

La ingeniería concurrente en el desarrollo de nuevos productos

The Concurrent Engineering in the Development of New Products

Recibido: 17 de Septiembre de 2017 - Aceptado: 20 de Octubre de 2017

Para citar este artículo: P. Martínez y N. Arzola, «La ingeniería concurrente en el desarrollo de nuevos productos», *Ingenium*, vol. 19, no. 37, pp. 22-37, ene. - jun. 2018.



Pedro Nel Martínez Henao*
Nelson Arzola de la Peña**

Resumen

El artículo presenta los resultados de la investigación, de forma analítica e interpretativa, sobre los aspectos más relevantes para el desarrollo de productos en un entorno cada vez más competitivo. A partir de lo anterior, se logra abordar el diseño y desarrollo de productos bajo un ambiente de ingeniería concurrente, donde se integran los aspectos del diseño a partir de la voz del cliente, garantizando la calidad del producto durante todo su ciclo de vida, es decir, desde el diseño hasta el reciclaje, realizando actividades multidisciplinarias que permitan la optimización del tiempo y la reducción de los costos totales para todo el ciclo de vida del producto.

Este trabajo aborda como producto de innovación un engranaje con perfil especial de los dientes, lo cual permite características geométricas similares al perfil de función paramétrica y que admite variaciones geométricas para que, eventualmente, alcance mayor capacidad de carga portante (potencia/peso).

* M. Sc. Automatización Industrial, Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. E-mail: pedro.martinez@unimilitar.edu.co

** PhD. Ciencias Técnicas. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. E-mail: narzola@unal.edu.co

En efecto, el aporte va dirigido a suministrar los instrumentos adecuados para abordar la metodología de diseño en todo el ciclo de vida de desarrollo del producto bajo el ambiente de ingeniería concurrente.

Palabras clave

Diseño, ingeniería concurrente, reducción de costos, optimización de tiempos, ciclo de vida.

Abstract

The paper presents the results of an analytical and interpretative research of the most relevant aspects for the development of products in an increasingly competitive environment to approach the design and development of products under a concurrent engineering environment, integrating aspects from the voice of the customer, guaranteeing the quality of the product throughout its life cycle, from design to recycling, carrying out multidisciplinary activities that allow the optimization of time and reduction of total costs throughout the product life cycle.

As a product of innovation, it's used the development of a special gear tooth profile that allows geometric characteristics similar to the profile of parametric function and that allows geometric variations that eventually reach greater load bearing capacity (power / weight)

In effect, the contribution is aimed at providing the appropriate tools to address the design methodology throughout the product development lifecycle under the concurrent engineering environment.

Keywords

Design, concurrent engineering, costs reduction, time optimization, lifecycle.

1. Introducción

La búsqueda constante de nuevos productos y procesos productivos de desarrollo e innovación tecnológica refleja una necesidad de mejora continua mediante la implementación de nuevas técnicas de fabricación de la industria en general. Tal es el caso de la producción de sistemas de transmisión de potencia de alta precisión, los cuales exigen un riguroso control de calidad en el proceso de mecanizado para garantizar la precisión de las piezas, acabado superficial e implícitamente que dichos procesos se realicen en el menor tiempo posible, se optimice el diseño del producto, se reduzcan los tiempos de producción y se minimice los costos en todos los procesos involucrados para el desarrollo de productos. Por ello, Research & Innovation, S.I. [1] señala que «para innovar, las empresas deben adoptar e implantar mejoras para la creación de productos o servicios con mayor valor para los clientes». Prueba de lo anterior es la industria automotriz que está consiguiendo un constante incremento de la calidad, sin que ello implique un incremento en los precios. En consecuencia, la ingeniería concurrente aplicada al diseño y desarrollo de productos

involucra diferentes aspectos que deben cubrirse en todo el ciclo de vida del producto, tales como las necesidades del cliente, marketing, diseño, producción, logística de aprovisionamiento y distribución, almacenamiento, servicio posventa y reciclaje, lo que permite identificar las necesidades en cada una de las fases del proceso. Por lo tanto, deben establecerse las estrategias para comunicarse con el usuario y adaptarse a las condiciones del mercado con el fin de entregar productos y servicios que tengan alto valor agregado para los clientes, e involucrar a toda la cadena productiva en el perfeccionamiento y permanencia del producto en el mercado. Estos aspectos deben ser atendidos de manera integral, ya que una inexactitud en la cadena productiva se ve reflejada en el incremento de los costos y tiempos de entrega. A fin de mejorar los procesos de producción, la instrumentación y robótica han permitido asegurar una mejor calidad en el desarrollo de productos y acortar tiempos de fabricación. Sin embargo, una nueva inquietud surge al involucrar toda la cadena productiva respecto a los contratiempos que eventualmente se presentan durante el desarrollo del producto o la prestación de servicios. Lo anterior genera cierta incertidumbre durante la toma de decisiones, lo cual deberá mitigarse con el fin de alcanzar el éxito con el producto desde su primer lanzamiento al mercado.

Como justificación, el estudio de caso para el desarrollo de producto propone obtener en un ambiente de ingeniería concurrente los engranajes de perfil especial, cuya finalidad sea alcanzar similar o mejor capacidad de carga portante que los engranajes paramétricos del sistema normal de módulo. Adicionalmente, con la finalidad de dar respuesta más oportuna en la toma de decisiones en un ambiente de incertidumbre, se hace necesario disponer de una herramienta tecnológica informática de inteligencia artificial, la cual requiere procesar gran cantidad de variables. De esta forma, mediante algoritmos genéticos es posible optimizar una secuencia lógica para la programación de las actividades involucradas en el proceso, permitiendo evaluar la reducción de costos y tiempo.

Dentro de esta perspectiva, referente al estado del arte, Martínez [2] [3] presenta la metodología de diseño aplicado al desarrollo de un perfil especial de engranaje cilíndrico recto y el respectivo equipo para adelantar las pruebas experimentales. La investigación realizada por Winner [4] se centró en mejorar la calidad de los diseños, el tiempo de ciclo de desarrollo del producto y el manejo de la chatarra y reproceso del producto. Los resultados obtenidos, si bien no proporcionan una evaluación cuantitativa imparcial de los costos y beneficios, sí permitieron establecer una apertura en el perfeccionamiento en el manejo de la información desde la perspectiva de la ingeniería concurrente.

