



Ingeniería Mecánica

ISSN: 1815-5944

Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior
Politécnico

Alvarez-Cabrales, Alexis; Pérez-Rodríguez, Roberto; Gaskins-
Espinosa, Benjamín Gabriel; Zayas-Figueras, Enrique E.
Soluciones conceptuales de un molino de cuchillas a partir de sus requerimientos funcionales
Ingeniería Mecánica, vol. 21, núm. 1, 2018, pp. 28-36
Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225162342004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UDEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Soluciones conceptuales de un molino de cuchillas a partir de sus requerimientos funcionales

Conceptual solutions of a mill with blades from his functional requirements

Alexis Alvarez-Cabrales^I, Roberto Pérez-Rodríguez^{II},
Benjamín Gabriel Gaskins-Espinosa^{II}, Enrique E. Zayas-Figueras^{III}

I. Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Técnicas. Granma, Cuba

II. Universidad de Holguín, Centro de Estudios de Diseño y Fabricación Asistidos por Computadoras. Holguín, Cuba

III. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Barcelona, España

Correo electrónico: aalvarezc@udg.co.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 22 de septiembre de 2017

Aceptado: 6 de mayo de 2018

Resumen

En este trabajo, se expone un modelo para la optimización de la síntesis guiada de soluciones conceptuales que permite caracterizar y representar la trazabilidad de los requerimientos funcionales en el diseño de un molino de cuchillas, desde su definición hasta la evaluación conceptual del producto, aportándole al diseñador una herramienta que le permite elegir la definición conceptual más conveniente. El modelo descrito hace uso del método Kano para lograr la estratificación y atribución de

cualidades a los requerimientos funcionales. Se incorpora el método para la síntesis guiada de soluciones acumulativas, con el cual se captura y transforma la información de los requerimientos, permitiendo la síntesis y evaluación conceptual de 882 variantes de solución del molino diseñado.

Palabras claves: diseño conceptual, requerimientos funcionales, trazabilidad, evaluación conceptual.

Abstract

In this work, a model for the optimization of the guided synthesis of conceptual solutions that enables characterize and represent the traceability of functional requirements in the design of a mill of blades, from his definition to the conceptual evaluation of the product, contributing a tool that allow the designer to elect the more convenient conceptual definition. The described model uses the Kanomethod to achieve the stratification and attribution of qualities to the functional requirements. The method for the

guided synthesis of accumulative solutions, was incorporated, with thatone, captures and transforms the information of the requirements, permitting the synthesis and conceptual evaluation of 882 variants of solution of the designed mill.

Key words: conceptual design, functional requirement, traceability, conceptual evaluation.

Introducción

Los programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) se han concentrado, en su mayoría, en el proceso de captura y representación de las formas geométricas y en la incorporación, dentro de lo posible, de la información tecnológica utilizada para percibir las ideas abstraídas de la mente del diseñador y usarlas con propósitos de evaluación [1, 2]. En contraste, existen pocos soportes en estos sistemas que faciliten la toma de decisiones en las etapas primarias del proceso de diseño, tales como la captura y la modelación de la funcionalidad del producto [3].

A partir del hecho de que, en un diseño, los requerimientos funcionales experimentan restricciones, resulta difícil satisfacer idealmente todos los objetivos definidos por dicho conjunto. La búsqueda de un consenso en este tema es una actividad intrínseca de los diseñadores [4, 5].

Durante esta actividad, resulta importante entender cómo están conectados los requerimientos y las soluciones descritas. En este sentido, la trazabilidad de los mismos permite rastrearlos hasta su fuente de origen; verificando que cada elemento del sistema o componente esté vinculado a un requerimiento en específico [6, 7].

Resulta evidente la importancia de los requerimientos funcionales para poder desarrollar el diseño conceptual. Ellos, según [8], son los encargados de definir la funcionalidad requerida por un producto y de poder establecer su trazabilidad. Asimismo, permiten seguir el proceso de evolución del producto en cada una de sus etapas, al trazar los vínculos entre un requerimiento y su(s) componente(s) definitorio(s) [9]. Una buena

trazabilidad se logra con la adecuada transformación de los requerimientos, desde la etapa de especificación a la funcional; lo cual se garantiza al agruparlos correctamente mediante su estratificación. Esta es el resultado de especificar requisitos más concretos basados en la jerarquización de la composición de los datos [10].

