Paso 13 | Despliega la pestaña de la celda J19 y responde a la siguiente pregunta; ¿El diseño a evaluar cuenta con tolerancias geométricas? |
| Paso 14 | Despliega la pestaña de la celda J21 y responde a la siguiente pregunta; ¿El diseño a evaluar cuenta con tolerancias de ubicación? |
| Paso 15 | Despliega la pestaña de la celda J23 y responde a la siguiente pregunta; ¿El diseño a evaluar cuenta con acabado superficial? |
| Paso 16 | Despliega la pestaña de la celda F26 y elige la opción 0 si tu diseño cuenta con dimensiones enteras. |
| Paso 17 | Despliega la pestaña de la celda H26 y elige la opción 0.25 si tu diseño cuenta con dimensiones con decimales o 0 si no cuenta con ellas. |
| Paso 18 | Despliega la pestaña de la celda I26 y elige la opción 0.5 si tu diseño cuenta con dimensiones con centésimas o 0 si no cuenta con ellas. |
| Paso 19 | Despliega la pestaña de la celda J26 y elige la opción 1 si tu diseño cuenta con dimensiones con milésimas o 0 si no cuenta con ellas. |
| Paso 20 | Localiza el tercer criterio; Manufactura Preliminar. |
| Paso 21 | En la celda E29 coloca el volumen inicial del diseño a evaluar, es decir, el volumen de la materia prima en bruto. |
| Paso 22 | En la celda F29 coloca el volumen final del diseño a evaluar, es decir, el volumen final de la pieza. |
| Paso 23 | En la celda E32 coloca el área a manufacturar del diseño a evaluar. |
| Paso 24 | En la celda F32 coloca el volumen final del diseño a evaluar, es decir, el volumen final de la pieza. |
| Paso 25 | En la celda E35 coloca el tiempo de corte en segundos, es decir, el tiempo que tardó la herramienta en hacer los cortes del diseño a evaluar. |
| Paso 26 | En la celda F35 coloca el tiempo inactivo en segundos, es decir, el tiempo que la herramienta estuvo parada sin hacer cortes. |
| Paso 27 | En la celda K36 se obtiene el valor final de la puntuación, se compara con las consideraciones centrales. |
| Paso 28 | Se compara el valor obtenido en el paso 27 y en la celda K37 aparece la evaluación final del diseño. |

Nota: Se recomienda revisar el tutorial 01 antes de contestar el Check Sustentable.



Evaluación de diseños manufacturados por arranque de viruta.

Desarrollado por Alejandra Villegas V.

| | Materia prima: | Material: | Emisión: | PUNTAJACIÓN | | |
|--|--|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| P R D E L I S I E M B L O N A R | Polímeros | Polipropileno (PP) | 3.1 | 0.1348 | | |
| | Protección Corrosiva | Color: Azul | Emisión: 10.1166 | 0.5605 | | |
| D E T A L L E | PARÁMETROS GEOMETRICOS | | | | | |
| | Consideraciones | | | Respuesta | | |
| | Radio de curvatura | SI = 1 | No = 0 | NO | | |
| | Accesibilidad geométrica | SI = 1 | No = 0 | NO | | |
| | Relación de dimensiones | Dim máx | Dim mín | Relación (RD) | | |
| | RD= (Dim máx / dim mín) | 99 | 2 | 49.5 | | |
| | Relación radio máx-mín | Radio máx | Radio mín | Relación | | |
| | Rel = radio máx / radio mín | 1 | 1 | 1 | | |
| | Consideraciones | | | Respuesta | | |
| | TOLERANCIAS Y RECUBRIMIENTOS | | | | | |
| Tolerancia geométrica | | NO = 0 | SI | | | |
| Tolerancia de ubicación | SI = 1 | NO = 0 | NO | | | |
| Recubrimientos | SI = 1 | NO = 0 | NO | | | |
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES | | | | | | |
| | Dimensiones enteras | Dimensiones con decimales | Dimensiones con centésimas | Dimensiones con milésimas | | |
| | IL = 0 | IL = 0.25 | IL = 0.5 | IL = 1 | | |
| | 0 | 0.25 | 0 | 0 | | |
| M P A N E L U R A M I R A C T I N A | Manufactura | | | | | |
| | Viruta de la pieza # viruta = Vi - Vf | Vi | Vf | # viruta | Consideraciones | |
| | | | | 0 | # viruta >= Vf = 1 # viruta < Vf = 0 | |
| | Relacion de esbeltez E= A/V | Área a mec. | Volumen pz | Relación | Consideraciones | |
| | | | 1 | 0 | E >= 1 = 1 E < 1 = 0 | |
| | Vida útil del fluido de corte (solvente) CE=((tc+tinact)/tsolvente)*(Ceoil) | Tc (s) | T inactiva (s) | T solvente (s) | CE oil | Consideraciones |
| | | | | | | CE < 1 = 0 CE > 1 = 1 |
| | | 1800 | 82600 | 5184000 | 2.85 | CE solvente 0.046400463 |
| | TOTAL = | | | | 3.9453 | |