El modelo de desarrollo integrado de producto, proceso y sistema de fabricación que presenta Salazar [5] ejemplifica, mediante la Fig. 1, cómo el ciclo de vida del producto (CVP) está dividido en etapas, lo que permite establecer una metodología de mayor alcance frente a las tradicionales en la concepción, diseño y desarrollo. Esto se produce especialmente para productos y sistemas globales donde convergen un mayor número de circunstancias, donde la información se produce de forma paralela en todos y cada uno de los implicados en el proceso, partiendo de las necesidades del cliente hasta determinar las variables de procesos que son necesarias para satisfacer los parámetros físicos requeridos en el producto.

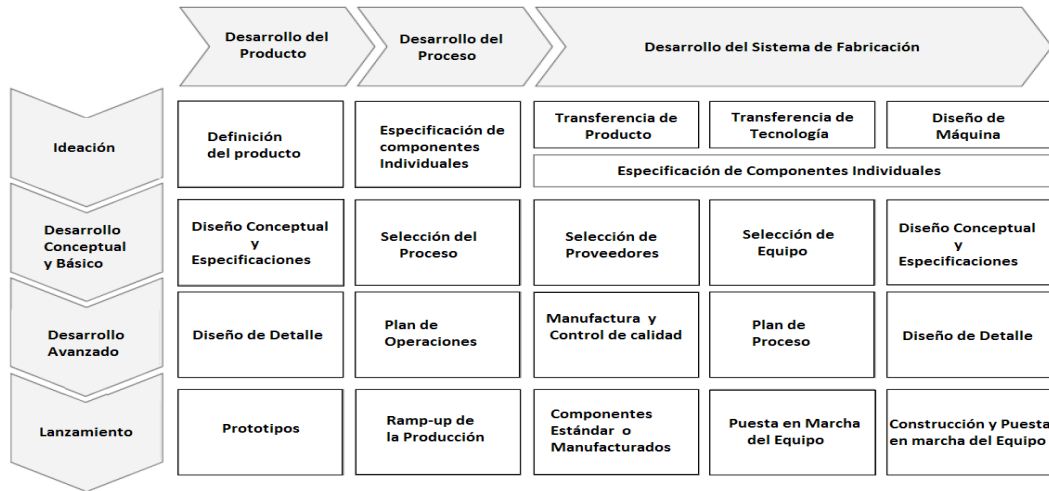


Fig. 1. Etapas de la ingeniería concurrente en el ciclo de vida [5].

El modelo de desarrollo de producto y procesos en la IC, presentado por Sajjad [6], centra su desarrollo en cuatro funciones estratégicas para el lanzamiento de un nuevo producto, como son: diseño, fabricación, distribución y comercialización. En esta indagación el uso de IC, expuesto en la Fig. 2, indica cómo dicha aplicación permite perfeccionar la introducción de nuevos productos y ser capaz de mejorar la integración y comunicación cruzada funcional y estar en capacidad de utilizar un conjunto de métodos comprensivos para el análisis de diseño más óptimo.

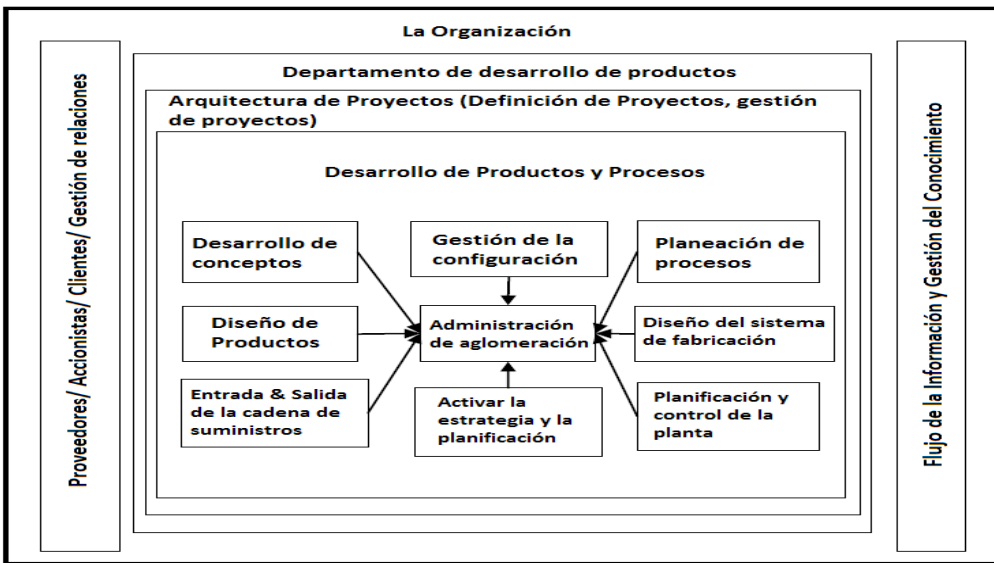


Fig. 2. Inicio del marco de gestión, marco propuesto para la gestión de la puesta en marcha de la producción [6].

El estudio de ingeniería concurrente fundamentada en el diseño y desarrollo de producto, expuesta por Basu et al. [7], revela que las estrategias empresariales están en permanente cambio para dar respuesta a la demanda de un mercado globalizado altamente competitivo. Se hace énfasis en que la vida de un producto necesita ser acortada para satisfacer las

necesidades del cliente y poder mantener la competencia del mercado. Por lo tanto, la IC es reconocida como una de las soluciones técnicas para superar estos desafíos; esta se esquematiza en la Fig. 3. En resumen, la investigación concluye que la IC es una forma de lograr la sostenibilidad a largo plazo en un clima de negocios altamente competitivo.

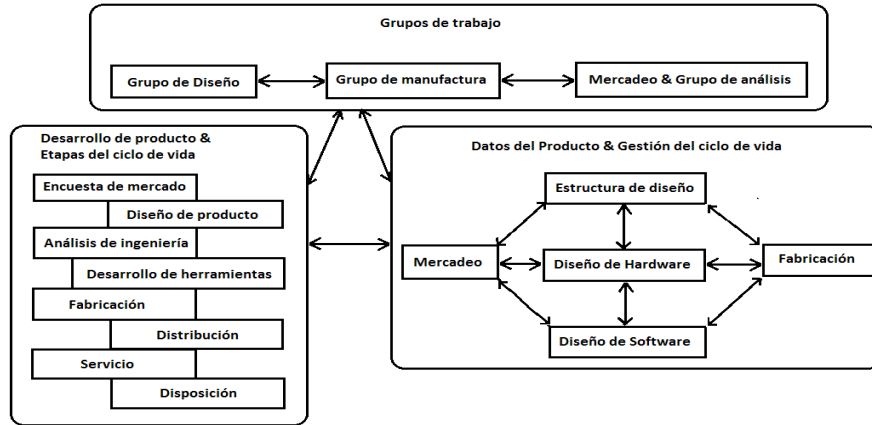


Fig. 3. Enfoque de la IC para el diseño y desarrollo de producto [7].

