

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada  
Dirección de Posgrado



*INTEGRACIÓN DEL DISEÑO AXIOMÁTICO EN LA MEJORA  
CONTINUA*

TESIS QUE PRESENTA

**MA, IM Juan Javier Quiroz Arriaga**  
**Asesor: DR. Miguel Alejandro García Vidales**

Para obtener el grado de

**Maestro en  
Manufactura Avanzada**

Aguascalientes, Aguascalientes  
mayo, 2021

## CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



Santiago de Querétaro, Qro.  
16 de diciembre del 2020.

Dra. María Guadalupe Navarro Rcjero  
Directora  
Posgrado CIATEQ  
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del (la) **Ing. QUIROZ ARRIAGA JUAN JAVIER**, del trabajo titulado:

**"INTEGRACIÓN DEL DISEÑO AXIOMÁTICO EN LA MEJORA CONTINUA"**

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el (la) estudiante antes mencionado(a), el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el (la) estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

  
Dr. en Ing. Miguel Alejandro García Vidales.

## CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



GOBIERNO DE  
MÉXICO



CONACYT  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Lerma, Estado de México, 26 de abril del 2021.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero  
Directora de Posgrado  
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno

**Juan Javier Quiroz Arriaga**, cuyo título es:

**"INTEGRACIÓN DEL DISEÑO AXIOMÁTICO EN LA MEJORA CONTINUA"**

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma

Dra. Angélica E. Bonilla B.

Circuito de la Industria Poniente Lote 11, Manzana 3, No. 11, Col. Parque Industrial Exhacienda Doña Rosa,  
CP. 52004, Lerma, Estado de México, México. Tel: +52 (722) 262 07 50 www.ciateq.mx



## RESUMEN

Este trabajo de desarrollo se centra en la ingeniería y tecnología de los materiales plásticos, específicamente el uso de resina bio plástica de fibra natural rica en celulosa extraída del bagazo del agave que es el principal subproducto de la industria del jarabe del tequila, esta resina es producida por la empresa BioSolutions® compañía mexicana con tecnología propia patentada.

El uso de resinas bio basadas en artículos de consumo masivo todavía es un terreno poco explotado en la industria del plástico, aunque ya algunas compañías han desarrollado diferentes productos, desde botellas, partes automotrices, artículos promocionales, artículos de limpieza, artículos de oficina y papelería.

En el siguiente artículo: Sofia Hares "*Turning waste into bioplastics, México strikes Green gold*", 2018 Thomson Reuters Foundation, se habla sobre algunos de los productos primarios que han mostrado su valor más allá de sus usos convencionales en el aprovechamiento de los desechos generados por algunas empresas para la transformación de estos en materias primas para la manufactura de otros productos.

"Los bioplásticos representan menos del 5% de los millones de toneladas de plástico producido cada año alrededor del mundo, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas se estima que la producción de plástico se duplicara durante los próximos 20 años".

Como parte del proceso de desarrollo, es necesario determinar características de funcionalidad y complejidad en la manufactura de los mismos, así como también las restricciones que este reemplazo en materias primas observarían en un producto existente con características conocidas, para determinar estas se optó por el uso del diseño Axiomático con el fin de acelerar el desarrollo reducir el ciclo de vida del producto y bajar los costos generados en el producto y proceso de manufactura de la manera más eficiente posible.

**Palabras clave:** 1. Ingeniería y Tecnología, 2. Tecnología de los Materiales, 3. Plásticos

## ABSTRACT

This research work focuses on engineering and technology of plastic materials, specifically, the use of bio plastic resin (bio based) made of natural fiber rich in cellulose extracted from agave bagasse, which is the main by-product of the tequila syrup industry, this resin is produced by the company BioSolutions® Mexican owned company with patented technology.

The use of bio resins based on articles of mass consumption is still a little exploited field in the plastics industry, although its exploitation is at an early stage worldwide, and some companies have developed different products, from bottles, automotive parts, promotional items, cleaning supplies, office supplies and stationery.

In the following article: Sofia Hares "Turning waste into bioplastics, Mexico strikes Green gold", 2018 Thomson Reuters Foundation, talks about some of the primary products that have shown their value beyond their conventional use, the re- use of waste generated by some companies by transformation of these into raw materials for the manufacture of other products.

"Bio plastics represent less than 5% of the millions of tons of plastic produced each year around the world, according to the United Nations it is estimated that plastic production will double over the next 20 years."

As part of the development process, it is necessary to determine characteristics of functionality and complexity in their manufacture, as well as the restrictions that this replacement in raw materials would observe in an existing product with known characteristics, to determine these it was chosen to use of Axiomatic design in order to accelerate development, reduce the life cycle of the product at lower costs generated in the product and manufacturing process in the most efficient way possible.

**Keywords:** 1. Engineering and Technology, 2. Technology of Materials, 3. Plastics

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
GLOSARIO .....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.5. HIPÓTESIS.....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. EL CICLO DE VIDA .....	13
2.2. ECOEFICIENCIA .....	14
2.3. Df(x) Y DfE .....	16
2.4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (LCA) .....	17
2.5. MATRIZ MET .....	18
2.6. INTRODUCCIÓN A LEAN MANUFACTURING .....	19
2.7. INTRODUCCIÓN A SIX SIGMA .....	20
2.8. DISEÑO AXIOMÁTICO PARA SIX SIGMA .....	21
2.9. DISEÑO AXIOMÁTICO .....	22
2.9.1 EL CONCEPTO DE DOMINIO.....	22
2.9.2 DEFINICIONES.....	23
2.9.3 EL PRIMER AXIOMA: EL AXIOMA DE INDEPENDENCIA .....	24
2.9.4 EL SEGUNDO AXIOMA: EL AXIOMA DE INFORMACIÓN.....	24
3. PROCEDIMIENTO.....	26
3.1. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	32
4. RESULTADOS .....	42
CONCLUSIONES .....	49
RECOMENDACIONES .....	50

APORTACIÓN DE LA TESIS.....	51
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS .....	52
REFERENCIAS .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 El ciclo de vida de los productos.....	13
Figura 2. DfX.....	17
Figura 3. Ejemplos de Matriz MET.....	19
Figura 4. Cuatro dominios en la ingeniería de diseño.....	23
Figura 5. Entendimiento practico del Axioma de.....	25
Figura 6. Método genérico y el ciclo de vida del.....	27
Figura 7. Procedimiento de desarrollo de productos de.....	31
Figura 8. Matriz comparativa de metodologías de solución de.....	32
Figura 9. "Project Chart" .....	33
Figura 10. Proyección 3 años huella de carbono.....	34
Figura 11. Resumen de estimación de costos.....	35
Figura 12. Plan general de desarrollo de productos de agave.....	35
Figura 13. Prueba de Normalidad de la prueba de impacto.....	40
Figura 14. Resultados de la validación de propiedades mecánicas.....	42
Figura 15. Primeros productos de oficina.....	43
Figura 16. Productos de oficina con Bioplásticos.....	44
Figura 17. Segunda generación de productos Bio plásticos.....	44
Figura 18. Productos de oficina con Bioplásticos.....	45
Figura 19. Formato de colección de datos huella de carbono.....	46
Figura 20. Tabla de conversión a Kg de CO2 por categoría.....	47
Figura 21. Métrico para evaluación de la reducción de.....	48



## GLOSARIO

**4 Steps:** Metodología para definir un problema, determinar la causa, identificar, priorizar, seleccionar alternativas de solución e implementarlas.

**8D's:** Metodología para el análisis y resolución de problemas.

**BioSolutions®:** Empresa mexicana fundada en 2010 que ha desarrollado una tecnología propia, patentada, para producir compuestos bioplásticos (bio basados) a base de fibras naturales ricas en celulosa.

**DMAIC:** Estrategia de calidad basada en datos utilizada para mejorar un proceso, las letras representan el acrónimo "Define, Measure Analyze, Implement, Control (por sus siglas en ingles) y es una parte integral de una iniciativa Six Sigma.

**NORMA ISO 14000:** Proporciona a las organizaciones un marco con el que protege el medio ambiente y responde a las condiciones ambientales cambiantes, siempre guardando el equilibrio con las necesidades socioeconómicas. Facilita que la organización utilice el enfoque basado en los riesgos.

**PDCA:** Conocido como ciclo de mejora continua o circulo de Deming, describe los cuatro pasos (Plan, Do, Check, Act, por sus siglas en inglés) esenciales que se deben llevar a cabo de forma sistemática para lograr la mejora continua.

**PolyAgave®:** Representa los compuestos bio plásticos de fibra de agave para diferentes aplicaciones de la industria del plástico. La fibra de agave sirve como refuerzo en los productos bioplásticos, aportando buenas propiedades al producto y reduciendo su peso.

**tCO<sub>2</sub> eq:** Las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> es la cantidad de gases efecto invernadero expresada como el resultado del producto del peso de los gases de efecto invernadero en toneladas métricas por su potencial de calentamiento atmosférico (PCA).

# 1. INTRODUCCIÓN

A partir de 2018, se ha observado un constante movimiento en favor de la reducción de plásticos de un solo uso, en Europa, se han implementado regulaciones más estrictas para no solo disminuir, sino que también se debe eliminar o sustituir en un porcentaje el uso de plásticos fósiles por plásticos o materiales amigables con el ambiente o que influyan en la reducción de huella de carbono. México no es la excepción en la aplicación de este tipo de regulaciones, a partir de 2019 se ha eliminado el uso de bolsas de plástico o empaques de un solo uso en algunas ciudades, hemos visto también la aparición más frecuente de materiales alternos que pueden sustituir a los plásticos fósiles.

## 1.1. ANTECEDENTES

A partir de un hallazgo en la auditoría de seguimiento del sistema de Gestión Ambiental ISO-14000 durante el primer semestre de 2018, dentro del del proceso de mejora continua, la organización tiene la responsabilidad de buscar constantemente mejoras en sus procesos y productos como parte de los requerimientos del mismo, el control de emisiones, generación de residuos eran hasta ese momento los enfoques de la organización, durante dicha auditoría, el enfoque fue hacia el ciclo de vida del producto, es este último, el precursor de la búsqueda de alternativas para materiales alternos para la fabricación de los productos nuevos o reemplazo de los existentes.

En este artículo se habla sobre el caso específico de la resina PolyAgave® desarrollada y producida por la compañía BioSolutions® que es un bio plástico bio basado de Polipropileno y celulosa de agave que no es usado dentro del sector papelerero.

Los Bio plásticos pueden ser bio basados, biodegradables o ambos, los plásticos bio basados son materiales derivados de recursos renovables producidos a partir de materias primas agrícolas como plantas ricas en carbohidratos en las que encontramos el maíz, la papa, la caña de azúcar, materias primas lignocelulósicas

que son las plantas que no son consideradas como alimentos y los subproductos orgánicos como lo son los subproductos de comida o agroindustriales, todos, fuentes de biomasa renovables tales como aceites y grasas vegetales, almidón de maíz, paja, astillas de madera, serrín, desperdicio de alimentos y bagazo de agave.

No todos los bio plásticos son biodegradables ni tampoco más bio degradados que los plásticos derivados de petróleo fósil. Durante 2014, los bio plásticos representaban aproximadamente 0.2% de mercado global de polímeros (300 millones de toneladas).

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Siendo la primera vez que la organización debe expandir el alcance del sistema de gestión ambiental al ciclo de vida del producto, se crea la necesidad de desarrollar un productos con materias primas amigables con el ambiente, para lo cual es necesario también determinar la metodología más adecuada para llevar a cabo la definición y conceptualización del producto, esta metodología deberá integrarse al proceso de mejora continua como parte de la estandarización de las actividades del área de desarrollo de productos.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Con el fin de desarrollar un producto elaborado con materias primas sustentables y/o amigables con el ambiente y que no se han utilizado con anterioridad en la gama de productos del catálogo y que son desconocidas para la organización, y que además, cumplan con los requerimientos estipulados por el sistema de gestión ambiental, es necesario localizar fabricantes de dichas materias primas en México u en otros países, una vez identificada la materia prima disponible es necesario llevar a cabo el proceso de desarrollo del producto.

## **1.4. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este trabajo es lograr el desarrollo de un producto de oficina y escolar que en su fabricación utilice resina bio basada. Dicho desarrollo, representa un mercado poco explotado y hasta este momento no identificado dentro de la industria de artículos escolares y de oficina, esto abre la puerta a un nuevo negocio que requiere más empuje para reemplazar a los productos hechos de plástico derivado de materias primas fósiles.

### **1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- La aplicación de la metodología del Diseño Axiomático (AD) en el proceso de desarrollo de un producto con resina bio basada.
- La elaboración de un producto plástico que utilice como materia prima una mezcla de resina fósil y resina bio basada.

## **1.5. HIPÓTESIS**

Integración del Diseño Axiomático (AD) como herramienta de mejora continua para desarrollar productos con plásticos bio basados.

## 2. MARCO TEÓRICO

El éxito económico de casi todas las empresas depende de su capacidad para identificar las necesidades de los clientes y rápidamente crear productos que satisfagan esas necesidades y se puedan producir a bajo costo.