I
n
s
t
r
u
c
c
i
o
n
e

Sustentable

NIVELES DE SUSTENTABILIDAD
Nivel mínimo = 0 puntos
Nivel máximo = 13 puntos

APÉNDICE C – CARTEL CIENTÍFICO

Implementación de diseño sustentable en el área de diseño y manufactura

Alejandra Villegas Villaseñor* / Dr. Álvaro Ayala Ruiz**

RESUMEN

Se propone un Método de enseñanza basado en el modelo ADDIE en conjunto con módulos de sustentabilidad (Sengupta et al., 2017) para introducir la fabricación sostenible en el plan de estudios de Ingeniería Mecánica en el área de diseño y manufactura.

INTRODUCCIÓN

Basado en el artículo 12 del acuerdo de París en 2015 (CMNUCC, 2015), el cual acuerda promover el libre acceso a la información, tomar medidas para mejorar la educación, la formación, y generar conciencia sobre el cambio climático.

La demanda de productos sustentables está aumentando día a día (Ottman, 2017), las empresas deben tomar decisiones conscientes con respecto a la sustentabilidad de sus productos, por ello surge la necesidad de actualizar las áreas de diseño y manufactura, las cuales ahora se ven obligadas a considerar los aspectos económicos, sociales y ambientales simultáneamente al desarrollar productos y flujos de procesos (Eastwood, M.D. y Haapala, 2015).

Para contribuir a mitigar la necesidad de actualizar las áreas de diseño y manufactura, para la integración de la academia y las empresas es de vital importancia la educación superior (Pérez-Foguet & Lazzarini, 2019), así, las Universidades deben preparar a la próxima generación de ingenieros para contribuir a la tarea de mantener y mejorar la manufactura sustentable (Raoufi et al., 2019).

En el presente trabajo, se propone la incorporación de la fabricación sustentable, así como herramientas didácticas que faciliten la enseñanza y la incorporación de la sustentabilidad en los planes de estudio (Sengupta et al., 2017) de Ingeniería Mecánica aportando una integración transversal en el área de diseño y manufactura.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA, ¿ES POSIBLE INTEGRAR EL DISEÑO SUSTENTABLE EN EL ÁREA DE DISEÑO Y MANUFACTURA?

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Incorporar la enseñanza de diseño sustentable en el área de diseño y manufactura para promover la conciencia ambiental.

Objetivos particulares

- Aplicar diseño sustentable en la fabricación de piezas mediante el proceso de fresado.
- Crear métricas de sustentabilidad para el diseño, con base en indicadores sustentables.

Objetivo de Desarrollo Sostenible:

- Adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos para asegurar un futuro más sustentable y seguro para la humanidad.



DESARROLLO

La educación en ingeniería requiere de una diversidad de métodos de enseñanza (Carew & Mitchell, 2008; Zwicke et al., 2014), en los últimos años hay una tendencia a incorporar el punto de vista de manufactura sustentable en dichos métodos educativos, aunque se han propuesto diversas estrategias, se necesita un método que aporte integración transversal, así como herramientas didácticas que faciliten la incorporación de la sustentabilidad en los planes de estudio (Zhang et al., 2015).

En el presente trabajo se propone un nuevo proceso de enseñanza para diseño sustentable con la idea de desarrollar capacidades y crear experiencias efectivas, basado en el modelo ADDIE en conjunto con módulos de sustentabilidad (Sengupta et al., 2017) implementando la fabricación sustentable en algunas materias del plan de estudios de ingeniería mecánica, específicamente en el área de diseño y manufactura (fig. 1).

A1- Analizar conceptos

En esta primera etapa del método diseño sustentable requiere que se analice el contexto global de forma sistemática y crítica, para localizar en donde se puede centrar la manufactura sustentable.

A2- Incorporar prácticas sustentables

Se debe recibir una formación tal, que los conocimientos y habilidades satisfagan los requisitos de la fabricación sustentable, desde las primeras etapas del diseño del producto. Este segundo paso se deriva de las necesidades identificadas, para tener un conjunto completo de métricas o indicadores para la fabricación sustentable (Sengupta et al., 2017). Se propone evaluar el índice de manufacturabilidad basado en los siguientes indicadores:

- Materiales
- Parámetros geométricos
- Recubrimientos, protección corrosiva
- Especificación técnica
- Tolerancia dimensional

A3- Diseñar productos sustentables

La información ya recabada y desarrollada en las dos etapas anteriores se usará para la toma de decisiones en el diseño de un producto, aplicando criterios de sustentabilidad.