Recurriendo a la herramienta de sistema de aproximación de sistemas dinámicos, tratada en la tesis sobre el modelo de la ingeniería concurrente para mejorar el desempeño del desarrollo de productos, presentada por Moges [8], se muestra las mejoras para el desempeño en el desarrollo de productos separando los costos y el tiempo. La estrategia de investigación maneja métodos cualitativos y cuantitativos para el estudio de caso. El estudio evidencia que la IC tiene oportunidad de éxito al lograrse perfeccionar el desarrollo de productos, tomando como referentes la reducción de costos y tiempo. La Fig. 4 ilustra la reducción de tiempo vs. ingeniería de desarrollo, mostrando el comportamiento entre la IC e IS.

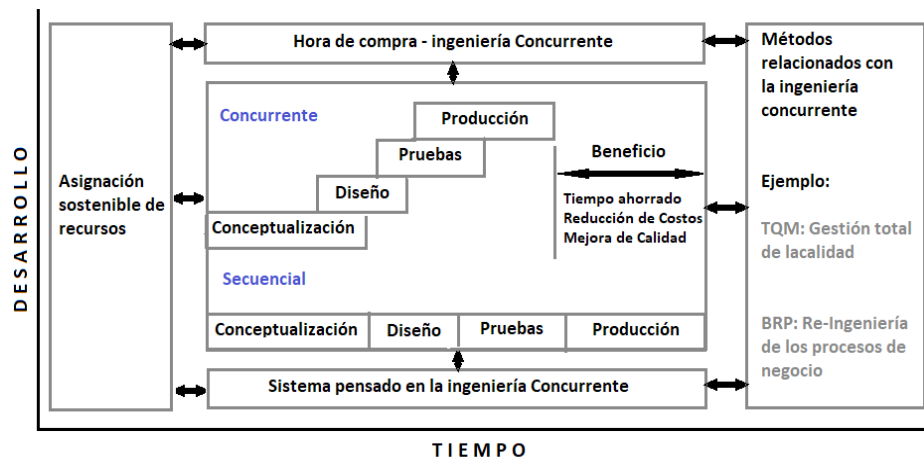


Fig. 4. Comportamiento entre la ingeniería secuencial e ingeniería concurrente, Moges [8].

Asimismo, el trabajo de investigación de Moges [8] revela que el paso fundamental para pasar a la implementación de la IC es contar con equipos interfuncionales eficaces que integren el proceso de desarrollo utilizando métodos organizativos y de gestión de la información (el modelo conceptual para la IC se representa en la Fig. 5). En la práctica los

resultados entre gestión de calidad y la práctica de la IC muestran una relación positiva del rendimiento de la gestión empresarial.

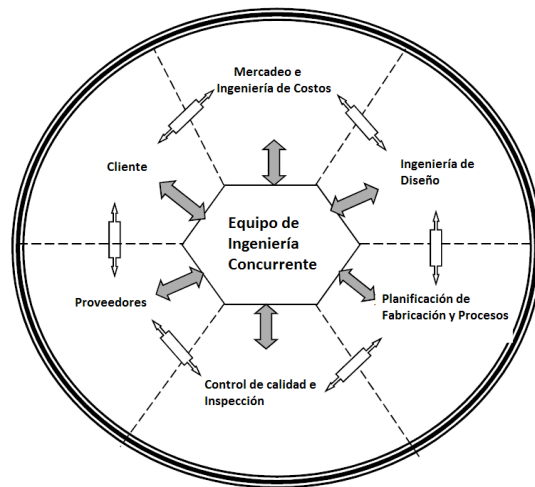


Fig. 5. Flujo de información para equipo funcional cruzado en la ingeniería concurrente, Moges [8].

2. Desarrollo de la metodología

La síntesis presentada sobre la ingeniería concurrente en el desarrollo de productos pone en evidencia que es una actividad interdisciplinaria que requiere la contribución de todas las áreas y apoyo tecnológico de software, hardware y servicio de apoyo multidisciplinar. Evidentemente, la metodología de diseño enfocada a la generación de productos discretos de naturaleza tecnológica, publicada por Arzola [9], es una técnica válida para el diseño de productos y coherente a los propósitos de la ingeniería concurrente (esta es resumida mediante el diagrama mostrado en la Fig. 6), conjuntamente, haciendo uso del Despliegue de la Función de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés) como método de gestión de calidad, basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño de los subsistemas y componentes.

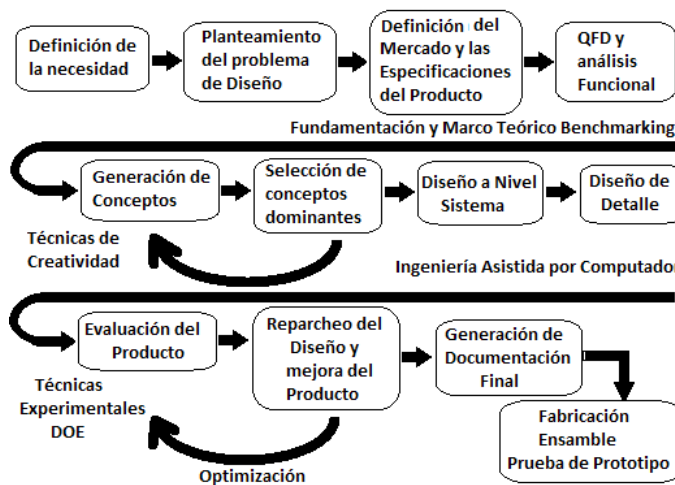


Fig. 6. Metodología de Diseño, Arzola [9].

En muchas aplicaciones ha demostrado reducir el tiempo de diseño hasta en un 40% y los costos en un 60%, manteniendo y corrigiendo la calidad del diseño, lo que permite mejorar la comunicación centrándose en el lenguaje del cliente. El QFD utiliza cuatro fases (casas), en las que se integran las necesidades de información requeridas por el equipo de desarrollo de productos; estas se canalizan para comprender la voz del cliente y traducirla a especificaciones técnicas de ingeniería. La composición de las cuatro casas de calidad, que se indica en la Fig. 7, están conformadas por la planeación del producto, la planeación de las piezas, planeación del proceso y el control de calidad.