En la fase de diseño conceptual el diseñador no dispone de todos los elementos necesarios para la selección de variantes idóneas [11]. Generalmente, las herramientas de validación y selección existen en las fases más avanzadas del proceso, donde el producto ya posee una definición más explícita y detallada. Como una de las características del proceso de diseño, puede citarse que, en las primeras fases del proceso de diseño, los datos son imprecisos y es difícil la utilización de herramientas informáticas. Los métodos asistidos por ordenadores, tales como la modelación de sólidos, la optimización, el análisis de mecanismos, etcétera, demandan una representación precisa de los objetos [12].

Las herramientas que son aplicadas en la industria a las etapas iniciales del diseño, están en sus fases nacientes. Las investigaciones desarrolladas en los últimos tiempos se centran activamente en dar soporte a estas etapas para solucionar dichos problemas. Los programas CAD continuamente son modificados, incorporándoseles soportes para las actividades de desarrollo de conceptos, análisis de requerimientos y toma de decisiones [13].

Esta limitante hace necesario el desarrollo de herramientas de selección que permitan un análisis cualitativo de los requerimientos. En este artículo, se muestra un modelo que permite caracterizar y representar la trazabilidad de los requerimientos funcionales, desde su definición hasta la evaluación conceptual del producto, aportándole al diseñador una herramienta cualitativa de apoyo a la toma de decisiones. El mismo se aplica al caso del diseño conceptual de un molino de cuchillas, hasta su etapa de estructuración funcional.

La trazabilidad posibilita encontrar cómo y por qué, ciertas soluciones de diseño han sido escogidas. La misma requiere que alguna información adicional sea creada y mantenida como parte de los datos del diseño, donde los requerimientos pueden ser encontrados y probados, se puede examinar su progreso e impacto en el desarrollo del sistema, y se puede analizar su costo-beneficio [6, 14]. Al comentar el ámbito relativo a la trazabilidad, autores como Ramesh *et al.* [1997], citados por [15], argumentan que la trazabilidad facilita la comunicación entre los involucrados en un proyecto para aliviar algunos de estos problemas. Durante la fase de diseño, la trazabilidad se puede lograr mediante la vinculación de los elementos de diseño a los requerimientos de una manera bidireccional, a través de todas las etapas y perspectivas de diseño.

Para autores como [16], la trazabilidad de los requerimientos de diseño están conectados directamente a las soluciones de diseño. Su argumentación se centra en que la alternativa y el potencialmente mejor enfoque para satisfacer un requerimiento, consiste en determinar qué concepto de diseño (o grupo de conceptos de diseño) debería aplicarse para satisfacer un requerimiento. La aplicación de estos conceptos son las soluciones del diseño.

Sobre la base de la revisión expuesta anteriormente, en la presente investigación, con el objetivo de garantizar el proceso de trazabilidad de los requerimientos funcionales hasta la evaluación de los conceptos, se desarrolló el método para la síntesis guiada de soluciones acumulativas; el mismo se basa en la intervención del diseñador en el proceso de toma de decisiones (síntesis guiada). En consecuencia, se proporciona una asistencia para que el diseñador pueda examinar las diferentes soluciones que se van obteniendo a medida que se avanza en la definición conceptual del producto, aportándole una herramienta que le permite elegir la definición conceptual más conveniente.

Métodos y Materiales

Método Kano para el análisis de requerimientos

El método Kano se utiliza generalmente para estudios de benchmarking y marketing [17, 18]; en los cuales se mide la relación entre la funcionalidad de los productos y la satisfacción que esta funcionalidad le brinda a los usuarios [19].

Al iniciar el diseño de un producto con la planificación y clarificación de tareas, los diseñadores recopilan la información proveniente de los usuarios, de las normativas vigentes relacionadas con el producto a desarrollar, así como de los modelos similares disponibles en el mercado. Esta información, en el diseño del molino de cuchillas, permite agrupar las funciones, características, prestaciones y condiciones del entorno del producto; una vez obtenida se procede a establecer los requerimientos y especificaciones del molino de cuchillas, tabla 1.