Un producto, bien o servicio es algo vendido por una empresa a sus clientes. Desarrollo de producto es el conjunto de actividades que se inicia con la percepción de una oportunidad de mercado y termina en la producción, venta y entrega de un producto (Ulrich K., Eppinger S., 2013).

Se pueden mencionar cinco dimensiones específicas, relacionadas con la utilidad que se usan para evaluar el rendimiento de un trabajo de desarrollo de producto:

- *Calidad de producto:* ¿Qué tan bueno es el producto que resulta del trabajo de desarrollo? ¿Satisface las necesidades del cliente? ¿Es robusto y confiable? La calidad del producto se refleja finalmente en la cuota del mercado y el precio que los clientes están dispuestos a pagar.
- *Costo de producto:* ¿Cuál es el costo de manufactura del producto? Este costo incluye gasto en bienes de capital y herramientas, así como en el costo incremental de producir cada unidad del producto. El costo del producto determina cuanta utilidad corresponde a la empresa por un volumen y un precio particulares de venta.
- *Tiempo de desarrollo:* ¿Con que rapidez completa el equipo el trabajo de desarrollo del producto? El tiempo de desarrollo determina el tiempo de respuesta de la empresa a la competencia y a desarrollo tecnológicos, así como la rapidez con que la empresa recibe los rendimientos económicos del trabajo del equipo.
- *Costo de desarrollo:* ¿Cuánto tuvo que gastar la empresa en desarrollar el producto? El costo de desarrollo suele ser una parte importante de la inversión necesaria para alcanzar utilidades.
- *Capacidad de desarrollo:* ¿El equipo y la empresa son mejores para desarrollar productos en el futuro como resultado de su experiencia con un proyecto de desarrollo de productos? La capacidad de desarrollo es una

ventaja competitiva que la empresa puede usar para desarrollar productos con más eficiencia y mejor economía en el futuro.

El cumplimiento de los objetivos definidos en cada una de las cinco dimensiones por una organización puede considerarse como un alto rendimiento que debe finalmente llevar al éxito económico; no obstante, otros criterios de rendimiento son también importantes. Estos criterios surgen de intereses de otros involucrados en la empresa, incluyendo los miembros del equipo de desarrollo, otros empleados y la comunidad en la que el producto se manufactura (Ulrich K., Eppinger S., 2013).

El desarrollo de productos es una actividad interdisciplinaria que requiere de la colaboración de casi todas las funciones de una empresa; no obstante, tres funciones son casi siempre esenciales a un proyecto de desarrollo de productos:

- *Mercadotecnia*: La función de mercadotecnia sirve de intermediaria entre la empresa y sus clientes. Es frecuente que mercadotecnia facilite la identificación de oportunidades de productos, la definición de segmentos del mercado y la identificación de las necesidades de los clientes. Por lo general, mercadotecnia también se encarga de la comunicación entre la empresa y sus clientes, establece precios objetivo y supervisa el lanzamiento y promoción del producto.
- *Diseño*: La función de diseño desempeña el papel principal en definir la forma física del producto para que satisfaga mejor las necesidades del cliente. En este contexto, la función de diseño incluye crear el diseño de ingeniería (mecánico, eléctrico, software, etc.) y el diseño industrial (estético, ergonómico, interfases de usuarios).
- *Manufactura*: La función de manufactura es principalmente responsable del diseño, operación y/o coordinación del sistema de producción del producto. En términos generales, la función de manufactura también incluye la compra, distribución e instalación. Este conjunto de actividades a veces recibe el nombre de cadena de suministro (Ulrich K., Eppinger S., 2013).

El desarrollo de productos exitosos es difícil. Algunas de las características que lo dificultan son:

- *Concesiones de diseño:* Un avión puede construirse más ligero, pero es probable que esto aumente el costo de manufactura. Uno de los aspectos más difíciles del desarrollo de productos es reconocer, entender y manejar estas concesiones de diseño en una forma que maximice el éxito del producto.
- *Dinámica:* Las tecnologías mejoran, las preferencias del cliente evolucionan, los competidores introducen nuevos productos y cambia el entorno macroeconómico. La toma de decisiones en un ambiente de constante cambio es una tarea formidable.
- *Detalles:* La elección entre usar tornillos o abrazaderas en el gabinete de una computadora tiene implicaciones económicas que ascienden a millones de dólares. Desarrollar un producto de una complejidad incluso modesta requiere de miles de decisiones de este tipo.
- *Presión de tiempo:* Cualquiera de estas dificultades sería fácilmente manejable por sí sola si hubiera tiempo suficiente, pero las decisiones en el desarrollo de productos por lo general deben tomarse rápidamente y sin información completa.
- *Economía:* Desarrollar, producir y comercializar un nuevo producto requiere una fuerte inversión. Para obtener una utilidad razonable en esta inversión, el producto resultante debe ser atractivo a clientes y de un costo relativamente bajo para producirlo.

Otros atributos que dificultan el desarrollo de productos son:

- *Creación:* El proceso de desarrollo de productos empieza con una idea y termina con la producción de un objeto físico. Cuando se ve en su conjunto y a un nivel de actividades individuales, el proceso de desarrollo de productos es intensamente creativo.
- *Satisfacción de necesidades sociales e individuales:* Todos los productos están destinados a satisfacer necesidades de alguna clase. Las personas interesadas en desarrollar nuevos productos casi siempre encuentran entornos sociales en los que pueden desarrollar productos que satisfagan lo que consideran necesidades importantes.

- *Diversidad del equipo*: Un desarrollo exitoso requiere muchos conocimientos y talentos diferentes. En consecuencia, los equipos de desarrollo incluyen personas con una amplia variedad de capacidades, experiencia, puntos de vista y personalidades.
- *Espíritu de equipo*: Es frecuente que los equipos de desarrollo de productos sean grupos altamente motivados y cooperativos. Los miembros del equipo pueden asignarse de forma que concentren su energía colectiva en crear el producto. Esta situación puede resultar en una duradera camaradería entre los miembros del equipo (Ulrich K., Eppinger S., 2013).

Luego entonces, la introducción de nuevos productos se refiere al proceso completo de negocio de introducir nuevos productos al mercado. Su alcance abarca el ciclo entero de la vida del producto, desde la identificación inicial de oportunidad del mercado, tecnología, concepción, diseño y desarrollo, producción, lanzamiento al mercado, soporte, mejora y retiro. El propósito de la introducción de un nuevo producto es generar una corriente de mercado viable de productos, dirigida técnica y comercialmente a soportar un plan de negocios con mínimo riesgo en donde productos y procesos son ambos seguros y amigables con el ambiente (Hassan S., 2008).

Para las compañías de manufactura, la actividad de desarrollo de un producto juega un rol de pivote en su administración corporativa (Sawaguchi M., 2006).

La mejora de la eficiencia de sus etapas de diseño es importante en lo que respecta a la materialización de los requerimientos de los clientes desde el punto de vista económico y también en lo que respecta a la velocidad del desarrollo del producto.

En el contexto actual de la relación de la industria de transformación y el medio ambiente, el diseño y desarrollo de productos debe tener un enfoque de sustentabilidad y cuidado del medio ambiente, la norma ISO 14000 en el elemento 6 Planificación, el inciso 6.1.2 Acciones para abordar riesgos y oportunidades relacionadas con los aspectos ambientales, menciona lo siguiente: “Dentro del alcance definido del sistema de gestión ambiental, la organización debe



determinar los aspectos ambientales de sus actividades, productos y servicios que puede controlar y de aquellos en los que puede influir, y sus impactos ambientales asociados, desde una perspectiva de ciclo de vida. Cuando se determinan los aspectos ambientales, la organización debe tener en cuenta:

- Los cambios, incluidos los desarrollos nuevos o planificados, y las actividades, productos y servicios nuevos o modificados.
- Las condiciones anormales y las situaciones de emergencia razonablemente previsibles.

La organización debe determinar aquellos aspectos que tengan o puedan tener un impacto ambiental significativo, es decir, los aspectos ambientales significativos, mediante el uso de los criterios establecidos.

La organización debe comunicar sus aspectos ambientales significativos entre los diferentes niveles y funciones de la organización según corresponda.

La organización debe mantener información documentada de sus:

- Aspectos y otros impactos ambientales asociados;
- Criterios usados para determinar sus aspectos ambientales significativos.
- Aspectos ambientales significativos.

En el inciso 6.1.4 planificación de acciones, la organización debe planificar:

- La toma de acciones para abordar sus:
  - o Aspectos ambientales significativos.
  - o Requisitos legales y otros requisitos.
  - o Riesgos y oportunidades identificados como el logro de los resultados previstos, la mejora continua, las situaciones de emergencia potenciales que puedan tener un impacto ambiental.
- La manera de:
  - o Integrar e implementar las acciones en los procesos de su sistema de gestión ambiental.
  - o Evaluar la eficacia de las acciones.

Cuando se planifiquen estas acciones, la organización debe considerar sus opciones tecnológicas y sus requisitos financieros, operacionales y de negocio (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C., 2015).

Dentro del ecodiseño, una de las aportaciones más grandes fue desarrollada en la universidad Tecnológica de Delft, en los países bajos, donde se estudiaron a fondo sistemas de productos en los que el uso de energía y materiales fuera más eficiente (Riele H., Zweers A., 1994). Con el objetivo de definir metodologías de Ecodiseño para su uso en la industria. Como resultado se obtuvo un manual denominado "Desarrollo de productos que consideran al medio ambiente como estrategia de innovación", Conocido como PROMISE (*por sus siglas en ingles*) y publicado posteriormente por la UNEP (*United Nations Enviromental Program, por sus siglas en ingles*), con el nombre "Eco Design".

Este manual contiene diversas metodologías, técnicas y diagramas que permiten analizar de manera sistémica el desempeño de los productos en términos de su impacto ambiental. Entre estos tenemos el "Análisis del Ciclo de Vida" (*LCA o Life Cycle Assessment por sus siglas en ingles*), la matriz MET (*Materials, Energy and Toxic Emissions, por sus siglas en ingles*) y otras herramientas que permiten medir y observar de manera gráfica el flujo de energía, de materiales y de emisiones tóxicas involucrados en la fabricación de un producto o servicio.

El análisis de ciclo de vida (LCA), analiza los impactos ambientales presentes durante el ciclo de vida de productos o servicios.

La matriz de Materiales, energía y Emisiones Tóxicas (MET), es un diagrama que analiza el impacto que el uso de materiales, energía y emisiones tóxicas durante la producción, transporte, uso y desecho de productos y servicios causa al ambiente (García B., 2008).

Salvador Capuzo Rizo, en su obra *Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles* como el "...modelo de actividad productiva que contribuye a la consecución del Desarrollo Sustentable", respalda esta postura (Capuzo S., 2004).

La Ecología Industrial se basa en tres estrategias: La Gestión Medioambiental, los Parques Industriales y la Ecoeficiencia que, de acuerdo con la ecología industrial, se define como el conjunto de objetivos orientados al mejor aprovechamiento de los recursos (mediante un menor uso de estos, pero con mayor eficiencia en su fabricación o utilización) y a la reducción de la contaminación a lo largo del ciclo de vida de los productos sin descuidar cualidades técnicas y económicas. Esta última se encuentra conformada por diversas herramientas, dentro de las cuales destaca el Ecodiseño, también denominado como DfE (*Design for Environment por sus siglas en inglés*).

Con este concepto, el diseño se enfrenta a nuevos retos con el fin de revertir los impactos ambientales, de esta manera, la implementación del ecodiseño se enfoca fortalecer valores éticos y de responsabilidad mediante una práctica que opere bajo modelos industriales para la industria del siglo XXI.

Para referirse al ecodiseño, se puede referir a este como Diseño para el Medio Ambiente o DfE (Que pertenece al grupo de metodologías DfX), Diseño Respetuoso con el Medio Ambiente, Diseño Ambientalmente Sensible y Diseño Ecológico (García B., 2008).

En general, el proceso de diseño consiste en tres estados llamados, "Análisis", "Síntesis" y Evaluación" En el primer estado de "Análisis" básicamente, los elementos de los que se compone el objeto de alguna manera son clarificados dividiéndolos en detalles. En la actividad de diseño, este es el estadio del "Análisis Funcional" para desglosar las funciones requeridas por el cliente. El siguiente estadio de "Síntesis" es para integrar los elementos plurales. En otras palabras, los vectores de pensamiento son orientados al producto como un todo. En el trabajo de diseño, este es el estado de creatividad por considerarse el medio para lograr las funciones requeridas e integrar los elementos para crear las propuestas del diseño conceptual. El último estadio de "Evaluación" es para seleccionar la propuesta óptima de varias opciones en términos de modo de pensamiento, el pensamiento convergente es aplicado en el estadio de Análisis, el pensamiento divergente en el estadio de Síntesis y otra vez regresamos al pensamiento convergente en el estadio de evaluación. De esta forma, creando el dibujo del

diseño óptimo de producto cambiando efectivamente entre pensamiento convergente y divergente, es la manera ideal de las actividades de diseño (Brown T., 2009).