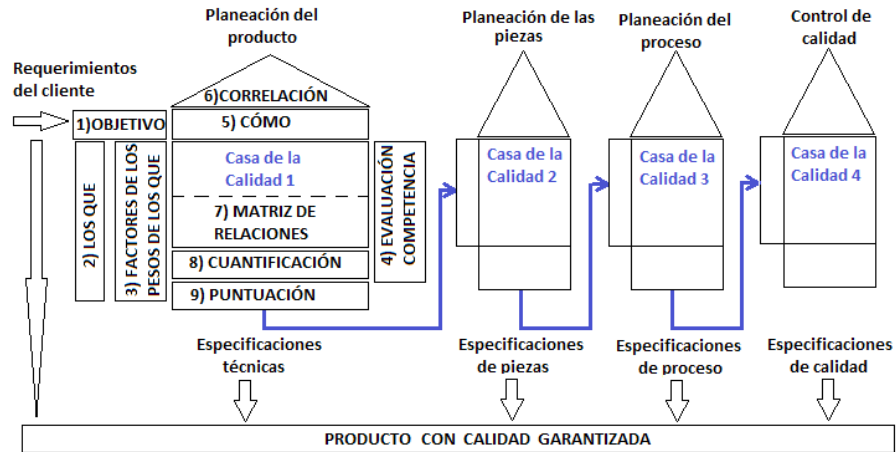


Fig. 7. Las cuatro casas de la calidad empleadas en el despliegue de la función de calidad.

Según lo presenta Ahuett [10], en la práctica se ha verificado que las herramientas metodológicas para apoyar el proceso de desarrollo de producto en sus distintas etapas han permitido lograr una compatibilidad entre el diseño del producto y el proceso de manufactura que se seguirá para fabricarlo, con el fin de reducir costos y tiempos de fabricación, como se muestra en la Fig. 8. A manera de ilustración, entre el diseño y la producción la afinidad se alcanza al hacer una relación entre las tipologías del producto (geometría, tolerancias, materiales, volúmenes de producción, entre otros) y el proceso de transformación primario. Por consiguiente, el acople de los componentes en un producto se logra al hacer modificaciones en su geometría para facilitar la manipulación e inserción de los componentes en el ensamble y reducir el número de partes del mismo.

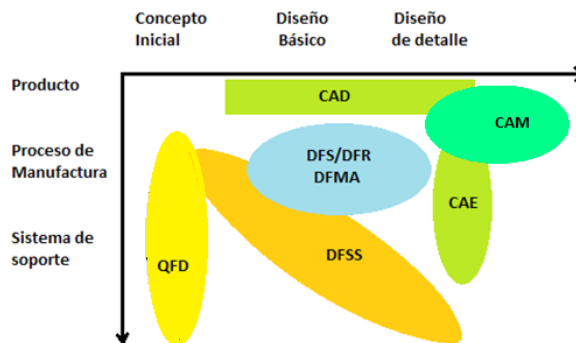


Fig. 8. Aplicaciones más comunes de las diferentes metodologías durante el desarrollo de productos y procesos, Ahuett [10].

Donde:

QFD: Despliegue de la función de calidad.

CAD: Diseño asistido por computador.

DFS: Sistema de archivos distribuidos.

DFR: Diseño para el reciclaje.

DFMA: Diseño para fabricación y ensamble.

DFSS: Diseño para «seis sigmas», empleado para la resolución de problemas en procesos y productos.

CAE: Ingeniería Asistida por Computación (Ej. Análisis por elementos finitos, sistema de optimización multicuerpo, mecánica de fluidos computacional, etc.).

CAM: Fabricación Asistida por Computación.

A continuación, se detallan un poco mejor las técnicas aplicadas durante el desarrollo del productos y procesos (ver Fig. 8).

Despliegue de la función de calidad (QFD)

Los estudios de calidad han demostrado que «la calidad hay que diseñarla» como condición imprescindible para el éxito del diseño y conformidad del producto o servicio. Para ello, un procedimiento de desarrollo de producto o de un servicio deberá centrarse en «la voz del cliente» de forma científica para su interpretación, medición, optimización, verificación de las variables y tipologías propias del producto o servicio.

Una falencia que muchas veces se tiene en el diseño y desarrollo de productos o servicios es que no basta con prestar atención solamente a los defectos o a la información contenida en las reclamaciones, puesto que es necesario, adicionalmente, averiguar cuáles son los requisitos de calidad explícitos e implícitos requeridos por el cliente, los cuales deben incorporarse desde el inicio a la planificación del producto o servicio.

En tal sentido, Arroyave et al. [11] y Llontop [12] ratifican cómo el QFD debe asegurar la consistencia entre los requisitos del cliente y las características medibles del producto, entre la planeación y el proceso de producción. Del mismo modo, identifica fortalezas y debilidades comparativas de los productos respecto a la competencia, lo cual le permite a la empresa compararse y concluir sobre la forma en que está satisfaciendo las necesidades de los clientes.

Sistema de archivos distribuidos (DFS)

Barros y Almeida [13] presentan el DFS, el cual tiene como objetivo ofrecer eficiencia al proceso de diseño, centrándose en la reducción de materiales, eligiendo la fuente de energía correcta y ecológica, optimizando y dando más capacidad de duración para los productos y, especialmente, diseñando instalaciones de desmontaje desde el principio del proyecto.

El DFS, llamado también diseño para la sostenibilidad, según Spangenberg et al. [14], plantea que la ingeniería debe enfocarse a los nuevos retos del ecodiseño en el desarrollo de nuevos productos, mediante la integración de los aspectos sociales y económicos. En consecuencia, se presenta en la Fig. 9 la desagregación de la eficiencia del consumo, como la relación entre la satisfacción del cliente y la cantidad de recursos utilizados.