Tabla 1. Listado de requerimientos funcionales para el diseño de un molino de cuchillas

No.	Concepto	Requerimiento	NID	Descripción	Naturaleza
1	Funciones	Molinado de granos	Necesidad	Acción del molino de triturar los granos	Cualitativo
2	Funciones	Molinado de los tallos de las plantas	Deseo	Acción del molino de triturar los tallos de las plantas	Cualitativo
3	Geometría	Altura máxima del molino (mm)	Necesidad	Altura total del molino	Cuantitativo
4	Geometría	Diámetro del cuerpo del molino (mm)	Necesidad	Diámetro mayor del cuerpo del molino	Cuantitativo
5	Geometría	Volumen de la tolva (m3)	Necesidad	Capacidad total de la tolva	Cuantitativo
6	Fuerzas y momentos	Potencia del motor (W)	Necesidad	Potencia del motor instalado	Cuantitativo
7	Energía	Molino accionado por un motor eléctrico	Deseo	Fuente de potencia del molino	Cualitativo
8	Materiales	Cuchillas y contracuchillas construidas de un material resistente al desgaste	Deseo	Construir las cuchillas y contracuchillas construidas de un material resistente al desgaste	Cualitativo
9	Ensamble	Rotor de 5 cuchillas	Necesidad	Número de cuchillas del rotor	Cuantitativo
10	Ensamble	Contracuchillas regulables	Deseo	Posibilidad de regular las contracuchillas	Cualitativo
11	Ensamble	Rompedores de grano fijos	Deseo	Rompedores de granos fijos a cuerpo del molino	Cualitativo
12	Ensamble	Malla perforada según la granulometría a obtener	Deseo	Diferentes tipos de mallas en el tamiz	Cualitativo
13	Ensamble	Protección del molino contra la corrosión	Deseo	Proteger las piezas y partes del molino expuestas a la corrosión	Cualitativo
14	Modularidad	Rotor, contracuchillas y rompedores intercambiable	Deseo	Poder intercambiar el rotor, contracuchillas y rompedores intercambiable	Cualitativo
15	Modularidad	Tolva desmontable	Deseo	Poder desmontar la tolva	Cualitativo
16	Mantenimiento	Garantía de piezas de repuesto	Deseo	Disponer de piezas de repuesto	Cualitativo
17	Mantenimiento	Los pedestales deben ser engrasados regularmente	Necesidad	Engrasar regularmente los pedestales	Cualitativo
18	Mantenimiento	Los tornillos deben ser ajustados regularmente	Necesidad	Ajustar regularmente los tornillos	Cualitativo

En el presente trabajo el uso de este método permite lograr la estratificación de los requerimientos funcionales y la atribución de cualidades que los definen como requerimientos Unidimensionales (U), Atractivos (A) y Obligatorios (O); para el diseño del molino de cuchillas.

Método para la síntesis guiada de soluciones acumulativas

El método, que se ilustra en la figura 1, asiste al diseñador en la definición conceptual del molino de cuchillas, permitiéndole examinar las soluciones que se van obteniendo y la da la posibilidad de elegir la definición conceptual más conveniente; el método se inicia a partir de la estructura funcional con cualidades incorporadas (punto 1 de la Fig.1), en este paso se establece la síntesis de los principios de soluciones y se obtiene la matriz Mfc.

A continuación, se determina el tamaño teórico del campo de soluciones (punto 2 de la Fig.1). Mediante este paso se obtiene el tamaño que tendría el campo teórico de soluciones a partir de la combinación sistemática de los conjuntos no acotados de conceptos elementales asociados con cada una de las sub-funciones de la estructura funcional (punto 3 de la Fig.1), lo cual se logra sustituyendo los datos en la ecuación 1; se utiliza, sobre todo, en aquellos problemas complejos de la ingeniería para estudiarlos de una manera más adecuada, y contiene todas las alternativas de solución planteadas para el concepto en desarrollo.