En la etapa de diseño, la arquitectura de la empresa es desarrollada en base a grandes asunciones tales como abundantes cantidades de materia prima, recursos de manufactura disponibles, variantes anticipadas de producción y la cantidad de material que pasa por el proceso o (*throughputs por su significado en inglés*). Estas asunciones no son siempre válidas. Durante la operación del sistema, para lograr mejor desempeño, la arquitectura de la empresa debe ser establecida y entonces ajustada a reflejar la naturaleza particular del sistema de manufactura para soportar la estabilidad del sistema. La arquitectura del sistema de manufactura de alto volumen puede ser diferente al de bajo volumen y ahí puede haber grandes diferencias en el nivel de madurez del sistema (BI ZM. Revisit System, 2011).

Una vez que se han identificado las variables y establecidas las acciones de control y medición, surgen nuevas variables que desestabilizan los procesos en la medida que estos adquieren madurez, es aquí en donde la mejora continua se abre paso adquiriendo diferentes formas y nombres así como utilizando diferentes herramientas de análisis de datos.

Cada organización tiene la libertad de idear sus propios métodos y técnicas de solución de problemas basándose en las mejores prácticas de la industria o también de las técnicas o metodologías existentes que han probado su eficacia en diferentes ámbitos.

Tradicionalmente, la mejora continua de los sistemas de manufactura se enfrenta a grandes retos debido a lo escaso e imprecisión de los datos. La emergente Internet de las cosas o (*Internet of Things o IoT por sus siglas en inglés*) permite a un sistema de manufactura a adquirir cualquier dato en cualquier momento sobre cualquier objeto y la analítica de grandes datos o (*big data analytics por su significado en inglés*) puede ser desplegada para identificar variaciones disruptivas

y cuellos de botella en la operación del sistema (BI ZM, Cochran DS., 2014), (BI ZM, Xu LD., Wang C., 2014).

Como se ha visto, a pesar de contar con diferentes herramientas para el desarrollo de nuevos productos y procesos, es importante recalcar que existen oportunidades de mejora significativas entre ellos, es aquí en donde esta investigación toma lugar, uno de los métodos utilizados se conoce como Diseño Axiomático (*Axiomatic Design* o *AD* por sus siglas en inglés), que se define como la creación de soluciones sintetizadas en forma de productos, procesos o sistemas que satisfacen las necesidades percibidas. Esto se logra por medio del mapeo de los requerimientos funcionales y parámetros de diseño, las restricciones en este contexto son definidas como limitaciones requeridas de soluciones aceptables (Black T., Hunter S., 2003).

Antes de introducirnos a la solución de ecodiseño, se deben identificar las problemáticas, las condiciones, las soluciones o las limitantes de un producto o de un proceso. Los conceptos y principios utilizados para este fin pueden ser:

- El concepto de ciclo de vida.
- El concepto de ecoeficiencia.
- El método DfX.
- El Análisis de Ciclo de Vida (LCA)
- La Matriz MET.

Una vez que se han analizado y reconocido las problemáticas o puntos clave a mejorar durante el ciclo de vida de un producto o de un sistema, y se tiene conocimiento de las condiciones, limitantes, normativas o recursos existentes, se recomienda conocer la gran variedad de estrategias de Ecodiseño e identificarlas de acuerdo con sus objetivos, al tipo de problema que corrige, a la fase del ciclo de vida a la que se dirige, entre otras clasificaciones (García B., 2008).

Las diferentes herramientas utilizadas en el ecodiseño tienen la cualidad de ser útiles para diferentes propósitos:

- Evaluar impactos ambientales de productos existentes o a diseñar.
- Prevenir impactos ambientales.
- Ofrecer mejoras ambientales específicas.

## 2.1. EL CICLO DE VIDA

El ciclo de vida es el conjunto de etapas por las que atraviesa un producto o servicio de inicio a fin. Para efectos del presente texto, se referirá particularmente a los productos.

Consiste en una serie de fases por las que atraviesa un producto, tales como: diseño, extracción y adquisición de recursos y materiales, producción, transporte y distribución, uso y mantenimiento, recuperación, reutilización, reciclaje y desecho.

El ciclo de vida del producto generalmente se divide en 5 fases principales como lo muestra la figura 1.



Figura 1. El ciclo de vida de los productos.

(García B., 2008).

Todo tipo de impacto ambiental ocurre durante las diferentes fases del ciclo de vida de un producto, y algunos de los principales factores que determinan dichos impactos son:

- Suministro de energía.
- Extracción y adquisición de materia prima.
- Fabricación del producto.
- Transporte y distribución.
- Uso del producto.
- Consumo de recursos en cada fase del ciclo.

- Producción y eliminación de desechos y emisiones.
- Final de vida del producto (disposición, desecho, reciclado, etc.).

Sin embargo, aún y cuando el ciclo de vida de un producto sea más largo que el de otro no significa que se cause un menor impacto ambiental, pues algunos productos provocan mayor impacto prolongando su uso que en la fase de producción o de desecho. De aquí la importancia de tomar en cuenta todos los factores involucrados en cada una de las fases del ciclo de vida.

Es con esta visión que en años recientes se ha adoptado una nueva forma de considerar el ciclo de vida, en donde literalmente se pretende que este sea "cíclico". Es decir, de manera tradicional, el ciclo de vida del producto se ha considerado bajo un enfoque denominado "de la cuna a la tumba" (*Cradle to Grave*), en el que se analiza el producto desde que "nace" (proyecto y producción), hasta que "muere" (desecho o destino final). Sin embargo, la nueva visión, impulsada por William McDonough y Michael Braungart, adopta una nueva frase y teoría denominada "de la cuna a la cuna" (*Cradle to Cradle*), bajo este concepto se pretende que el ciclo de vida sea continuo, de modo que el producto o sus materiales no "mueran", sino que se estimule la continuación de su vida a través de la reparación, reutilización, remanufacturado, reciclado u otras alternativas (McDonough W., Braungart M., 2002).

## **2.2. ECOEFICIENCIA**

Este principio se refiere al conjunto de objetivos orientados al mejor aprovechamiento de los recursos y a la reducción de la contaminación a lo largo del ciclo de vida de los productos sin descuidar cualidades técnicas y económicas (McDonough W., Braungart M., 2002).

Para lograr la ecoeficiencia, se debe contemplar por completo el ciclo de vida de los productos y los siguientes objetivos:

- Reducir la intensidad de uso de materias primas.
- Reducir la intensidad de uso de energía.
- Reducir el daño ambiental y a la salud humana.
- Fomentar la reutilización y reciclaje de los materiales.
- Proporcionar una verdadera calidad de vida.
- Aumentar la intensidad de servicio de los productos.

Debido al alcance y difusión que ha tenido la ecoeficiencia en las últimas décadas a nivel mundial, se han desarrollado diversas teorías y formulaciones para su implementación, sin embargo, de acuerdo con la afinidad existente entre los objetivos del Ecodiseño y de la Ecología Industrial, se muestra a continuación la expresión que esta utiliza para el cálculo de la Ecoeficiencia.

Cabe destacar que la dificultad de esta formulación radica en la inexactitud del cálculo de sus componentes, por lo que su resultado puede resultar en extremo relativo:

$$\text{Ecoeficiencia} = \text{Valor del producto} / \text{Impacto ambiental}$$

De acuerdo con Capuz, las herramientas principales para alcanzar la Ecoeficiencia son:

- Ecodiseño.
- Eco indicadores.
- Análisis de los costos del ciclo de vida (*convierte en unidades monetarias los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto*).
- Análisis del Ciclo de Vida (LCA).
- DfX (Design for x).
- Análisis de Valor (*Cálculo del valor añadido de cada función de un producto*).



### 2.3. Df(x) Y DfE

Df(x) o Design for x (Diseño para x) es un método de diseño que permite la incorporación de características específicas (x) en el ciclo de vida de un producto (Capuzo S., 2004).

“La aplicación correspondiente de una técnica DfX puede utilizarse para considerar en el diseño de un producto los factores influyentes sobre cada fase del ciclo de vida” (Capuzo S., 2004).

De esta manera, x representa una característica particular para resolver un problema específico, ya sea de fabricación, montaje, embalaje, uso, mantenimiento o retiro de un producto. A ese problema específico se dirigen entonces todos los esfuerzos de diseño. A continuación, se muestran algunas de las técnicas de DfX, en donde sustituyendo la x por el problema específico tendremos:

DfM – Design for Manufacturability (Diseño para la Producción).

DfA – Design for Assembly (Diseño para el Ensamble).

DfPe – Design for Performance (Diseño para el Desempeño).

DfS – Design for Safety (Diseño para la seguridad).

DfRM – Design for Remanufacturability (Diseño para la Re-manufactura).

DfRC – Design for Recycling (Diseño para el Reciclaje).

DfD – Design for Disassembly (Diseño para el Desensamble).

DfE – Design for the Environment (Diseño para el medio ambiente).

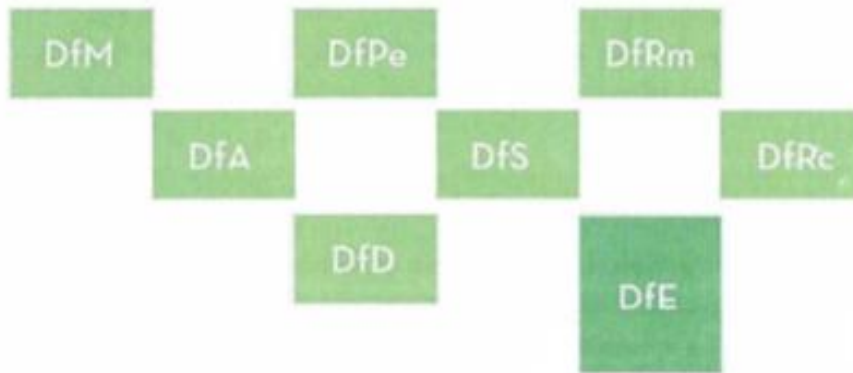


Figura 2. DfX.  
(García B., 2008).

Debido a que los métodos Df(x) se enfocan en un solo aspecto durante el ciclo de vida del producto, el DfE puede auxiliarse de otros Df(x) para alcanzar los objetivos comunes (García B., 2008), tal como se muestra en la figura 2.

## 2.4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (LCA)

Un producto puede provocar daños al medio ambiente de diversas maneras, pro debido a que es difícil detectar estos posibles daños durante la fase de diseño, lo recomendable es analizar por completo el ciclo de vida del producto para identificar aquellas etapas en las que se ocasionan los principales impactos ambientales, para alcanzar este fin, se lleva a cabo el procedimiento denominado LCA.

El LCA (*Life Cycle Analysis, por sus siglas en inglés*) es el proceso mediante el cual se evalúan los impactos ambientales causados por productos o procesos a través de la descripción cuantitativa del uso de energías y materiales, y de la liberación de residuos al medio ambiente (Capuzo S., 2004). Si se logran identificar tanto los efectos producidos en el medio ambiente, como las ineficacias o desperdicios existentes, se podrá modificar la etapa del sistema que falle para contrarrestar o eliminar los factores negativos.

El análisis del Ciclo de Vida consta de cuatro pasos principales: la definición de objetivos, análisis de inventario, análisis de impacto y análisis de mejoras.

1. *Definición de Objetivos*; Debido a que el método LCA es una aproximación a una situación real, es importante establecer desde un principio los propósitos para los que el análisis va a servir, lo que se desea estudiar, la profundidad y grado de precisión requeridos, así como los límites del análisis en tiempo y espacio.
2. *Análisis de Inventario*; Debido a que debe considerarse el Ciclo de Vida completo, se utiliza frecuentemente un esquema auxiliar, denominado: *Árbol de procesos*. Este esquema permite visualizar aquellos eventos presentes durante el ciclo de vida que deben considerarse en el método LCA.
3. *Análisis de Impactos*; Usualmente se obtienen cientos de resultados, por lo que generalmente se procede con la eliminación de factores irrelevantes hasta obtener únicamente aquellos impactos más importantes.
4. *Análisis de Mejoras*; El primer paso es consultar el objetivo original establecido para comprobar el propósito del análisis. En algunas ocasiones bastara un reporte, pero en otros casos se requerirá de un análisis de mejoras, en el que se deben estructurar por áreas aquellos resultados del LCA que muestren gran potencial para ser mejorados.

## **2.5. MATRIZ MET**

La matriz MET permite realizar un análisis de todos los problemas ambientales que un producto o el sistema de un producto provocan durante su ciclo de vida para establecer su perfil ambiental. Las siglas MET significan *Material Cycle, Energy use and Toxic emissions* (Ciclo de material, uso de Energía y Emisiones tóxicas, por sus siglas en inglés).

La ventaja de esta matriz es que se permite realizar un enfoque en cada etapa del ciclo de vida de un producto para simplificar el análisis de los efectos ambientales. Para realizar el análisis de manera sistemática, en la matriz MET se consideran todos

los efectos ambientales en cada etapa del ciclo de vida del producto, incluyendo también aquellos materiales auxiliares utilizados. La matriz consta de un esquema de 3 columnas como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Ejemplos de Matriz MET.

(García B., 2008).

