

APLICACIÓN DE DISEÑO AXIOMÁTICO EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS ESCOLARES CON PLÁSTICOS BIO-BASADOS

IM. MA. Juan Javier Quiroz Arriaga¹, DR. Miguel Alejandro Garcia Vidales²

Resumen— En este artículo se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en la empresa Maped® en el que se desarrollaron productos escolares y de oficina con plásticos Bio basados, estos provienen de desechos de productos primarios como bagazo de agave y celulosa de maíz fabricados en México y que son aprovechados para transformarlos en materias primas para la elaboración de productos de consumo masivo.

Su aplicación y procesamiento encuentra ciertas dificultades al carecer de información en comparación con otras resinas lo que hace que sus características particulares tengan un comportamiento único. Con la aplicación del diseño axiomático fue posible determinar las características específicas de los productos igualando a los originales reduciendo el uso de plásticos derivados del petróleo.

Palabras clave—Bio basados, Diseño Axiomático, Desarrollo de productos, huella de carbono, ciclo de vida.

Introducción

El uso de resinas bio basadas en artículos de consumo masivo todavía es un terreno poco explotado en la industria del plástico, aunque su explotación se encuentra en una etapa temprana a nivel mundial, ya algunas compañías han desarrollado diferentes productos, desde botellas, partes automotrices, artículos promocionales, artículos de limpieza, artículos de oficina y papelería, etc.

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

Este trabajo de desarrollo se centra en el uso de resina bio plástica (bio basada) a base 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 PENKA® compañía mexicana con tecnología propia patentada.

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.

Descripción del Método

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 deben 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.

Como parte 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 sistema de gestión ambiental ISO-14000, el control de emisiones, generación de residuos y recientemente ciclo de vida del producto, es este último el precursor de la búsqueda de alternativas para materiales alternos. Es en esa búsqueda que se identifican algunas

¹ El Ing. Juan Javier Quiroz Arriaga es Director Técnico en la empresa Maped Silco s.a. (autor corresponsal)

² El Dr. Miguel Alejandro Garcia Vidales es Profesor en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, México

materias disponibles y elaboradas en México, en este artículo, se habla sobre el caso específico de la resina PolyAgave® que es un bio plástico bio basado de Polipropileno y celulosa de agave, en la figura 1 se muestra el proceso de obtención de la resina a partir del bagazo de agave hasta un producto final.



Figura 1. Proceso de elaboración de resina y producto final facilitada por PENKA®

Al estudiar las propiedades y características de la resina, es necesario conceptualizar el diseño del producto determinando los principales factores para un lanzamiento exitoso, estos son: Calidad, Costo y Necesidad del cliente, es en este punto en donde el diseño Axiomático.

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. [1]

El Diseño Axiomático permite identificar dichas ventajas para justificar este desarrollo al delimitar diferentes actividades del diseño con sus cuatro dominios: Dominio del cliente, Dominio funcional, Dominio físico y Dominio del proceso, Diseño involucra una interpretación entre “que se quiere lograr” y “como escoger la necesidad a satisfacer”. Esta estructura de dominios se muestra en la figura 2.

El dominio de la izquierda en relación al dominio de la derecha representa “que se quiere lograr”, El dominio de la derecha representa la solución de diseño para “como se propone satisfacer los requerimientos específicos del dominio de la izquierda.

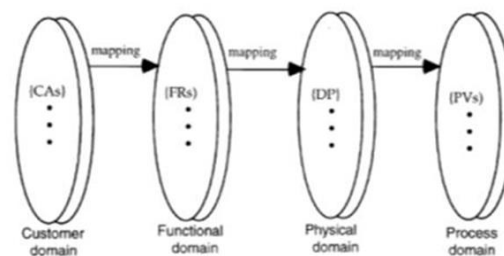


Figura 2. Cuatro dominios del mundo del diseño. {x} son vectores característicos de cada dominio

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 (FR's) y restricciones (C's). Para satisfacer los FR's, es necesario concebir parámetros de diseño (DP's) en El dominio físico. Finalmente, para producir el producto especificado en términos de DP's, en El dominio de proceso se desarrolla un proceso que es caracterizado por variables de proceso (PV's). Muchas aparentan diferentes tareas en muy diferentes campos.

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 FR's específicas.
- *Variables de Proceso*; son las variables clave en el dominio de proceso que caracteriza el proceso con el cual se puede generar las DP's especificadas.
- Primer Axioma, Axioma de independencia; este establece que la independencia de los requerimientos funcionales (FR's) deben siempre ser mantenidos donde fueron definidos como el mínimo número de requerimientos funcionales independientes que caracterizan el objetivo del diseño.
- Segundo Axioma, 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 FR's y la 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 3 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, En la figura 3, 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 [2].

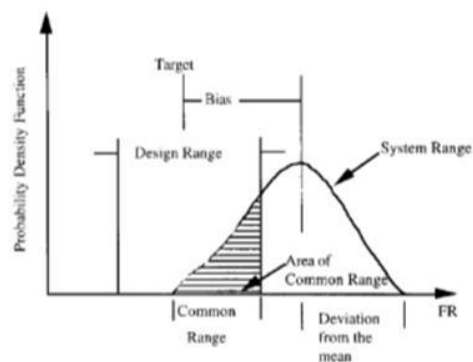


Figura 3. Rango de Diseño, Rango de Sistema y Rango común en una función de área de densidad de probabilidad (pdf) de un requerimiento funcional. La desviación desde la media es igual a la raíz cuadrada de la Varianza.