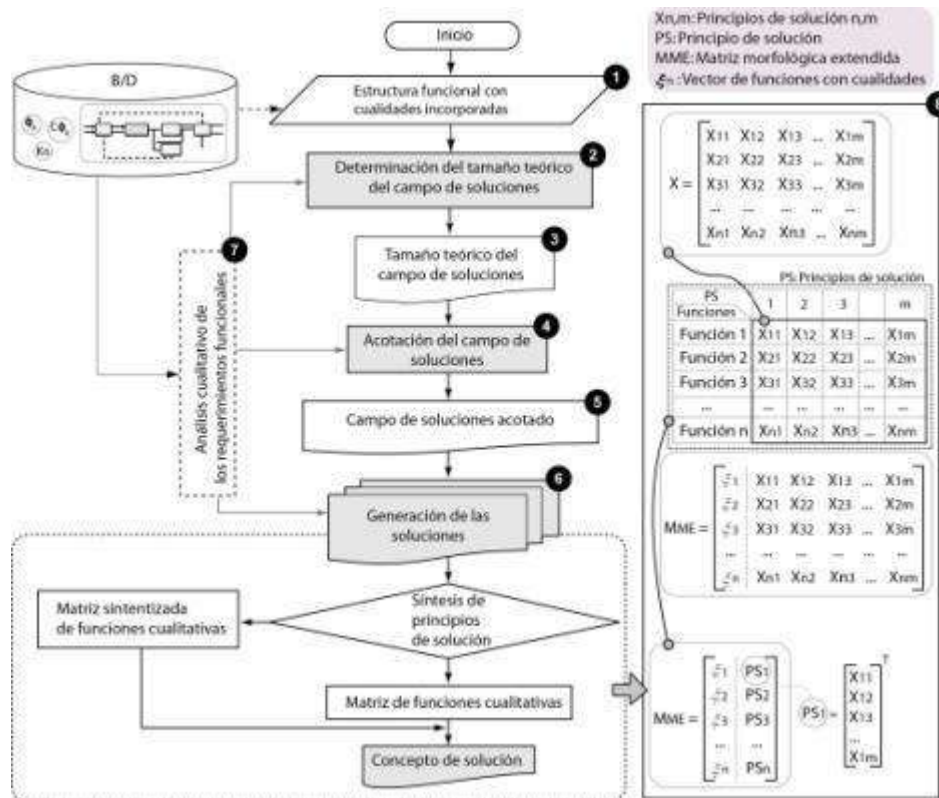


Fig. 1. Método propuesto para la síntesis conceptual de soluciones

$$TCS = \prod_{p=1}^{pmax} PS \quad (1)$$

La acotación del campo de soluciones (punto 4 de la Fig.1), constituye una alternativa para aquellos sistemas donde existe un campo de soluciones demasiado grande para ser evaluado. Aquí juega un papel importante el conocimiento heurístico, el cual consiste en eliminar aquellos principios de solución inadecuados que dan respuesta a cada sub-función en la estructura funcional, obteniéndose un campo de soluciones acotado (punto 5 de la Fig.1). A partir de este campo de principios de solución acotado, se pasa a la combinación sistemática para la obtención de los conceptos del producto (punto 6 de la Fig.1); dicha combinación toma como datos el análisis cualitativo de los requerimientos funcionales (punto 7 de la Fig.1) y en el concepto de solución obtenido, se integra la matriz de funciones cualitativas (punto 8 de la Fig.1).

La toma de decisiones, para definir el concepto de solución a escoger, parte de la generación y análisis de soluciones. En calidad de función objetivo se utiliza la de valor de Múltiple Criterio Z (2) que toma en cuenta la distancia de Tchebysheff aumentada [20]. El valor de cada Y_{id} se determina por la ecuación (3). Por su parte, Y_v también tomará el valor promedio de la suma de los valores Y_{ij} de la variante analizada. Cada variante de solución de diseño tendrá un valor Z con tendencia a 0 a medida que la solución sea más eficiente, y dependerá de los valores de pesos W_i asignados por el usuario. La suma de los W_i siempre es 1.

$$Z = \max_{1 \leq v \leq n} W_i \frac{|Y_v - Y_{id}|}{|Y_{id}|} + \sum_{v=1}^n 0.001 \frac{|Y_v - Y_{id}|}{|Y_{id}|} \quad (2)$$

$$Y_{id} = \frac{\sum_{i=1}^n \min_{1 \leq j \leq m} Y_{ij}}{n} \quad (3)$$

Para este análisis, la presente investigación propone un enfoque computacional contenido en una herramienta para la síntesis conceptual de soluciones denominada SINCOS (puede ser descargada en <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/public/descargas/SoftSincos.rar>) la cual potencia la generación de soluciones y la utilización de la teoría de los sistemas de ingeniería, permitiendo la obtención de soluciones optimizadas; la aplicación informática, a partir de los pesos asignados, realiza una evaluación cuyos resultados se representan en el entorno gráfico de AutoCAD.

SINCOS permite el análisis de las combinaciones de los principios de solución contenidos en la matriz morfológica. La información de entrada para el uso de este software será introducida por el usuario en un archivo de extensión txt, que contendrá en forma de listas la información de los valores correspondientes a los indicadores de eficiencia de cada principio de solución asociado a cada función del caso de estudio en análisis.