- *Columna de materiales;* En esta columna se anota la cantidad y aquellos materiales utilizados que sean no-renovables; que provoquen emisiones durante la producción (cobre, zinc, plomo); y materiales incompatibles relacionados durante las cinco etapas del ciclo de vida del producto.
- *Columna del uso de energía;* Se realiza una lista del consumo de energía presente en cada una de las etapas del ciclo de vida. Es decir, se considera el consumo de energía necesario en la manufactura del producto mismo, para el transporte, para la operación o uso del producto y para su desecho. También deberán incluirse aquellos gases producidos como resultado de la energía utilizada (ej.: si el producto es incinerado al final de su ciclo de vida).
- *Columna de emisiones tóxicas;* Se identifican las emisiones tóxicas realizadas al agua, tierra o aire durante todas las etapas del ciclo de vida del producto (García B., 2008).

## 2.6. INTRODUCCIÓN A LEAN MANUFACTURING

La *Lean Management* (administración esbelta) se refiere a la administración de la compañía a través de la implementación de estos principios con el objetivo de

obtener productos más rápido con bajo costo para el cliente. *Lean Management* define cinco principios *Lean*.

- Valor.
- Cadena de Valor.
- Flujo.
- Jalar.
- Perfección.

El valor es determinado por el cliente y se refiere a todo lo que está dispuesto a pagar por el producto. Lo opuesto de valor es la definición de desperdicio (en japonés "Muda"): desperdicio son todas las actividades y procesos que no agregan valor al cliente. Se distinguen dos categorías principales de *Muda*: hay algunas actividades que no agregan valor que son necesarias para generar el producto y otras actividades que generan desperdicio que pueden ser eliminadas inmediatamente. La filosofía *Lean* se dirige a maximizar el valor y minimizar el desperdicio (McDonough W., Braungart M., 2002).

Uno de los individuos más cercanos a *Lean* Taiichi Ohno, enumeró siete formas de desperdicio encontradas en la producción física: sobreproducción, espera, transporte, retrabajo, excesos de inventario, movimientos innecesarios y defectos (Toyota O., 1988).

## **2.7. INTRODUCCIÓN A SIX SIGMA**

*Six Sigma* es una muy efectiva herramienta para mejorar tanto la calidad operacional y procesos transaccionales en general. La metodología usa técnicas estadísticas sistemática y metodológicamente, aplicando a toda la organización, de esta manera habilita el desempeño de todo tipo de actividades del trabajo a ser evaluado. El aspecto innovador de esta metodología recae en su método orientado estadísticamente hacia la importancia fundamental adherida al concepto de medición. La famosa frase de Mikel Harry, el padre de este método resume este concepto apropiadamente: "Nosotros no sabemos que no sabemos. Si no podemos expresar lo que sabemos en forma de números, no sabemos

realmente mucho acerca de eso. Si no sabemos mucho sobre eso, no podremos controlarlo. Si no podemos controlarlo, estamos a merced del azar (Harry M., 1994).

La estructura científica de *Six Sigma* utiliza la estadística como herramienta de análisis de datos con la intención de estudiar el fenómeno a examinar. Determina y selecciona la fuente, la colección, categorización y el origen de los datos para evaluar la variabilidad de estos y separarlos como de largo y corto plazo, el rigor del desarrollo de los proyectos es característico y estos representan como la metodología es desarrollada. Es esencial que el CTQ (*Critical To Quality*) o crítico a la calidad que no es otra cosa que la causa de altos costo o de naturaleza estrategia para la organización y debe ser establecido antes de iniciar la bien definida secuencia conocida como DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, and Control*).

## **2.8. DISEÑO AXIOMÁTICO PARA SIX SIGMA**

En la enorme versatilidad de la teoría del Diseño Axiomático (AD) la cual hace su integración con la metodología Six Sigma no solo viable sino útil, esta integración simplifica el desarrollo y administración tanto de productos como procesos, negocio y organización. Más allá de los proyectos desarrollados utilizando AD, tienen muchos puntos en común con aquellos desarrollados con Six Sigma. AD provee al diseñador con herramientas para identificar los aspectos críticos del diseño, haciendo con esto más simple y efectiva la optimización de este.

N.P. Suh, provee un breve resumen del procedimiento a seguir al aplicar AD:

1. Conocer las necesidades del cliente.
2. Definir el problema que tiene que ser resuelto para satisfacer las necesidades.
3. Conceptualizar la solución de manera sintetizada, este involucra la tarea de satisfacer diferentes requerimientos funcionales utilizando un conjunto de entradas tales como los parámetros de diseño del producto con sus restricciones.
4. Desempeñar análisis con el objetivo de optimizar la solución propuesta.

5. Checar el diseño de la solución resultante para observar si cumple con las necesidades originales del cliente (Suh P., 2000).

## **2.9. DISEÑO AXIOMÁTICO**

Basados en las tendencias actuales dirigidas a reducir el ciclo de vida del producto, podemos identificar una gran necesidad de acelerar el tiempo de desarrollo de un producto. Al mismo tiempo, el desarrollo de productos está bajo presión constante para reducir costos en el producto y el proceso de desarrollo. Es por demás importante configurar y diseñar el proceso de desarrollo de producto lo más eficiente posible. En el área de producción los llamados principios Lean (esbeltos) o métodos Lean, han sido aplicados por muchos años para el diseño de procesos de producción.

La metodología del diseño Axiomático fue desarrollada por Nam P. Suh a mediados de 1970 con la intención de crear un procedimiento para diseño científico, generalizado, codificado y sistemático. Para sistematizar el proceso del pensamiento y crear delimitaciones entre varias actividades del diseño, cuatro dominios representan el fundamento del procedimiento de Diseño Axiomático: El dominio del cliente, el dominio funcional, el dominio físico y el dominio de proceso.

### **2.9.1 EL CONCEPTO DE DOMINIO**

Diseño involucra una interpretación entre “que se quiere lograr” y “como escoger la necesidad a satisfacer”. La estructura de dominios se muestra en la figura 4, El dominio de la izquierda en relación con el dominio de la derecha representa “que se quiere lograr”, donde este representa la solución de diseño para “como se propone satisfacer los requerimientos específicos del dominio de la izquierda.

El dominio del cliente se caracteriza por las necesidades o los atributos que el cliente está buscando en un producto o proceso o sistemas o materiales.

En el dominio funcional, las necesidades del cliente son específicas en términos de requerimientos funcionales (*FRs*) y restricciones (*CS*). Para satisfacer los *FRs*, es

necesario concebir parámetros de diseño (*DPs*) en el dominio físico. Finalmente, para producir el producto especificado en términos de *DPs*, en el dominio de proceso se desarrolla un proceso que es caracterizado por variables de proceso (*PVs*). Muchas aparentan diferentes tareas en muy diferentes campos.

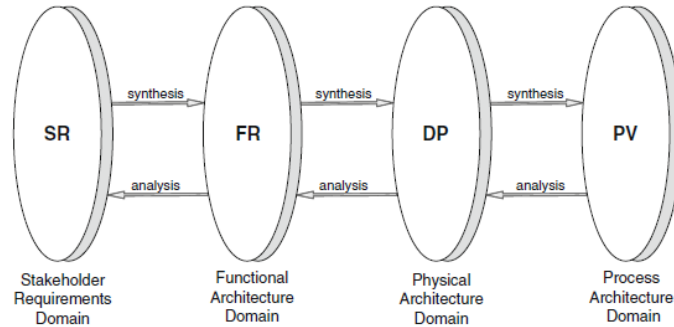


Figura 4. Cuatro dominios en la ingeniería de diseño de sistemas {x}.

(Suh P., 2000).

## 2.9.2 DEFINICIONES

Es importante recordar la definición de unas pocas palabras clave usadas en Diseño Axiomático, como Axiomas son válidas solamente dentro de los límites establecidos por las definiciones de estos términos clave.

- *Axioma*; una verdad única o verdad fundamental por la cual no hay excepciones o contradicciones. Axiomas podrían no ser derivados de otras leyes de la naturaleza o principios.
- *Corolario*; una inferencia derivada de axiomas u otras proposiciones que siguen de otros axiomas u otras proposiciones que han sido probadas.
- *Requerimientos Funcionales*; un conjunto mínimo de requerimientos independientes que completamente caracterizan las necesidades funcionales del producto en el dominio funcional. Por definición, cada *FR* es independiente de cada otro al tiempo que los *FRs* son establecidos.
- *Restricciones*; son límites en soluciones aceptables. Hay dos tipos de restricciones: restricciones de entrada y restricciones de sistema. Las



restricciones de entrada son impuestas como parte de las especificaciones de diseño. Restricciones de sistema son impuestas por el sistema en el cual la solución de diseño debe funcionar.

- *Parámetros de Diseño*; son las variables físicas clave en el dominio físico que caracteriza al diseño satisfaciendo las *FRs* específicas.
- *Variables de Proceso*; son las variables clave en el dominio de proceso que caracteriza el proceso con el cual se puede generar las *DPs* especificadas.

### **2.9.3 EL PRIMER AXIOMA: EL AXIOMA DE INDEPENDENCIA**

Este establece que la independencia de los requerimientos funcionales (*FRs*) deben siempre ser mantenidos donde fueron definidos como el mínimo número de requerimientos funcionales independientes que caracterizan el objetivo del diseño.

### **2.9.4 EL SEGUNDO AXIOMA: EL AXIOMA DE INFORMACIÓN**

Este minimiza el contenido de información del diseño; el contenido de información  $I$  es definido en términos de probabilidad de satisfacción de un *FR* o *DP* dado, establece que el diseño con la mínima cantidad de información es el mejor para lograr los requerimientos funcionales del diseño. Si la probabilidad de éxito de satisfacción de *FR* es  $p$ , la información  $I$  asociada con la probabilidad.

En el mundo real, la probabilidad de éxito está gobernada por la intersección de la tolerancia definida por el diseñador para satisfacer los *FRs* y la tolerancia (o habilidad) del sistema para producir la parte dentro de la tolerancia especificada. La probabilidad de éxito puede ser calculada especificando el Rango de Diseño ( $dr$ ) para el *FR* y determinando el Rango de Sistema ( $sr$ ) que el diseño propuesto provee para satisfacer el *FR*. La figura 5 ilustra estos dos rangos gráficamente. El eje vertical (el ordinal) es para la densidad de probabilidad y el eje horizontal (abscisa) es para *FR* o *DP*, dependiendo de los dominios involucrados en el mapeo. Cuando el mapeo es entre el dominio funcional y el dominio físico como en el proceso de diseño, la abscisa es por *DP*, el rango del sistema esta dibujado como una densidad

de probabilidad versus el *FR* especificado, el empalme entre el rango de diseño y el rango del sistema se denomina rango común (*cr*), y esta es la única región donde los requerimientos funcionales son satisfechos. Consecuentemente el área bajo el rango común dividido por el área bajo el rango de sistema es igual a la probabilidad de éxito del diseño de lograr el objetivo (Suh P., 1998).

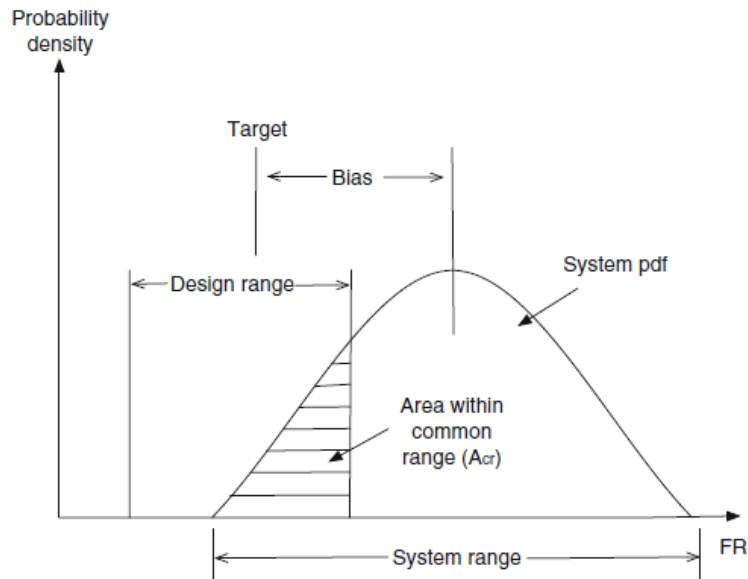


Figura 5. Entendimiento práctico del Axioma de Información. Rango de Diseño, Rango de Sistema y Rango común en una función de área de densidad de probabilidad. (Suh P., 1998).

### 3. PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de un producto amigable con el ambiente que se apegará a las recomendaciones realizadas durante la auditoría de recertificación, se toma como apoyo el libro de *Karl T. Ulrich "Diseño y desarrollo de productos" 5ta. Ed. 2013 McGraw Hill*, para el desarrollo del proyecto, específicamente se utiliza un método estructurado, lo que significa el uso de un método paso a paso con los formatos correspondientes para la adecuada administración del mismo, de acuerdo a Ulrich, este método es valioso porque hacen el proceso de toma de decisiones explícito, permitiendo que todos los integrantes del equipo entiendan las razones fundamentales de las mismas, reduciendo la posibilidad de avanzar sin estas, segundo, el uso de listas de verificación de los pasos clave en la actividad de desarrollo. Tercera, los métodos estructurados son sumamente autodocumentados, lo que significa que, al ejecutar el método, el equipo crea un registro del proceso de toma de decisiones para consultas futuras. Específicamente se utilizará el proceso genérico de desarrollo que se detallará a continuación (Ulrich K., Eppinger S., 2013).