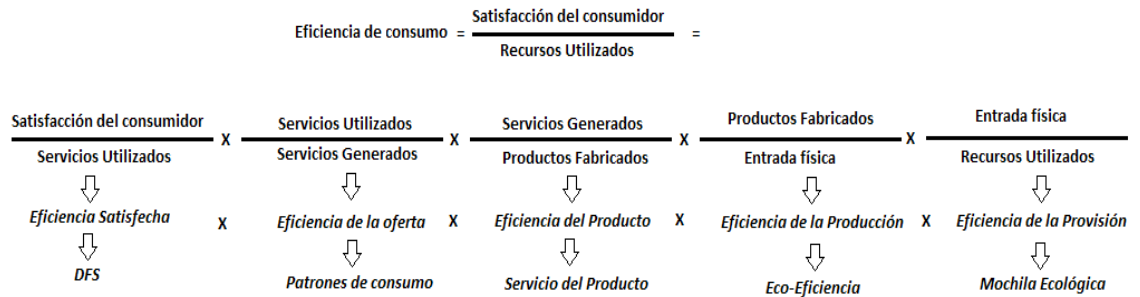


Fig. 9. Desagregación de la eficiencia del consumo, Sapngenberg et al. [14].

Diseño para el reciclaje (DFR)

El método de diseño para el reciclaje incorpora criterios de reciclaje con el fin de obtener productos que, por un lado, puedan ser obtenidos con un alto porcentaje de materiales reciclados y, por otro lado, una vez finalicen su vida útil puedan ser desarmados y sus componentes reutilizados; este enfoque permite minimizar la huella ambiental que deja el producto desarrollado bajo este método [15]. La aplicación de esta variable no afecta al resto de las propiedades del producto; por tanto, la mejora del precio y del medio ambiente se combinan con el objetivo de lograr productos con un impacto ambiental reducido, asociado a todo el ciclo de vida y a precios competitivos.

La Fig. 10 muestra la correlación que se desarrolla entre las diferentes fases del diseño y las opciones al final de vida del producto, pensadas en el aprovechamiento y disposición de los materiales.

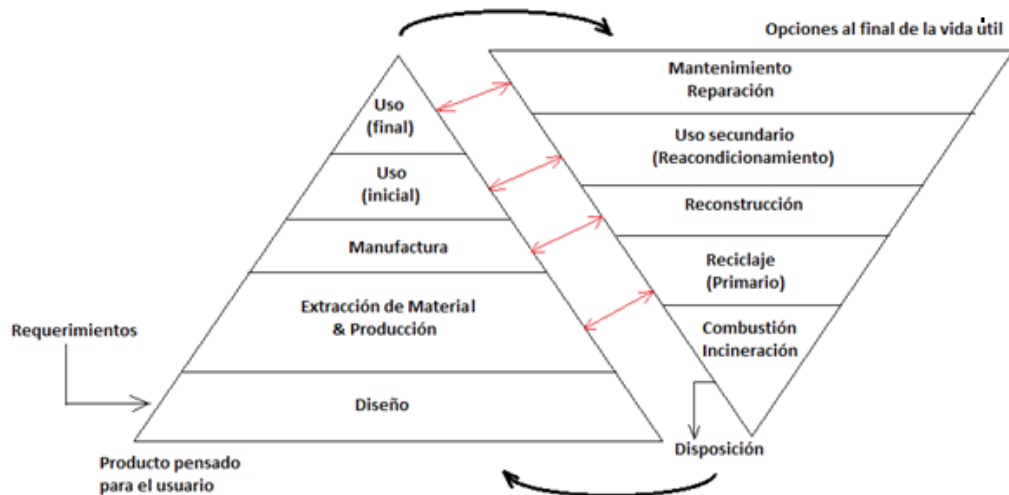


Fig. 10. Vías de fin de vida del producto [16].

Diseño para la fabricación y el ensamble (DFMA)

El diseño para la fabricación y el ensamble se esquematiza en la Fig. 11. Un diseño orientado a la fabricación en la práctica debe facilitar el «diseño para la fabricación»; algo similar debe suceder en el «diseño para un fácil montaje». Las conformidades de estos dos procesos deben estructurarse hacia el aseguramiento de la calidad para que posibilite la minimización significativa de los tiempos y costos. En este tipo de diseño por factores el interés se centra fundamentalmente, para el caso del diseño orientado para fabricación, en encontrar formas, dimensiones y tolerancias para las piezas que minimicen los costos de fabricación, en definir procesos de fabricación que sean adecuados de acuerdo con la escala de producción proyectada y en realizar una revisión minuciosa del diseño preliminar con el fin de reajustar piezas y subensambles para, de esta manera, garantizar el cumplimiento efectivo de las funciones identificadas para el producto. Por otro lado, en el caso del diseño orientado a ensamblabilidad, el objetivo se centra principalmente en minimizar la cantidad de piezas, en encontrar trayectorias de ensamble lo más directas y simples posibles, en minimizar los tiempos de ensamble y en encontrar una secuencia de ensamble eficiente, entre otros aspectos.

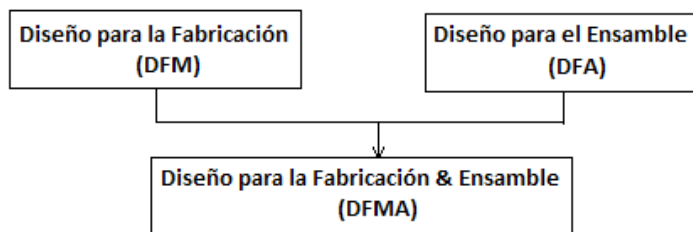


Fig. 11. Definición del diseño para la fabricación & ensamble (DFMA).

Sistema de soporte y administración de operaciones

Desde la visión de los procesos, la administración de operaciones en la ingeniería industrial es una herramienta empleada por las empresas. Esta suministra la información de bases cuantitativas y cualitativas para la toma de decisiones requeridas para la solución de dificultades en las rutinas de gestión. Por ello, en la Fig. 11, Krajewski et al. [17] muestran los tópicos a tener en cuenta en la administración de operaciones de los procesos, cuyo manejo permita generar la cadena de valor para la optimización de los suministros, el manejo de inventarios, programación de la producción y control de calidad.

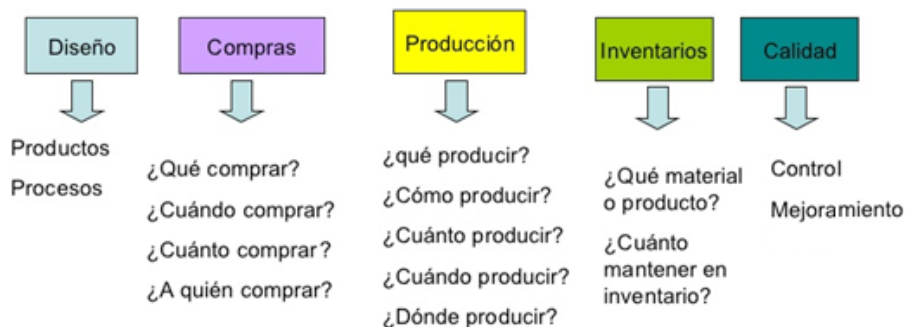


Fig. 12. Actividades del sistema de soporte y dirección de operaciones, Krajewski et al. [17].