De esta manera iniciamos con la identificación de los atributos del cliente (CA)

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,*

En el cuadro 1 podemos observar un corolario de axiomas identificados por los clientes internos y externos

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

Cuadro 1. Corolario de axiomas identificados por clientes internos y externos

En un siguiente paso, estos axiomas se transformaran en requerimientos funcionales (FR´s) y parámetros de diseño (DPs´s) 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 CO2 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´s) y parámetros de diseño (DP´s), siguiendo cada uno de los requerimientos funcionales, estos deben ser convertidos en soluciones prácticas de diseño o parámetros de diseño, en el cuadro 2 se muestra la primera descomposición

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

Cuadro 2. Tabla de primera descomposición de Requerimientos Funcionales (FR´s) y Parámetros de Diseño (DP´s)

Entonces, 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, lo que indica que, los FR´s no son distinguibles unos de otros, en este caso es una matriz triangular con un patrón de diseño dependiente útil, así que continuamos la secuencia de implementación de DP´s para reducir la complejidad del sistema y prevenir un ciclado en el diseño. Continuando con la reducción de FR´s, el cuadro 3 muestra los Requerimientos Funcionales (FR´s) y parámetros de Diseño (DP´s) de la segunda descomposición.

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

Cuadro 3. Tabla de segunda descomposición de Requerimientos Funcionales (FR’s) y Parámetros de Diseño (DP’s)

Sustituyendo los FR’s y DP’s del segundo nivel jerárquico en la matriz de diseño DM quedaría como se muestra a continuación:

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

Como resultado se obtiene el desarrollo de productos a celulosa obtenida del bagazo de agave con base polipropileno. Por cuestiones de confidencialidad y propiedad intelectual de la organización, no se pueden revelar parámetros de proceso, características del molde, tonelaje de máquina de inyección, propiedades mecánicas y físicas del producto final, se puede consultar mayor información de la resina PolyAgave® en su sitio de internet.

El resultado obtenido después de las pruebas pertinentes en el laboratorio de calidad, arroja un producto final que se muestra en la figura 4, por otro lado la reducción en el consumo de resina fósil, representa una mejora en la huella de carbono al reducir la generación de ton CO2 eq. Como lo muestra el indicador en la figura 5.



Figura 4. Línea de productos de oficina Maped® hechos a base de Fibra de Agave PolyAgave®

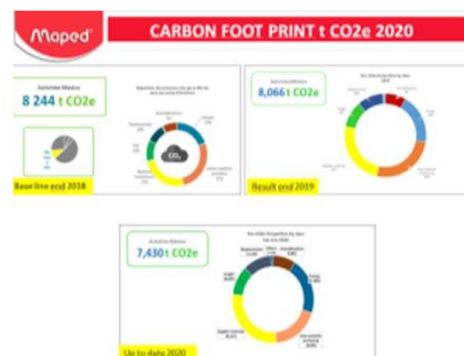


Figura 5. Indicador para medir la huella de carbono en t CO2 eq 2018 – primer semestre 2020

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se estudió el uso de bio plásticos en productos de consumo masivo, detectar e identificar fabricantes de estos bio plásticos, el desarrollar alternativas que ayuden a la conservación del medio ambiente y del planeta es una responsabilidad social de la organización y parte de su cultura de innovación. El reemplazo de plásticos fósiles es posible, 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.

El producto tiene características diferenciadoras del 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.

Conclusiones

Los resultados demuestran la factibilidad de fabricación de productos con bio plásticos, este caso de estudio es solamente una muestra de algunos de estos, en el mercado se encuentra una variedad de materiales que pueden ser utilizados en diferentes tipos de productos, el éxito en este desarrollo nos llevó a extender y diversificar los materiales y los productos, abarcando también a los materiales de empaque de un solo uso.

Recomendaciones

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

Referencias

- [1] Matt DT. Design of Lean Manufacturing Support Systems in Make - to Order Production. Key Engineering Materials 2009; 410-411; 151-158
- [2] Nam P. Suh, Axiomatic Design Theory for Systems, Research in Engineering Design (1998)10:189-209 1998 Springer-Verlag London Limited, The Ralph E. & Eloise F. Cross Professor, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. USA,

Notas Biográficas

El **Ing. Juan Javier Quiroz Arriaga** es responsable de investigación y desarrollo de nuevos productos, ingeniería de procesos, mejora continua, cadena de abastecimiento, seguridad industrial y medio ambiente en la empresa Maped Silco s.a. Termino sus estudios de Posgrado en Manufactura Avanzada en CIATEQ, además cuenta con una maestría en Administración por parte de Instituto de Estudios Universitarios en el estado de Puebla.

El **Dr. Miguel Alejandro Garcia Vidales** es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Aguascalientes en el Centro de Ciencias Empresariales y colabora en CIATEQ, en el programa de posgrado en Manufactura Avanzada.