Un proceso es una secuencia de pasos que transforma un conjunto de entradas en un conjunto de salidas. La mayoría de las personas están familiarizadas con la idea de procesos físicos, un *proceso de desarrollo del producto* es la secuencia de pasos o actividades que una empresa utiliza para concebir, diseñar y comercializar un producto. Muchos de estos pasos y actividades son intelectuales y organizacionales más que físicos. Algunas organizaciones definen y siguen un proceso de desarrollo preciso y detallado, mientras que otras ni siquiera son capaces de describir sus procesos. Además, toda organización emplea un proceso al menos ligeramente distinto del que tienen los demás. De hecho, la misma empresa puede seguir diferentes procesos para cada uno de varios tipos diferentes de proyectos de desarrollo. Un proceso bien definido de desarrollo es útil por las siguientes razones:

- *Aseguramiento de la calidad:* Un proceso de desarrollo especifica las fases por las que pasara un proyecto de desarrollo y los puntos de inspección del proceso. Cuando estas fases y puntos de inspección se escogen

adecuadamente, seguir el proceso de desarrollo es una forma de garantizar la calidad del producto resultante.

- *Coordinación:* Un proceso de desarrollo claramente articulado actúa como plan maestro que define los papeles de cada uno de los participantes en el equipo de desarrollo. Este plan informa a los miembros del equipo cuando será necesaria su colaboración y con quien deberán intercambiar información y materiales.
- *Planeación:* Un proceso de desarrollo contiene hitos naturales que corresponden a la terminación de cada fase. La programación de los tiempos de estas etapas fija el programa del proyecto general de desarrollo.
- *Administración:* Un proceso de desarrollo es un estándar de referencia para evaluar la operación de un trabajo vigente de desarrollo. Al comparar los eventos reales contra el proceso establecido, un gerente puede identificar posibles áreas problemáticas.
- *Mejoría:* La documentación cuidadosa del proceso de desarrollo de una organización ayuda a identificar oportunidades para mejorar. (Rauch E., Dallasega P., Dominik M., 2015).

El proceso genérico de desarrollo del producto consta de seis fases, como se ilustra en la figura 6. En este proceso, las etapas y definiciones quedan plasmados en el procedimiento de desarrollo de productos mostrado en la figura 7, este procedimiento incluye el ciclo de vida del producto como requerimiento de la norma ISO 14000.

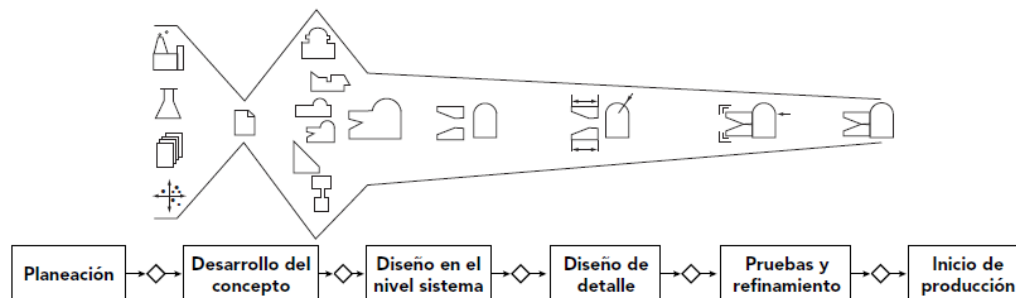



Figura 6. Método genérico y el ciclo de vida del producto.  
Ulrich K., Eppinger S., (2013)

 Sustituye a: Rev. N/A	TIPO DE DOCUMENTO: <b>PROCEDIMIENTO</b>	Ref. documento: R05-SP73-MX-P09	
	Revisión: 01	NOMBRE DEL DOCUMENTO: <b>DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS</b>	Vigente a partir de: 16/Abril/2018
			Página 1 de 4

**1.0 OBJETIVO:**

Describir las diferentes etapas del proceso de Diseño y Desarrollo de productos en MAPED SILCO que se consideran dentro del Ciclo de Vida (CV) del producto.

**2.0 ALCANCE**

Todos los nuevos productos desarrollados abarcando la materia prima, prototipos, materiales productivos y no productivos, pruebas, producción masiva y comercialización, así como las entradas y salidas de cada una de las etapas del sistema.

**El alcance del Ciclo de Vida de los productos existentes es de la puerta a la puerta.**

**3.0 DEFINICIONES**

**Ciclo de Vida (CV):** es una herramienta para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos.

**Entradas:** Uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada proceso del sistema.

**Salidas:** Emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso del sistema.

**Alcance del Ciclo de Vida:** Cuando el análisis de ciclo de vida recopila todas las entradas y salidas así como su cuantificación de todos los procesos que participan a lo largo del ciclo de vida: la extracción de materias primas y el procesado de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto, el transporte, almacenaje, distribución y finalmente su reciclaje y/o la gestión final.

**Definición de Objetivo y Alcance:** Define el objetivo y el uso previsto del estudio, así como el alcance de acuerdo con los límites del sistema, la unidad funcional y los flujos dentro del ciclo de vida, la calidad exigida a los datos, y los parámetros tecnológicos y de evaluación.


**Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV):** Es la fase del ACV en la que se recogen los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema de producto.

**Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV):** Es la fase del ACV en la que el inventario de entradas y salidas es trasladado a indicadores de potenciales impactos ambientales al medio ambiente, a la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales.

**Interpretación:** Es la fase del ACV en la que los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente. En esta fase se realiza un análisis de los resultados y se marcan las conclusiones.

**Concepto:** Es una descripción de la forma, función y características de un producto.

Elaboró: Juan Javier Quiroz Arriaga Director Técnico Fecha: 04/Abril/2018	Revisó: Juan Javier Quiroz Arriaga Director Técnico Fecha: 04/Abril/2018	Aprobó: Lorena Valle Rangel Ingeniero de Proyectos Fecha: 12/Abril/2018
--	---	--

 Sustituye a: Rev. N/A Revisión: 01	TIPO DE DOCUMENTO: <b>PROCEDIMIENTO</b>	Ref. documento: <b>R05-SP73-MX-P09</b>	
	NOMBRE DEL DOCUMENTO: <b>DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS</b>	Vigente a partir de: 16/Abril/2018 Próxima revisión: 16/Abril/2019	

**4.0 ABREVIATURAS**

- CV: Ciclo de Vida
- ACV: Análisis del Ciclo de Vida
- ICV: Inventario del Ciclo de Vida
- EICV: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

**5.0 RESPONSABILIDAD**

- Ingeniero de Desarrollo de Nuevos Productos
- Ingeniero de Proyectos

**6.0 DESARROLLO**

**Análisis de Ciclo de Vida (ACV):** Desarrollo de nuevos productos lleva a cabo el análisis de ciclo de vida (ACV) del producto para definir los Objetivos y alcance, Desarrollo del inventario de Ciclo de Vida (ICV), Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV) y finalmente la Interpretación que MAPED SILCO tendrá en el ciclo de vida (CV) de los nuevos desarrollos y en los existentes.


**Ciclo de Vida del Producto (CV):** Desarrollo de nuevos productos define el alcance del ciclo de vida en los nuevos productos y actuales.



Análisis del ciclo de Vida



Alcance del Ciclo de Vida

	TIPO DE DOCUMENTO: <b>PROCEDIMIENTO</b>	Ref. documento: <b>R05-SP73-MX-P09</b>	
	Sustituye a: Rev. N/A	NOMBRE DEL DOCUMENTO: <b>DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS</b>	Vigente a partir de: <b>16/Abril/2018</b>
Revisión: 01		Próxima revisión: 16/Abril/2019	Página 3 de 4



**Desarrollo de Productos**

	PLANEACION	DESARROLLO DEL CONCEPTO	DISEÑO NIVEL SISTEMA	DISEÑO DE DETALLE	PRUEBAS	PRODUCCION
MERCADOTECNIA & VENTAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir oportunidad de negocio</li> <li>- Definir segmentos de mercado</li> <li>- Definir volúmenes de venta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resobar necesidades de clientes</li> <li>- Identificar usuarios líderes</li> <li>- Identificar productos competitivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar plan para opciones de producto y familia extendida de productos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar plan de mercadotecnia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar promoción y lanzar materiales</li> <li>- Facilitar pruebas de campo</li> <li>- Desarrollar plan de ventas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poner la primera producción a disposición de clientes clave</li> </ul>
DESARROLLO & ADMON. DE PROYECTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar familia de producto</li> <li>- Evaluar nuevas tecnologías</li> <li>- Realizar Análisis del ciclo de vida del producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigar factibilidad de conceptos del producto</li> <li>- Desarrollar conceptos de diseño Industrial</li> <li>- Construir y probar prototipos experimentales</li> <li>- Investigar propiedad Intelectual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generar arquitecturas de producto</li> <li>- Definir subsistemas e interfaces principales</li> <li>- Refinar diseño Industrial</li> <li>- Ingeniería preliminar de componentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir geometría de piezas</li> <li>- Seleccionar materiales</li> <li>- Asignar tolerancias</li> <li>- Completar documentación de control de diseño Industrial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probar desempeño, confiabilidad y durabilidad generales</li> <li>- Obtener aprobaciones legales</li> <li>- Evaluar impacto ambiental</li> <li>- Implementar cambios de diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar los resultados de la primera producción</li> </ul>
INGENIERIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar restricciones de proceso</li> <li>- Demostrar tecnologías disponibles</li> <li>- Definir flujo de materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimar costo de manufactura</li> <li>- Evaluar factibilidad de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar proveedores para componentes claves</li> <li>- Efectuar análisis de fábrica vs. Compra</li> <li>- Definir esquema final de ensamble</li> <li>- Identificar servicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir procesos de producción de piezas</li> <li>- Diseñar herramienta</li> <li>- Definir procesos de aseguramiento de calidad</li> <li>- Iniciar adquisición de herramienta para fabricación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitar el inicio de producción de los proveedores</li> <li>- Refinar procesos de fabricación y ensamble</li> <li>- Capacitación personal</li> <li>- Refinar procesos de aseguramiento de calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iniciar operación de todo el sistema de producción</li> </ul>
FINANZAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicar metas de planeación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitar análisis económico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitar análisis de fabricar vs. comprar</li> </ul>			
LOGISTICA					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegura la entrega de las materias primas y componentes para primeras pruebas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inicia entrega de primeros pedidos a los clientes</li> </ul>
DIR. GENERAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asignar recursos al proyecto</li> </ul>					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión posterior del proyecto y lecciones aprendidas</li> </ul>

**Planeación:** Esta fase comienza por la identificación de las oportunidades guiada por la estrategia corporativa, y abarca la evaluación de los avances de la tecnología y los objetivos de mercado. El resultado de la fase de planeación es la declaración de misión del proyecto que especifica el objetivo comercial del producto, las metas comerciales, las suposiciones básicas y las limitaciones.

**Desarrollo del Concepto:** En la fase de desarrollo del concepto se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos alternativos del producto, y uno o más conceptos se seleccionan para desarrollo y pruebas adicionales. Este está acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos de la competencia y una justificación económica del proyecto.

**Diseño a Nivel Sistema:** Incluye la definición de la arquitectura del producto y la descomposición del producto en sub-sistemas y componentes. Los planes iniciales para el proceso y el esquema de ensamble final para el sistema de producción. La salida de esta fase comprende un diseño geométrico del producto, una especificación funcional de cada uno de los subsistemas y un diagrama de flujo preliminar del proceso para el ensamble final.

	TIPO DE DOCUMENTO: <b>PROCEDIMIENTO</b>	Ref. documento: <b>R05-SP73-MX-P09</b>	
	Sustituye a: Rev. N/A	NOMBRE DEL DOCUMENTO: <b>DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS</b>	Vigente a partir de: <b>16/Abril/2018</b>
Revisión: 01		Próxima revisión: <b>16/Abril/2019</b>	Página <b>4 de 4</b>

**Diseño de Detalle:** Incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancia de todas las partes estándar a ser adquiridas de proveedores. Se establece un plan de proceso y se diseña el herramental para cada pieza a ser fabricada dentro del sistema de producción. La salida de esta fase es la documentación de control del producto, es decir, los dibujos o archivos electrónicos de cada una de las piezas y su herramental, las especificaciones de las piezas compradas y los planes de proceso para la fabricación y ensamble del producto, el costo de producción y el desempeño del producto.

**Pruebas:** La fase de pruebas comprende la construcción y evaluación de versiones múltiples de pre-producción del producto. Los primeros prototipos se construyen con piezas de producción pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales a usarse en producción. Los prototipos se prueban para determinar si el producto funcionara como está diseñado y si el producto satisface las necesidades de los clientes.

**Producción:** En esta fase, el producto se hace usando el sistema de producción definido. El propósito del inicio es capacitar al personal y resolver cualquier problema en los procesos. Los productos elaborados en esta etapa son cuidadosamente evaluados para identificar cualquier falla.