A4- Manufacturar productos sustentables

Se enfoca principalmente en la manufactura del producto y en las emisiones resultantes.

A5- Evaluar eficacia

El objetivo de este apartado es medir el éxito del análisis del ciclo de vida, así como analizar los hallazgos en el mismo para mejoras en un futuro.

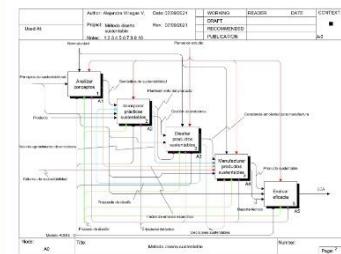


Figura 1. Contenido de Método Diseño Sustentable

RESULTADOS

Se implementó en la materia de Diseño y manufactura asistida por computadora en la modalidad virtual para el diseño de dos productos; un sujetador para cubre bocas y un soporte de audífonos. Al 100% de los alumnos les pareció interesante considerar el punto de vista de diseño sustentable.

Se les compartió información sobre el concepto de diseño sustentable, además la definición y ampliación de los indicadores de sustentabilidad. Los cuales se ilustraron y explicaron con dos ejemplos implementados en una herramienta computacional.

En el primer caso práctico, que fue el sujetador para cubre bocas se brindó apoyo completo al alumnado haciendo uso de los indicadores sustentables, explicándoles el grado de impacto en el producto y en el medio ambiente. En el segundo caso, el soporte para audífonos, la toma de decisiones sustentables fue totalmente a su consideración y libre albedrío.

El 25% del alumnado logró relacionar acertadamente los indicadores sustentables para crear su producto amigable con el medio ambiente, el otro 50% los relaciono, pero no de manera correcta y el 25% restante simplemente no encontró relación entre ellos, por lo tanto, no hizo uso de indicadores sustentables para la manufactura de su producto.

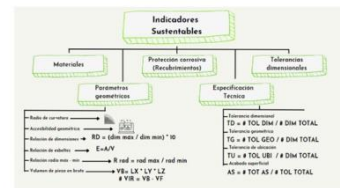


Figura 2. Contenido de indicadores sustentables

CONCLUSIONES

El tema de implementar el concepto de sustentabilidad en la carrera de Ingeniería Mecánica en específico en el área de diseño y manufactura es un tema complicado ya que involucra problemáticas sociales, intereses políticos, y ahora educativos como realizar cambios en los planes de estudio que requieren consensos colegiados, tiempo para concientizar y capacitar al profesorado.

En la búsqueda de cumplir con el objetivo de la investigación se propuso un método de enseñanza Diseño Sustentable, basado en el modelo ADDIE y en módulos educativos, dentro de dicho método se desarrollaron cinco indicadores sustentables centrados en la evaluación del impacto de la manufactura sobre el medio ambiente.

Dicho método se implementó en la materia de Diseño y manufactura asistida por computadora de la licenciatura Ingeniería Mecánica, es alentador observar que han sido positivas las impresiones de los estudiantes y que estén de acuerdo en la incorporación de los indicadores sustentables en sus diseños.

Se identificaron múltiples desafíos; la deficiencia de concientización por parte del alumnado, la falta de ilustración en los ejemplos presentados, entre otros. Se descubrió que el método necesita ser aplicado de nuevo para corregir errores, retomar retroalimentación de los estudiantes y a su vez tener mayor tiempo de exposición referente a los indicadores sustentables.

Agradecimientos
Agradecemos al CONACYT por el apoyo económico brindado durante la realización de esta investigación.

*Alumna de último semestre del programa de doctorado y maestría en Ingeniería de la Facultad de Ingeniería
**Asesor a Diseño Mecánico



Referencias

- CMNUCC. (2015). El acuerdo de París. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Eastwood, M.D. y Haapala, K. R. (2015). A unit process model based methodology to assess product sustainability assessment during design for manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 100, 54-64.
- Ottman, C. (2017). *The New Rules of Green Marketing: Strategies, tools, and inspiration for sustainable branding*. Routledge, Oxfordshire.
- Pérez-Foguet, A. & Lazzarini, B. (2019). Continuing professional education in engineering faculties: Transversal integration of sustainable human development in basic engineering sciences courses. *Journal of Cleaner Production*, 210, 772-781. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.054>
- Raoufi, K., Manoharan, S., & Haapala, K. R. (2019). Synergizing Product Design Information and Unit Manufacturing Process Analysis to Support Sustainable Engineering Education. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 141(2), 1-13. <https://doi.org/10.1115/1.4040927>
- Sengupta, D., Huang, Y., Davidson, C. I., Edgar, T. F., Eden, M. R., & El-Halwagi, M. M. (2017). Using media-based learning methods to introduce sustainable manufacturing in engineering curriculum. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 18(3), 307-328. <https://doi.org/10.1080/15487597.2016.1191010>