Como se aprecia en la Fig. 12, la correcta gestión de las actividades del sistema de soporte en la dirección de operaciones permite una acertada toma de decisiones, sin limitarse al campo de acción transversal de su quehacer, asimismo, también permite generar las estrategias para atender los requerimientos del mercado en el que esté comprometida la organización.

Para el desarrollo de producto, Martínez [18] aborda una metodología de diseño sostenible que se adapta a los requerimientos del producto y a las necesidades del cliente en el desarrollo del banco de pruebas para engranajes cilíndricos de cualquier tipo de perfil geométrico y relación de transmisión de engranajes. En esta investigación se consideraron las variables de requerimientos, producción, materiales, costos, medio ambiente, etc.; se concluye con dos resultados: un sistema de documentación del producto y un prototipo como soportes de su desarrollo. Dado que la calidad de las entradas y salidas de este proceso son importantes, también lo son los métodos y herramientas estructuradas y organizadas que se emplean durante el proceso de desarrollo del producto. Adicionalmente, la metodología de diseño empleada evidencia un sistema de gestión de la información a través de actividades cognitivas y creativas que construyen nueva información; así, se analizan los resultados y se evalúan múltiples alternativas de solución. Este sistema de investigación responde a las expectativas y requerimientos del equipo de proyecto y cada uno de sus integrantes involucrados en el proceso, facilitando el trabajo y la comunicación por medio de reportes e informes.

Presciencia

Si bien el paralelismo e integración en los procesos de desarrollo de bienes y servicios son un avance en la ingeniería concurrente, el inconveniente de la incertidumbre generada en la toma de decisiones hace necesario involucrar un tercer componente, denominado presciencia, el cual consiste en una serie de técnicas cuya misión, como lo señalan Porto y Prada [19], es avanzar en el curso de los hechos para estar preparados frente a posibles eventualidades mediante la exploración temprana de las actividades futuras, las cuales lleven a la toma de decisiones adecuadas cuanto antes y con el mínimo de coste.

Para tal fin, el desarrollo informático mediante la implementación de algoritmos genéticos (AG) es una alternativa tecnológica empleada para la optimización del diseño y desarrollo de productos, el cual permite realizar una reprogramación de las actividades con una estimación del menor costo posible total en el ciclo de vida del producto. La ventaja de su implementación computacional mediante AG es que las operaciones se hacen a través de operaciones aritméticas, lógicas y de ordenamiento. La información del sistema no necesita información a priori. El AG genera múltiples soluciones de forma aleatoria y si alguna de ellas mejora, entonces son soluciones que se tomarán en cuenta para evolucionar la población. La Singularidad del AG es que realiza una amplia exploración en el intervalo de búsqueda factible, sin importar que el sistema sea de funciones discontinuas.

Un algoritmo genético simula procesos observados en la naturaleza asociados a la evolución de las especies biológicas. Por lo tanto, el AG toma una población inicial de individuos, y se aplican operadores genéticos en cada reproducción; por consiguiente,

en términos de optimización, cada individuo de la población es codificado mediante una cadena o cromosoma y representa una posible solución a un problema dado. La adaptación de un individuo es evaluada con respecto a la función objetivo dada para el problema. A los individuos o soluciones con altos valores de adaptación se les otorgan mayores probabilidades de reproducirse, intercambiando con otros parte de su información genética, en un mecanismo de reproducción denominado cruce. Esto produce nueva descendencia con características comunes a ambos padres.

Otro mecanismo básico empleado es la mutación, mediante la cual se alteran algunos genes en el individuo. Los nuevos individuos generados reemplazarán a algunos miembros de la población actual. Este ciclo consiste en la evolución, selección y reproducción de individuos; se hace repetir hasta que se encuentre una solución satisfactoria al problema o se alcance algún criterio de terminación del algoritmo como se muestra en la Fig. 13.

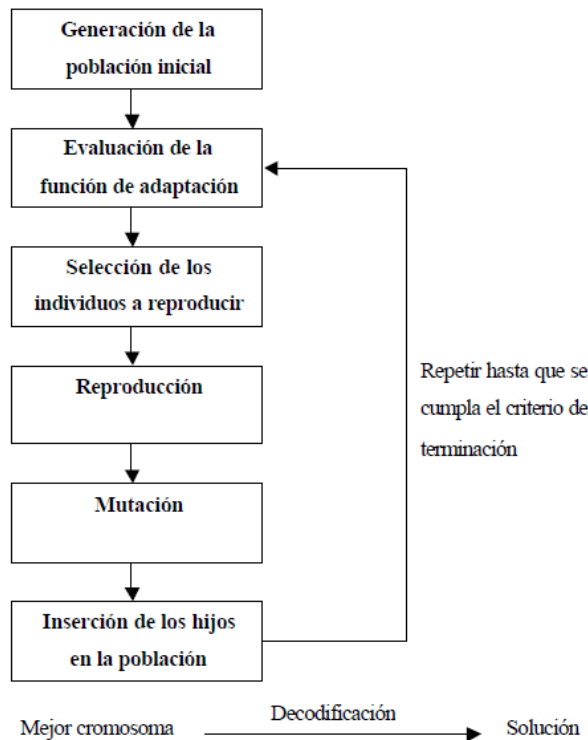


Fig. 13. Esquema de funcionamiento del algoritmo genético [20].

3. Diseño experimental

Para el diseño experimental se quiere estimar qué engranaje permite transmitir mayor capacidad de carga portante.

El montaje del par de engranajes en el banco de pruebas siempre se realizará con un engranaje y su respectivo perfil conjugado, cuyas características geométricas y requerimientos funcionales son totalmente conocidos. De lo anterior, el diagrama mostrado en la Fig. 14 esquematiza las variables de entrada al sistema, así como las respuestas que

se quieren conocer. Hay que tener en cuenta que las respuestas entregadas por el modelo físico hay que categorizarlas en el caso del espectro de órbita vibratoria y, así mismo, hacer una estimación de la fatiga, picadura y desgaste del diente mediante pruebas de laboratorio.