#### 7.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

*Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca Gobierno Vasco, Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono, dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto, pág. 4-6, ed. lhobe s.a., Sociedad Publica de Gestión Ambiental noviembre 2009.*  
*Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, Diseño y Desarrollo de Productos Cap. 2 Procesos y Organización de Desarrollo, Proceso genérico de desarrollo de producto, pág. 14-16, quinta edición McGraw Hill 2012, ISBN 978-607-15-0944-4.*

#### 8.0 Procedimientos y formatos relacionados.

R05-SP73-MX-F19 Formato de cotización  
 R05-SP73-MX-F18 Check list de Nuevo Producto  
 R05-SP73-MX-P05 Etapas de Evolución del Producto  
 R05-SP73-MX-P08 Pruebas de Validación y mejora  
 SAP\_13 - Datos Maestros\_Rev01  
 SAP\_05 - Procesos de Ingeniería\_Rev01

#### 9.0 Formatos derivados.

#### 10.0 Control de Cambios.

Rev.	Editor	Descripción
01	J.J. Quiroz	Emisión del documento

Figura 7. Procedimiento de desarrollo de productos  
Maped Silco



### 3.1. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA

Una vez establecido el proceso de desarrollo de productos que determina las etapas desde la concepción hasta la entrega al cliente, se determina la metodología con la que se desarrollara el producto, desde la conceptualización hasta las primeras muestras. En la figura 8 se muestra una tabla comparativa de diferentes metodologías de solución de problemas, además, se agrega la metodología del Diseño axiomático.

Las metodologías de solución de problemas están diseñadas para solucionar problemas de una situación conocida y un proceso establecido, el Diseño Axiomático en cambio, conceptualiza una solución a partir de los requerimientos funcionales que debe cubrir una necesidad del cliente, esta solución parte de las necesidades definidas por el cliente en la primera etapa que son traducidas en parámetros de diseño que sirven para su fabricación y puesta en marcha.

8-D	4 Step	PDCA	6 Sigma DMAIC	Axiomatic Design
1- Form a team	1. Grasp current situation	Plan	Define	Know Customer Needs
2- Describe the problem			Measure	Define the problem to be solved
3- Implement containment actions	Analyze			Conceptualize the solution through synthesis; this involves the task of satisfying several different functional requirements using a set of inputs such as product design parameters within given constraints
4- Identify root cause		2. Understand the problem	Do	Improve
5- Choose & implement corrective actions	3. Set expectations	Check		
6- Evaluate results	4. Follow up	Act	Control	Check the resulting design solution to see if it meets the original customer needs
7- Prevent recurrence				
8- Congratulate the team				

Figura 8. Matriz comparativa de metodologías de solución de problemas  
Elaboración propia

Una vez que se ha determinado que se utilizara el diseño axiomático, se elabora el "Project Chart" con la información principal del proyecto, como se muestra en la figura 9.

**PROJECT CHART LINEA DE PRODUCTOS DE AGAVE**

<b>OBJETIVO</b>	Ofrecer una nueva linea de productos ecologicos con bioplasticos 100% biodegradables y compostables para reemplazar el uso de plasticos derivados del petroleo para cumplir con el requerimiento de ciclo de vida del producto
<b>LIDER DEL PROYECTO</b>	Juan Javier Quiroz Arriaga - Director de Ingenieria
<b>LINEA DE PRODUCTO</b>	GREEN LOGIC, linea de oficina
<b>PROVEEDOR</b>	PENKA_BIOSOLUTIONS (Soluciones Bioegradables de Mexico S.A. de C.V.)
<b>TIPO DE PRODUCTOS</b>	Compuestos y materiales bioplasticos de fibras naturales a base de agave en base PP y PE para transformacion
<b>DIRECCION</b>	Rodrigo de Triana Colonia Vallarta Norte, Guadalajara Jalisco
<b>WEBSITE</b>	<a href="http://www.penka.mx">http://www.penka.mx</a>
<b>TEL</b>	01 800 0101246 / 33 3810 1077
<b>CONTACTO</b>	ERNESTO AMEZCUA / ANA LABORDE
<b>SITUACION</b>	Muestras en planta (25 Kg.)
<b>COSTO</b>	2.48 USD/Kg
<b>MODO DE EMPLEO</b>	Se recomienda una mezcla de 25% con PP en relacion al aspecto deseado
<b>PROPUESTA DE DESARROLLO</b>	TABLA SUJETAPAPELES, REVISTERO, CHAROLAS PORTAPAPELES
<b>COSTO BENEFICIO</b>	Se anexa cotizacion con diferentes escenarios
<b>FASES</b>	Primeras muestras: julio 2018, muestras comerciales: septiembre 2018, inicio de produccion: octubre 2018




Figura 9. "Project Chart"  
Maped Silco

Con la información general del proyecto, se elabora una proyección del consumo tomando como punto de partida el año 2018 y proyectando los dos siguientes años para evaluar el impacto en la huella de carbono, es importante anotar que los datos presentados, muestran un valor actualizado para el año 2020 impactado por la baja de volumen debido a la pandemia. A continuación, la figura 10 muestra la estimación de la reducción significativa en la huella de carbono (Kg CO<sub>2</sub> eq) en un periodo de tres años al reemplazar el polipropileno un 30% con la resina de agave entre 2018 y 2019 siendo ambos años típicos de consumo.

Para realizar el cálculo de la huella de carbono se utiliza la tabla emitida por ECOINVENT (<http://www.ecoinvent.org>), por lo tanto, la primera estimación muestra un beneficio que este proyecto trae consigo.

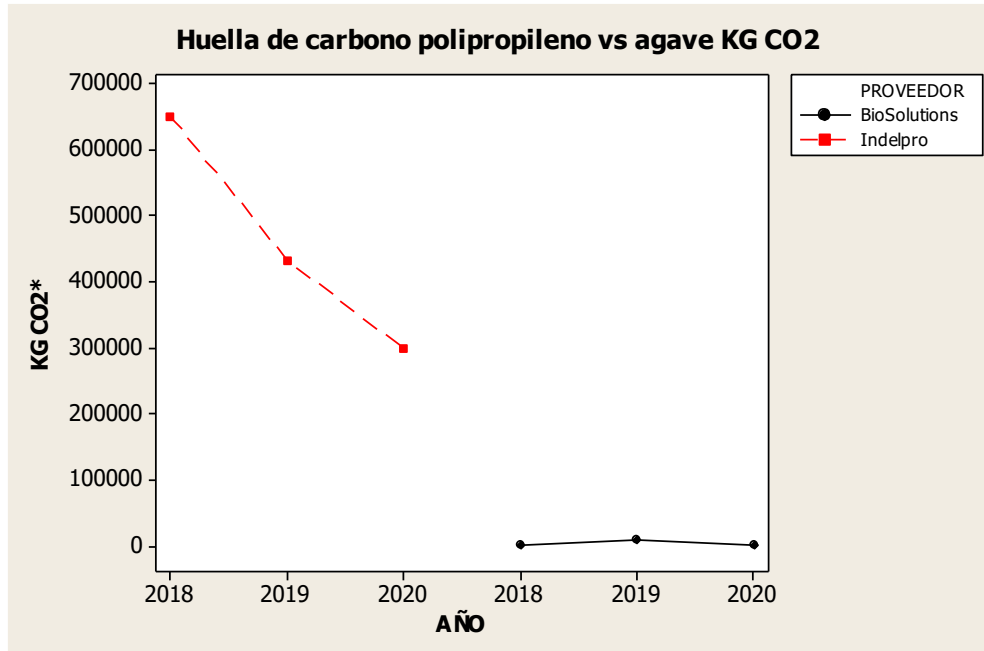


Figura 10. Proyección 3 años huella de carbono Polipropileno vs. Agave  
Elaboración propia

A continuación, se procede con la elaboración de la estimación de costos del revistero, esta primera estimación se presenta como una aproximación sin datos de consumos ni tiempos de procesos reales y sirve como referencia para la ilustración del proceso de desarrollo.

La figura 11 muestra la tabla de estimaciones que se presenta en la revisión de proyectos para su evaluación por parte de la Dirección General, Dirección de ventas y gerencia de mercadotecnia, La dirección de Ingeniería es responsable de la estimación inicial y definición del costo final para la liberación del producto antes de inicio de producción.



Figura 11. Resumen de estimación de costos Polipropileno vs. Agave Maped Silco

Con la aprobación por parte del comité directivo, se da inicio al proyecto, como siguiente paso, se presenta el plan general de desarrollo (Gantt) que se puede observar en la figura 12.

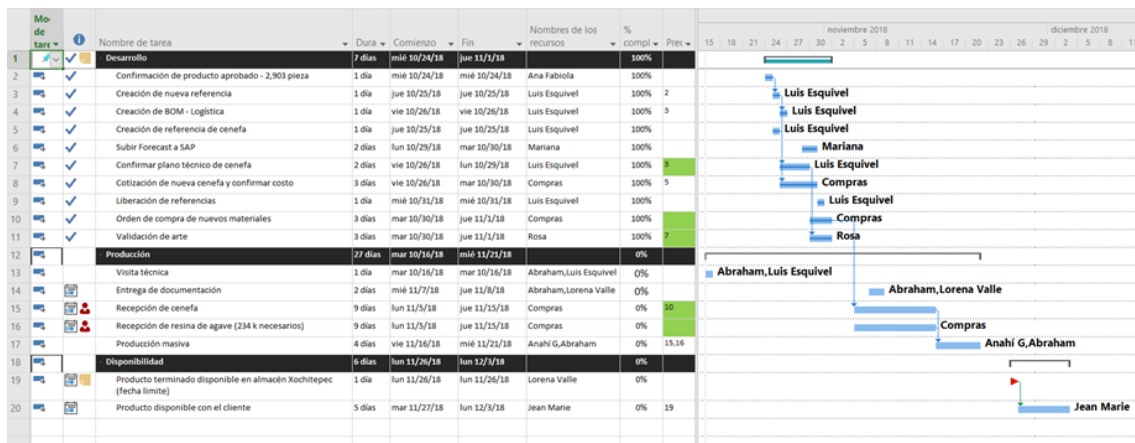


Figura 12. Plan general de desarrollo de productos de agave (Gantt) Maped Silco

Finalmente, comenzamos con la ejecución de la metodología de Diseño Axiomático para determinar e identificar los atributos del cliente:

*CA: Manufactura de un producto de oficina con contenido de bio - plástico para reducir la huella de carbono por medio de la sustitución de resina fósil.*

Durante el análisis del diseño, se definen las entradas de este, estas entradas son los parámetros de diseño, la siguiente ecuación describe este análisis:

$$FR = f_a(DP)$$

En donde;  $f_a()$  indica que la "función de" satisface, es decir, los parámetros de diseño y los requerimientos funcionales representan cuantitativamente al sistema, esta aseveración se reescribe de la siguiente forma:

$$FR = f_a(DP)$$

En la cual, la primera derivada nos da:

$$\Delta FR = [B] \Delta DP$$

Reemplazando los valores de los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño por la voz del cliente, se obtiene la matriz de los atributos del cliente (CA):

Bio – plástico disponible	Costo de la resina biobasada vs costo resina fósil	Compatibilidad con producto existente
Factibilidad de desarrollo	Diferenciación del producto	Manufacturabilidad
Huella carbono tCO2 eq del bio - plástico	Nicho de mercado	Huella de carbono tCO2 eq producto terminado
Resina bio – basada de celulosa	Productos similares de la competencia	Reemplazo resina fósil
Producto actual base polipropileno a desarrollar	Emisiones de vapores durante la inyección	Inversión adicional para el desarrollo
Moldes de inyección especial	Aceptación en el mercado	Uso de pigmentos
Ciclo de vida del producto	Propiedades físicas del producto	Propiedades mecánicas del producto

En función del Axioma 1 que nos indica que los requerimientos funcionales deben ser mutuamente exclusivos y colectivamente exhaustivos una vez hecho esto, usaremos el Axioma 2 que se refiere a minimizar el contenido de la información del diseño, así, traduciremos los atributos del cliente en requerimientos funcionales (FR) y parámetros de diseño (DP) del desarrollo del producto; los FR y DP de alto nivel pueden definirse como:

*FR0: Desarrollo de productos con bio - plástico*

*DP0: Reducción de huella de carbono t CO<sub>2</sub> eq.*

La descripción del valor para el cliente puede ser descrito como la suma de todas las consideraciones que tienen un impacto en el resultado esperado en la manufactura potencial de este producto. A continuación, se descompone y se mapea el proceso de requerimientos funcionales (FR) y parámetros de diseño (DP), siguiendo cada uno de los requerimientos funcionales, estos deben ser convertidos en soluciones prácticas de diseño o parámetros de diseño, en la primera descomposición la matriz de requerimientos funcionales y parámetros de diseño quedaría como sigue:

<b>FR1</b>	Bio – plástico disponible	<b>DP1</b>	Compatibilidad con producto existente
<b>FR2</b>	Factibilidad de desarrollo	<b>DP2</b>	Manufacturabilidad (costo-beneficio)
<b>FR3</b>	Huella carbono tCO2 eq del bio - plástico	<b>DP3</b>	Huella de carbono tCO2 eq producto terminado

La Matriz de diseño (DM) se describe como sigue:

$$\{FR\} = [DM]\{DP\}$$

Sustituyendo los FR's y DP's la matriz en el primer nivel jerárquico queda:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} \begin{pmatrix} X & X & 0 \\ X & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix}$$

La matriz de diseño muestra un diseño desacoplado, quiere decir que, FR's no son distinguibles unos de otros, en este caso es una matriz triangular con un patrón de diseño dependiente útil, por esta razón debemos seguir una secuencia en la implementación de DP's para reducir la complejidad del sistema y prevenir un ciclado en el diseño. Continuando con la reducción de FR's, la matriz de descomposición de parámetros de diseño DP1 en el segundo nivel jerárquico sería:

<b>FR11</b>	Resina bio – basada de celulosa	<b>DP11</b>	Producto actual base polipropileno
<b>FR12</b>	Reemplazo resina fósil	<b>DP12</b>	Inversión adicional para el desarrollo

Nuevamente, sustituyendo los FR's y DP's del segundo nivel jerárquico en la matriz de diseño DM quedaría así:

$$\begin{Bmatrix} FR11 \\ FR12 \end{Bmatrix} \begin{pmatrix} X & X & 0 \\ X & X & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} DP11 \\ DP12 \end{Bmatrix}$$

Traduciendo la matriz de diseño en indicadores clave de la función de desarrollo de productos, obtenemos lo siguiente:

*DP: Resistencia al impacto = > 30KgF*

*FR: Costo del producto mezcla agave/polipropileno = +10% vs. Costo actual*

La resina seleccionada deberá cumplir con los indicadores mencionados y además de pasar la evaluación cosmética por apreciación, al ser un criterio subjetivo no se expresa dentro de los requerimientos funcionales.

La búsqueda de alternativas lleva a seleccionar a la resina bio-basada de celulosa para reemplazo en artículos hechos de polipropileno. Habiendo múltiples opciones, un criterio utilizado fue la disponibilidad de resinas para la producción industrial y no artesanal, las opciones identificadas son:

- Resina bio-basada de fibra de Agave.
- Resina bio-basada de almidón de maíz.

Las resinas bio-basadas, son mezclas de plásticos tradicionales como es el polipropileno y almidón en el caso del maíz (Biorene) y de celulosa de fibra de agave azul tequilana Weber (PolyAgave) obtenida del bagazo resultado del proceso de elaboración del tequila, estas resinas se encuentran disponibles en el mercado, son de producción nacional y cuentan con patentes registradas ante el IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual) así como diversas certificaciones internacionales para su uso.

NOTA: Por cuestiones de confidencialidad y propiedad intelectual de la organización, no se mostrarán los parámetros ni características del proceso de inyección y tampoco se mencionarán los costos finales de los productos finales,

A continuación, se muestran los estudios cuantitativos utilizados para la definición de la mezcla de resina en relación con las características de cada una y de la mezcla de estas se muestra a continuación:



MATRIZ DE CARACTERISTICAS DE RESINAS		
RESINA	Indice de fluidez (MFR) g/10 min	Densidad g/cm <sup>3</sup>
Polipropileno 100%	12.00	0.900
PolyAgave 100%	8.46	0.981
Mezcla PP-Agave	10.35	0.917

La hipótesis nula y alterna en relación con las características físicas de las resinas son las siguientes:

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): La resina de agave tiene impacto en la fuerza de impacto

Hipótesis Alterna ( $H_1$ ): La resina de agave no tiene impacto en la fuerza de impacto

En la prueba de normalidad de la figura 13, los diferentes porcentajes probados muestran un comportamiento normal dentro de los límites de especificación de la prueba de impacto (P-value > 0.260), el valor P de la prueba indica un comportamiento estable de todas las muestras, por lo tanto, las siguientes pruebas de varianza determinaran el mejor resultado con las diferentes mezclas de resina de agave que cumple con los dos indicadores clave, resistencia (DP) y costo (FR)

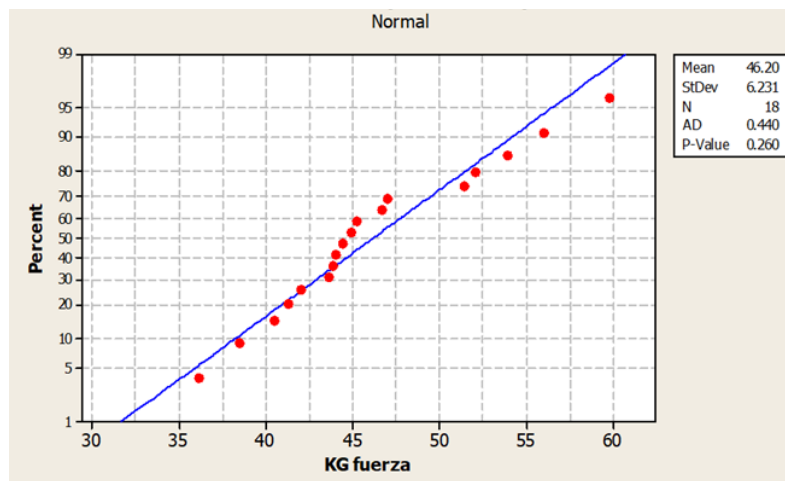


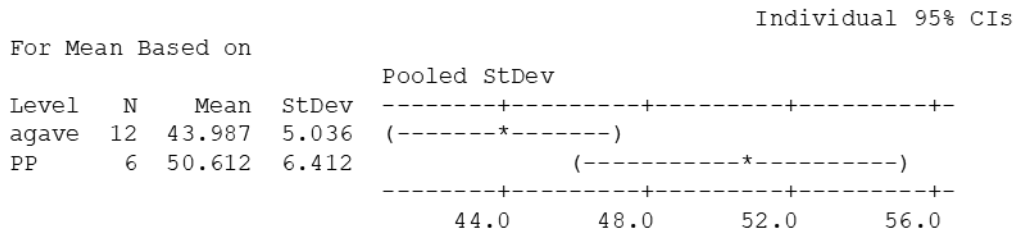
Figura 13. Prueba de normalidad de la prueba de impacto Kg fuerza  
Elaboración propia

El análisis de varianza en donde se compara la fuerza de impacto de la mezcla de agave + polipropileno vs. Polipropileno, muestra que la resistencia de la primera es menor aun y cuando ambos se encuentran dentro de los valores de la

especificacion. Se hara una segunda prueba separando las muestras por diferencia de porcentaje de mezcla.

Source	DF	SS	MS	F	P
resina	1	175.6	175.6	5.80	0.028
Error	16	484.5	30.3		
Total	17	660.1			

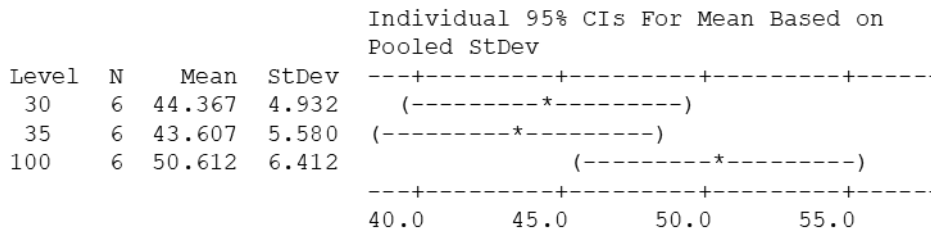
S = 5.503 R-Sq = 26.60% R-Sq(adj) = 22.01%



El resultado de la segunda prueba, separando las muestras por porcentajes, muestra que, a porcentaje menor de resina de agave, la fuerza de impacto incrementa, solo resta encontrar el valor adecuado que cumpla también con el costo final del producto.

Source	DF	SS	MS	F	P
porcentaje	2	177.3	88.6	2.75	0.096
Error	15	482.8	32.2		
Total	17	660.1			

S = 5.673 R-Sq = 26.86% R-Sq(adj) = 17.11%



## 4. RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas de inyección con los parámetros de moldeo definidos, así como de la mezcla de bioplástico de agave y resina polipropileno, las piezas se envían a laboratorio para validación de propiedades mecánicas, se toma como parámetro de aprobación el cumplimiento de los mismos valores de una pieza con 100% de resina polipropileno. Los resultados se muestran a continuación en la figura 14:



Figura 14. Resultados de la validación de propiedades mecánicas del revistero y charola portapapeles de acuerdo a protocolos de validación Maped Silco

Una vez que las propiedades de cada producto fueron aprobadas por el área de calidad, se liberan las referencias para venta y posterior producción masiva. A continuación, en las figuras 15 a 18, se muestran los productos resultantes de este desarrollo:



Figura 15. Primeros productos de oficina fabricados con Bio-plásticos de agave (revistero, Tabla de escritura, Charola porta papeles)  
Catálogo MAPED 2020



Figura 16. Productos de oficina con Bio plásticos bio-basado de Agave Catálogo MAPED 2020



Figura 17. Segunda generación de productos Bio plásticos, línea de lapiceras escolares fabricados con Bio-plástico bio-basado de agave y fécula de maíz. Catálogo MAPED 2020



Figura 18. Productos de oficina con Bio plásticos de Agave del Catálogo MAPED 2020

Estos productos se encuentran en proceso de registro ante el IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual) De acuerdo a la ley federal de protección a la propiedad intelectual (DOF 01-07-20) Título Cuarto capítulo I De las marcas artículo 171 y 172.

A inicios del segundo semestre de 2019 se comenzo con la iniciativa de reducción de la huella de carbono a nivel grupo, esta actividad dirigida por las oficinas corporativas en Francia es soportada por un consultor externo, como entidad de manufactura nuestra participación directa es la medición de la condición actual así como definir el plan de mejora para la reduccion de CO<sub>2</sub> eq.

El siguiente documento mostrado en la figura 19 muestra el método de recolección de datos para el cálculo de las emisiones por categoría.

Site ou entité concernée / site or entity concerned		SILCO	MEXICO	
Pays / Country				
	<b>Onglets   tabs</b>	<b>Person in charge</b>	<b>To fill with 2018 data</b>	<b>Etat d'avancement / Progress</b>
Commercial Subsidiaries	<a href="#">Bâtiment   Building</a>	ENGINEERING	To fill for factory and external warehouse	COMPLETE
	<a href="#">Énergie   Energy</a>	EHS	2018 Consumptions	COMPLETE
	<a href="#">Froid   Cold</a>	ENGINEERING	To fill if you have data	COMPLETE
	<a href="#">Procédés   Processes</a>	ENGINEERING	To fill if you have data	COMPLETE
	<a href="#">Déplcmts d-t   h-w travels</a>	HR	HR has to estimate globally (number of people, type of transport (foot, bus, car, train), estimate average km) or to manage a short survey.	COMPLETE
	<a href="#">Déplcmts pro   Prof. Travels</a>	PURCHASING	To fill with global value given by travel agency	COMPLETE
	<a href="#">Véhicules   Vehicles</a>	FINANCE	2018 Yearly Oil cost for company divided by average price of oil for car = 2018 Oil volume	COMPLETE
	<a href="#">Matières prem.   Raw material</a>	PURCHASING	To fill with main raw materials used for manufacturing (Examples: PS, PP, ABS, Steel, wood,.....)	COMPLETE
	<a href="#">Transport 1 (supplier--&gt; mapped)</a>	PURCHASING	To estimate globally transportation for goods received for production	COMPLETE
	Containers flow Group	<a href="#">Transport 2 (intercompany)</a>	CEDIS	Manufacturing: To calculate the number of containers and other intercompany transfers linked with your production.
<a href="#">Transport 3 (Mapped --&gt; customers)</a>			Customers deliveries: You can estimate globally (example: 2018 Sales logistic cost x 25%= 2018 oil cost)	COMPLETE
<a href="#">Achats   Purchases</a>		PURCHASING	To fill	COMPLETE
Group Sales 2018	<a href="#">Prod. fourm.   Suppliers prod.</a>	PURCHASING	To fill	COMPLETE
	<a href="#">Fin de vie   End of life</a>	HCC / Group Level	We will estimate globally / No need to fill	COMPLETE
	<a href="#">Immobilisations   Fixed assets</a>	FINANCE	To fill for main equipment (like injection machine or Extrusion line) & Computers	COMPLETE
	<a href="#">Déchets   Waste</a>	EHS	To fill	COMPLETE

Figura 19. Formato de colección de datos huella de carbono por categoría Maped Silco

La información de las emisiones se convierte con la tabla de equivalencia a Kg CO<sub>2</sub> eq. mostrada en la figura 20, con esta tabla se calcula la condición actual y posterior medición del resultado de las acciones definidas para la reducción por cada actividad.