Como problema de estudio, en esta investigación se desea diagnosticar el comportamiento de un perfil especial que posee una equivalencia con un perfil normalizado de módulo 4 mm, con el objetivo de determinar cómo dicho diseño geométrico del perfil de los dientes afecta la capacidad de carga de transmisión y la vida útil de los engranajes.

Selección de factores y niveles. El factor, entendido como la geometría en cada perfil de diente en el engranaje, corresponde a tres parejas de perfiles (4) y su correspondiente conjugado: M4, EM4, +E1,5 y -E1,5. Los cuatro (4) niveles de los perfiles se muestran en la Fig. 15. Hay que destacar que el nivel medio corresponde a la geometría del perfil de diente M4 y EM4, el nivel superior corresponde a la evolvente del perfil -E1,5 y el nivel inferior a la evolvente del perfil +E1,5, respectivamente.

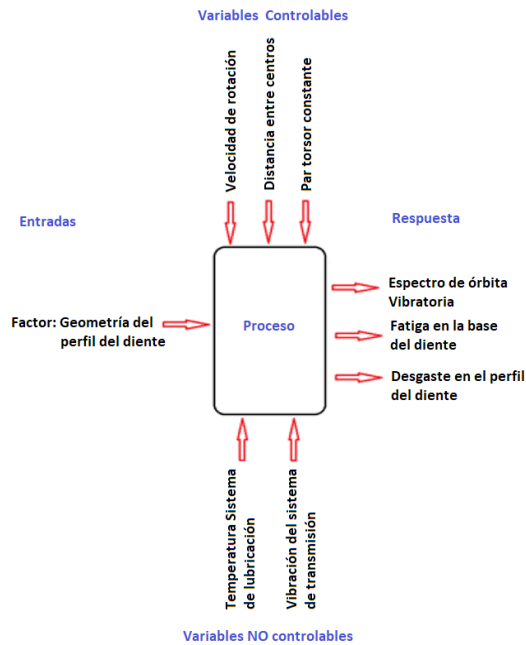


Fig. 14. Modelo general del sistema experimental.

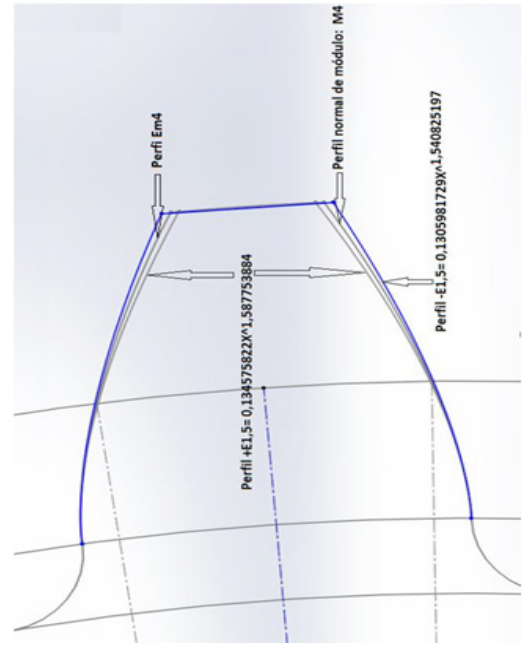


Fig. 15. Superposición de los 4 perfiles.

Unidad experimental. Se considera la unidad experimental al engranaje en el que se evaluará la variable respuesta, y al que se aplican los distintos niveles de tratamiento para obtener un dato representativo Hipótesis. Los perfiles especiales con función potencial -E1,5 presentan mayor capacidad de carga portante, que los engranajes del sistema normal de módulo. El perfil modular M4 soporta una carga intermedia que varía entre la capacidad de carga portante C_{p+E1} , y C_{p-E1} ,

$$C_{p+E1} \leq C_{pM4} \leq C_{p-E1}, \tag{4}$$

4. Análisis y discusión de resultados

Las formas geométricas obtenidas para los perfiles especiales, que se ilustran en la Fig. 16, muestran la convexidad de los perfiles especiales que se ve afectada por la variación porcentual que se hace al valor establecido en la base y al exponente de la función potencial empleada en el diseño del perfil dental, cuya variación entre perfil y perfil no debe exceder $\pm 1,5\%$. El empleo de una función potencial garantiza un manejo adaptativo flexible de la geometría del perfil de trabajo del diente. Lo anterior permite que la forma del perfil del diente sea suave y continua, tan próxima a la función de involuta como se desee.

Para una relación de transmisión 1:1, velocidad angular de 188 rad/s, la Tabla 1 muestra el comportamiento para los perfiles especiales y perfil modular, donde se acepta la hipótesis nula, la cual establece que el perfil E-,5 & Ec-1.5 soporta la mayor capacidad de carga. De acuerdo con el modelamiento realizado, para este tipo de engranaje se garantiza siempre el contacto de al menos un par de dientes para cualquier posición del engranamiento.

TABLA 1
COMPORTAMIENTO DE PERFILES CILÍNDRICOS MODULAR Y PERFILES ESPECIALES

T = 7,9 Nm	PERFILES M4 & Mc4	PERFILES E+1,5 & Ec+1,5	PERFILES E-1,5 & Ec-1,5
T = 15,8 Nm			
Deformación mín. (mm)	0,1629	0,1682	0,1808
Deformación máx. (mm)	0,1847	0,1896	0,2109
Esfuerzo máx. (MPa)	161,53	153,45	181,78
Vida mín. (ciclos)	1E6	1E6	1E6
Daño máx. (ciclos)	1.000	185.210	1.000
Factor de seguridad a fatiga	1,24 en G	1,30 en G	1,10 en C

5. Conclusiones

Las empresas en general son muy distintas en cuanto a la misión y visión de los productos que desarrollan, por lo cual para el diseño y desarrollo de productos hay que considerar como un factor principal la necesidad del cliente, imprimiendo permanentemente el sello de la filosofía empresarial de la compañía en su gestión, aseguramiento de calidad y procesos. En consecuencia, para poder innovar lo más apropiado en la construcción de las casas de la calidad (QFD) es utilizar aquellas matrices que aporten nuevos puntos de vista en el proceso de diseño de producto o servicio.

Es fundamental que los equipos de trabajo interdisciplinar estén conformados por personas acostumbradas a trabajar en equipo, debido a que la metodología de gestión QFD persigue la mejora continua de la calidad del producto, los servicios y procesos; por ello, no sería eficaz un proceso individualizado basado en ingeniería secuencial.