Impact category	Database		Climate change
Unit (kg)			kg CO2 eq
ABS	Ecoinvent	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant/RER U	4.39
Acrylic	Ecoinvent	Nylon 66, at plant/RER U	8.01
Aluminium, sheet product	European Commission, JRC-IES	aluminium semi-finished sheet product, including primary production, transformation and recycling	3.20
Glue	FDES		0
Graphite	Ecoinvent	graphite production	
MAPE D plastic compound	Envoléa		2016 1.66
Mirror coated paper	Ecoinvent	Kraft paper, bleached, at plant/RER U	1.68
Paraffin	Ecoinvent	Diethylene glycol, at plant/RER U	1.07
Pigments	Ecoinvent	Pigments, RER	0.51
PBT	BUWAL	PB 825D (1998)	3.65
PC	Ecoinvent	Polycarbonate, at plant_/RER U	7.78
PC recycled	Database	PC - 100% recycled - 50/50 allocation	3.99
PEHD	Ecoinvent	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant_/RER U	1.93
PET	Ecoinvent	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant/RER U	2.89
PET recycled	MAPE D Database	Bottle PET - 100% recycled - 50/50 allocation	1.54
PLA	Ecoinvent	Poly lactide, granulate, at plant/GLO U	3.11
POM	Ecoinvent	Polymethyl methacrylate, beads, at plant/RER U	7.12
PP	Ecoinvent	Polypropylene, granulate, specific, at plant/RER U	1.97
PP recycled	Database	PP - 100% recycled - 50/50 allocation	1.08
PS	Ecoinvent	Procédé Polystyrène, granulés (PS), RER	3.50
PVC	Base Impact	PVC calandré en film, RER	2.90
Rivet	Envoléa		2016 3.26
Steel, chromium steel 18/8, converter	Ecoinventv2, Envoléa 2016	Steel, chromium steel 18/8 (RoW)   steel production, converter, chromium steel 18/8   Alloc Rec, U	4.90
Recycled steel, chromium steel 18/8, electric	Ecoinventv2, Envoléa 2016	Steel, chromium steel 18/8 (RoW)   steel production, electric, chromium steel 18/8   Alloc Rec, U	4.45
Steel pickled hot rolled coil	Base Impact	Acier inoxydable, rouleaux, laminés à froid (304)	2.20
Steel, plate	Base Impact	Acier, plaque	2.50
Recycled steel wire	Envoléa 2016	Steel wire (electric)	5.71
Steel wire	Envoléa 2016	Steel wire (converter)	6.17
Santoprene	Ecoinvent	EPDM rubber ETH_U	3.26
Silicone	Ecoinvent	Silicone product, at plant_/RER U	2.71
Rubber	Ecoinvent	Synthetic rubber, at plant/RER U	2.64
Wood	Base Impact	Procédés Bois d'oeuvre de feuillus, 1 pouce d'épaisseur, sylviculture non durable, 1kg, RER	0.56
Zamak	Envoléa		5.60
<b>Packaging</b>			
<b>Catégorie d'Impact</b>		<b>Impact category</b>	<b>Climate change</b>
Unit (kg)		Unit	kg CO2 eq
Card board, single wall	Ecoinvent	Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER 5	0.93
Unbleached card board	Ecoinvent	Solid unbleached board, SUB, at plant/RER U	0.90
PET	Ecoinvent	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant/RER U	2.89
PVC	Base Impact	PVC calandré en film, RER	2.90
HDPE	Ecoinvent	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER 5	1.93
<b>Packaging process</b>			
<b>Catégorie d'Impact</b>		<b>Impact category</b>	<b>Climate change</b>
Unit (kg)		Unit	kg CO2 eq
Printing & cardboard box production		Production of carton board boxes, offset printing, at plant/CH 5	0.36
Thermoforming		Thermoforming, with calendaring/RER U	0.79

Figura 20. Tabla de conversión a Kg de CO2 por categoría Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.org>)

Por último, en la figura 21 se muestra el indicador del resultado de cada una de las acciones en lo individual y su impacto en el resultado total en la reducción de tCO<sub>2</sub> eq, en nuestra actividad específica se indica la mejora obtenida por la sustitución de resina fósil por resina bio-basada.



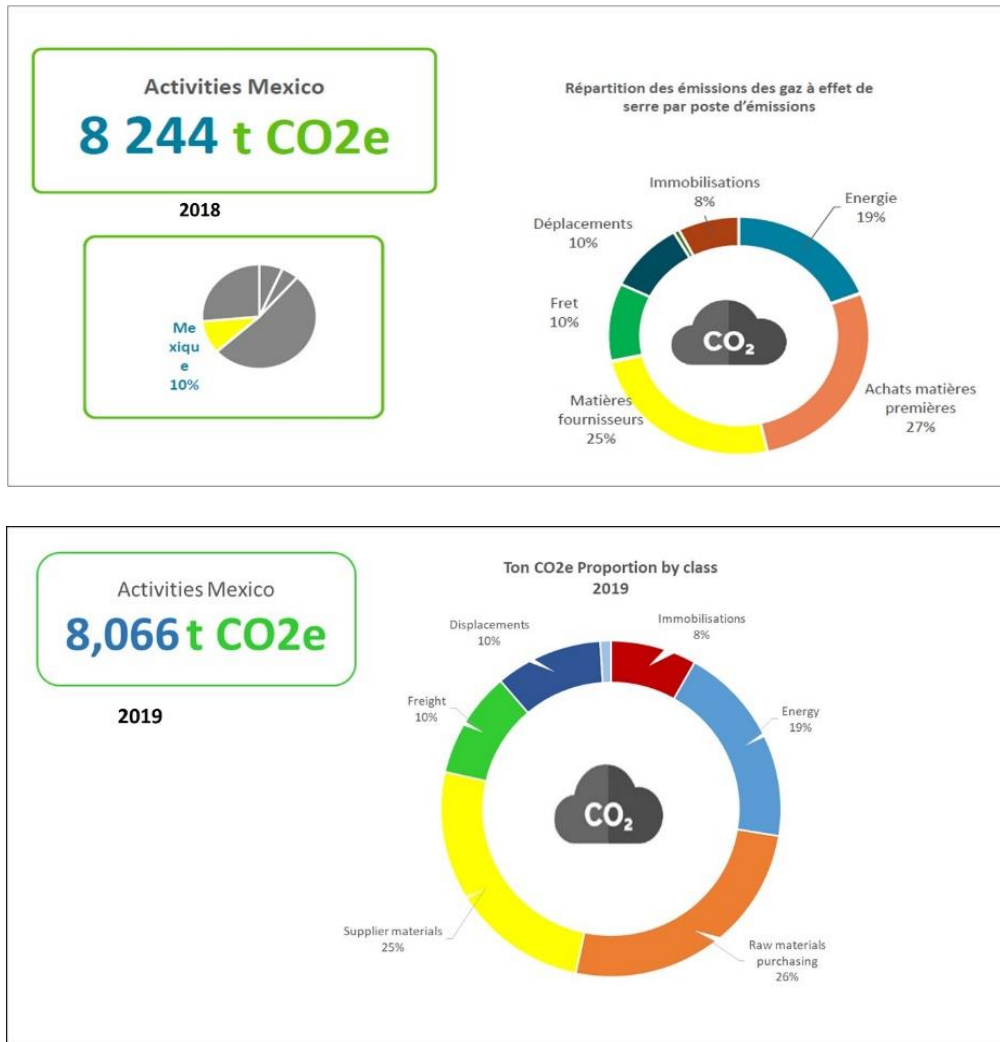


Figura 21. Métrico para evaluación de la reducción de tCO<sub>2</sub> eq. 2018-2020  
 Maped Silco

## CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se estudió el uso de bio plásticos en productos escolares y de oficina utilizando resina bio basada, se detectaron e identificaron a los fabricantes nacionales de estos bio plásticos, y se utilizó la metodología del Diseño Axiomático para el proceso de desarrollo del producto. Se confirmó que el uso de esta resina es factible para la fabricación de dichos productos al cumplir con las características de estos como los análisis estadísticos lo comprueban, los criterios de evaluación o aceptación dependerán de cada fabricante,

El producto final cumplió con el objetivo de la mezcla de resina fósil y resina bio basada en la proporción <50%, este resultado representa el primer intento exitoso conocido dentro de un mercado poco explotado en la industria de artículos escolares y de oficina, esto abre la puerta a un nuevo negocio que requiere más empuje para reemplazar a los productos hechos de plástico derivado de materias primas fósiles.

La integración del Diseño Axiomático como una herramienta de desarrollo de nuevos productos en el proceso de mejora continua se logró con éxito ya que el proceso de desarrollo quedo plasmado dentro de un procedimiento de la organización lo que facilitó la estandarización de la forma en la que futuros productos seran desarrollados dentro de la organización.

## RECOMENDACIONES

En el mercado se encuentra una variedad de materiales que pueden ser utilizados en diferentes tipos de productos, el éxito en este desarrollo nos lleva a extender y diversificar los materiales y los productos, abarcando también a los materiales de empaque de un solo uso.

Los investigadores interesados en continuar esta investigación podrían concentrarse en las diferentes alternativas compatibles disponibles en el mercado con algunas resinas plásticas fósiles de uso común, lo extensivo de las pruebas, es directamente proporcional a la aplicación específica en la que se utilizara el bio plástico.

El producto tendrá características diferenciadoras en comparación con el resto de los productos de la competencia y su fabricación no representa dificultad. Estos productos pueden encontrarse actualmente en las diferentes tiendas de papelería y oficina.

## **APORTACIÓN DE LA TESIS**

La utilización de bio plásticos en productos de consumo masivo es posible, no existe riesgo en la sustitución de las resinas fósiles en una proporción, la mezcla de ambas resinas mejora las propiedades del producto y/o mantienen las originales, las compañías deben apostar por este tipo de resinas y deben ser los primeros en definir la tendencia en su uso, este trabajo demuestra que es posible procesar dichos materiales de manera prácticamente similar a una resina fósil.

Por otro lado, es importante el empuje que se puede dar a las empresas mexicanas que están desarrollando este tipo de materiales con productos naturales representativos como son el agave y el maíz, dándole identidad a los mismos.

Finalmente, la ingeniería mexicana pone una vez de manifiesto, la gran capacidad de creatividad e iniciativa para colocarse a la vanguardia en el desarrollo de productos únicos con características diferenciadores y únicas en el mundo.

## **APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS**

El desarrollar productos con materiales alternativos que ayuden a la conservación del medio ambiente y del planeta es una responsabilidad social de cada organización y parte de su cultura de innovación. El reemplazo de plásticos fósiles es posible, las organizaciones deben afrontar su responsabilidad social e iniciar la transformación de sus productos, la reducción en el consumo de plásticos fósiles tiene un impacto directo en el ambiente, la creatividad del equipo permite explorar otras opciones de mejora, la metodología de mejora permite evaluar todos los aspectos necesarios para hacer un desarrollo simple y rápido. La organización debe apostar a estos materiales en lugar de buscar opciones más baratas por el aspecto de utilidad únicamente.

## REFERENCIAS

- BI ZM. Revisit System, (2011). *Architecture for Sustainable Manufacturing*. Journal of Management Analytics 3 (9), 1323-1340. doi: <https://orsociety.com/toc/tjma20>
- BI ZM, Cochran DS., (2014). *Big Data Analytics with Applications*. Journal of Management Analytics 1(4), 249-265. doi: <https://orsociety.com/toc/tjma20>
- BI ZM, Xu LD, Wang C., (2014). *Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing*. IEEE Transactions on Industrial Informatics 10(2), 1537-1546. doi: <http://www.ieee-ies.org/pubs/transactions-on-industrial-informatics>
- Black T., Hunter S., (2003). *Axiomatic design principles*. BK03PUB2\_E\_CH-4, SME.
- Brown T., (2009). *Change by Design How design Thinking Transforms Organizations and Inspire Innovation*. United States: Harper Collins Publishers.
- Capuzo S., (2004). *Ecodiseño*. México: Alfaomega/Universidad Politécnica de Valencia. (pp. 33, 54, 55, 45, 111).
- García B., (2008). *Ecodiseño, nueva herramienta para la sustentabilidad*. México: Designio Libros de Diseño. (pp. 32, 44, 47, 56, 57, 59-64).
- Harry M., (1994). *The Vision of Six Sigma*. Sigma Publishing Company.
- Hassan S., (2008). *New Product Introduction*. TP08PUB31, SME.
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C., (2015). *Sistema de gestión ambiental-Requisitos con orientación para su uso*. NMX-SAA-14001-IMNC-2015, ISO 14001:2015 (pp. 9-10).
- Matt T., (2009). *Design of Lean Manufacturing Support Systems in Make - to Order Production*. Key Engineering Materials 410-411; 151-158
- McDonough W., Braungart M., (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*. Nueva York; North Point Press.
- Rauch E., Dallasega P., Dominik M., (2015). *Axiomatic Design Based Guidelines for the Design of a Lean Product Development Process*. Procedia CIRP 34 112-118. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.005>

Riele H., Zweers A., (1994). *Eco-Design: Acht worbeelden van milieugerichte productontwikkeling (Ecodiseño. Ocho ejemplos de diseño ambiental de productos)*. Deutch: TNO Produktcentrum, in samenwerking met TU Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen

Sawaguchi M., (2006). *On the potentially of Triz in MoT (Management of Technology) Field*. Proceedings of the Etria Triz future conference volume2 (pp. 9-17).

Suh P., (1998). *Axiomatic Design Theory for Systems*. Research in Engineering Design 10: 189-209 Springer-Verlag London Limited.

Suh P., (2000). *Axiomatic Design: Advance and Applications*. New York: Oxford Press.

Toyota O., (1988). *Production System: beyond large-scale production*. Productivity press.

Ulrich K., Eppinger S., (2013). *Diseño y Desarrollo de productos*. México: McGraw Hill. (pp. 2-6, 12-14).

Womack P., Jones T., (1996). *Lean Thinking*. New York: Simon and Schuster.