Debe mantenerse una información permanente con los departamentos implicados en los procesos a través de reuniones periódicas, informando sobre la gestión y los avances,

lo que permite justificar el tiempo requerido en el *know-how* y tomar los correctivos y ajustes de los contratiempos o imprevistos en el momento adecuado. La visión del producto debe actualizarse y conocerse por todos los integrantes del equipo extendido de diseño durante todas las etapas del proceso de desarrollo del producto.

El objetivo de la política para el reciclaje y el diseño ecológico debe permanecer dentro de lo que es tecnológicamente aplicable y económicamente posible, de acuerdo con el estado de la tecnología. Entonces, hay que utilizar las herramientas y conocimiento para su optimización; de esta forma minimizar pérdidas de materiales y, eventualmente, aprovechar mezclas de materiales y lograr especificaciones funcionales del producto [21].

Actualmente, la fase experimental se hace más fácil de conducir e incluso modificar en los procesos de diseño mediante las herramientas de modelado, que permiten hacer los ajustes en el plan general del desarrollo del producto, permitiendo reducir costos en la generación de prototipos. Frente a esta situación real, los ingenieros pueden optimizar sus productos dirigiendo la atención hacia los aspectos realmente importantes. Por otro lado, la función de pérdida de calidad asigna un valor monetario a la pérdida de calidad, de modo que la calidad ya no es intangible, además, puede ser medida y calculada para persuadir a la gerencia en la toma de decisiones.

Se han puesto de manifiesto las ventajas que proporciona la incorporación del conocimiento al ciclo de vida del producto en las primeras etapas del proceso de diseño y desarrollo de productos. Igualmente, se han mostrado las diferentes técnicas cuya aplicación metodológica en las empresas han proporcionado grandes mejoras en los indicadores de competitividad del mercado actual.

Los sistemas de modelado (CAD) y simulación (Ansys) garantizan un diseño confiable bajo un ambiente de ingeniería concurrente, los cuales dan una gran aproximación del comportamiento real de las piezas, permitiendo minimizar tiempos, costos en su diseño y pruebas experimentales (estos resultados se muestran en la Tabla 1).

Finalmente, la incorporación de herramientas de simulación para el análisis de la eficiencia y efectividad en modelos de planificación y optimización mediante algoritmos genéticos puede dar respuesta a contextos de incertidumbre y a perturbaciones, tales como averías de máquinas, retraso de llegadas de materiales, la llegada de los nuevos pedidos, cambios en los pedidos actuales, abastecimiento del mercado externo, coordinación y el control de inventarios.

Referencias

- [1] Research & Innovation, S.I., «Ingeniería Concurrente, ¿Que es?», *Research & Innovation, S.I.* , 2002, pp. 1-9.
- [2] P. N. Martínez Henao, «Análisis del comportamiento dinámico y el error experimental de aplicación de la carga para un indentador de engranajes», *Ingenium*, vol. 2, no. 24, pp. 13-21, 2011.
- [3] P. N. Martínez Henao, «Diseño de un engranaje con perfil de diente especial bajo criterios geométricos y de resistencia a fatiga», en *Conferencia Internacional de Ingeniería. INNGENIO 2016*, Medellín, Colombia, 2016.

- [4] R. Winner, J. Pennel, H. Bertrand and M. Slusarczuk, «The Role of Concurrent Engineering in Weapon System Acquisition,» in *IDA REPORT R-338*, Alexandria, Virginia, USA, 1988.
- [5] A. T. Salazar, «Fundamentos de la Ingeniería Concurrente», en 19. *CIATEQ - Tecnologías de Manufactura Avanzada*, 2008.
- [6] E. M. Sajjad, «Concurrent Engineering Aproches within Product Development Process for managing Production strar-up phase,» *Magister, Tekniska Högskolan*, 2011.
- [7] S. Basu, N. Biswas, B. N. Supriya and S. Sarkar, «A study on Concurrent Engineering-Based Design and Product Development,» in *International Journal of recent advances in Mechanical Engineering*, 2013, pp. 15-20.
- [8] A. Moges Belay, *Modeling Concurrent Engineering to Improve Product Development*, Finlandia: University of Vaasa, 2013.
- [9] N. Arzola de la Peña, *Metodología de diseño para ingeniería*, vol. 4, Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [10] H. Ahuett, *Evolución de las metodologías de apoyo a la ingeniería concurrente*, Monterrey, México: Centro de Innovación en Diseño y tecnología- Tecnológico de Monterrey, 2005.
- [11] C. Arroyave, A. Maya y C. Orozco, *Aplicación de la metodología QFD en el proceso de Ingeniería de Requisitos*, Medellín, Colombia: Escuela de Ingeniería, Universidad EAFIT, 2007.
- [12] J. A. Llontop Chang, *Mejora en el proceso de desarrollo de nuevas línea de productos basados en la metodología QFD asegurando la calidad del producto a lo largo de su ciclo de vida*, Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas-UPC, 2017.
- [13] H. B. Barros and P. F. Almeida, *Design for sustainability: Methods in search for better harmony between industry and nature*, Bahia, Brazil: Universidad do estado da Bahia-UNEB, 2005.
- [14] J. H. Spangenberg, A. Fuad and K. Blincoe, «Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption,» *Cleaner Production*, vol. 18, pp. 1485-1493, 2010.
- [15] Departament de medi ambient, «Design for recycling,» en *Centre catalá del reciclatge*, 1999, p. 6.
- [16] LMAS, *Reduction of end of life impacts through design for disassembly (DfD)*, Berkely: University of California, 2006.
- [17] L. Krajewski, L. Ritzman y M. Malhotra, *Administración de operaciones, Procesos y Cadena de Valor*, México: Pearson, 2008.
- [18] P. N. Martínez, «Propuesta metodológica para el diseño de un banco de pruebas para engranajes cilíndricos rectos,» *Prospectiva*, vol. 10, n° 2, pp. 64-73, 2012.
- [19] J. Porto y P. Prada, *Optimización de proyectos de construcción con técnicas de Ingeniería Concurrente*, Caratagena, Colombia: Universidad de Cartagena de Indias, 2014.
- [20] E. Yolis, *Algoritmos genéticos aplicados a la categorización automática de documentos*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2003.
- [21] E. Sofuoglu, «Different Approaches to Concurrent Engineering.,» en *In, 21. Bogazici University Department of Management Information Systems*, Istanbul, Turkey, 2004.