La explotación del software se realiza cuando al usuario introduce los pesos relativos a partir de los cuales se evalúan los criterios de diseño y se analizan la influencia de los indicadores de eficiencia para la función

objetivo. La información de salida se visualiza en los resultados. En estos el sistema genera de forma automática una representación de los mejores conceptos analizados y los muestra en la pantalla principal de AutoCAD, en forma de matrices morfológicas; la información resultante puede ser guardada en un archivo de extensión dwg.

Las soluciones generadas a partir de la matriz morfológica se codifican numéricamente para su mejor estudio y análisis, lo que permite identificar las soluciones y la descripción de la variante seleccionada, con la representación de la combinación de los principios de solución y su correspondiente esquema conceptual. Esta estructura de datos permite el manejo computacional de la trazabilidad de los requerimientos funcionales desde su definición por el usuario hasta su implementación en la solución conceptual del producto.

Resultados y Discusión

Captura y representación de los requerimientos funcionales del molino de cuchillas

En la expresión 4 se expresan matemáticamente, a través de la matriz de requerimientos funcionales (ϕ), los datos de la tabla 1; que contienen los requerimientos funcionales para el diseño del molino de cuchillas. Con la definición de dicha matriz se obtiene la estructuración y estratificación de los requerimientos funcionales; los cuales fueron determinados a través de la aplicación del método Kano. Para el caso del molino de cuchillas, fueron realizadas 21 encuestas a usuarios, el tamaño de la muestra se considera adecuado para los intereses de este trabajo.

$$\phi = \begin{bmatrix} \text{"Funciones"} & \text{"Molinado de granos"} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cualitativo"} \\ \text{"Funciones"} & \text{"Molinado de los tallos de las plantas"} & \text{"Deseo"} & \dots & \text{"Cualitativo"} \\ \text{"Geometría"} & \text{"Altura máxima del molino (mm)"} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cuantitativo"} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{"Mantenimiento"} & \text{"Los pedestales deben ser engrasados ..."} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cualitativo"} \\ \text{"Mantenimiento"} & \text{"Los tornillos deben ser ajustados ..."} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cualitativo"} \end{bmatrix} \quad (4)$$

En la figura 2 se muestra la distribución de los requerimientos, de un total de 18, fueron catalogados 10 como unidimensionales, 6 como atractivos y 2 como obligatorios.



Fig. 2. Clasificación Kano de los requerimientos en base a un producto básico (a), esperado (a+b) y ampliado (a+b+c)

Las expresiones (5) contienen los diferentes vectores (K_n) obtenidos para los 18 requerimientos del caso en estudio del molino de cuchillas. Dichos vectores se representan en una matriz ampliada de requerimientos funcionales (ϕ_A), representada en la expresión (6), el vector ($C\phi_A$) definido en (7), el cual representa el conjunto de cualidades de cada uno de los requerimientos funcionales del molino de cuchillas.

$$K_1 = \begin{bmatrix} \text{"Funciones"} \\ \text{"Molinado de granos"} \\ \text{"Necesidad"} \\ \vdots \\ \text{"Cualitativo"} \end{bmatrix} \quad K_2 = \begin{bmatrix} \text{"Funciones"} \\ \text{"Molinado de los tallos ..."} \\ \text{"Deseo"} \\ \vdots \\ \text{"Cualitativo"} \end{bmatrix} \quad K_3 = \begin{bmatrix} \text{"Geometría"} \\ \text{"Altura máxima del molino ..."} \\ \text{"Necesidad"} \\ \vdots \\ \text{"Cuantitativo"} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\Phi_A = \begin{bmatrix} \text{"Funciones"} & \text{"Molinado de granos"} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cualitativo"} & \text{"U"} \\ \text{"Funciones"} & \text{"Molinado de los tallos de las plantas"} & \text{"Deseo"} & \dots & \text{"Cualitativo"} & \text{"U"} \\ \text{"Geometría"} & \text{"Altura máxima del molino (mm)"} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cuantitativo"} & \text{"U"} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{"Mantenimiento"} & \text{"Los pedestales deben ser engrasados ..."} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cualitativo"} & \text{"A"} \\ \text{"Mantenimiento"} & \text{"Los tornillos deben ser ajustados ..."} & \text{"Necesidad"} & \dots & \text{"Cualitativo"} & \text{"A"} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$C\Phi_A = [U \ U \ U \ U \ O \ U \ U \ U \ A \ A \ O \ A \ U \ A \ A \ U \ A \ A] \quad (7)$$

Síntesis guiada de soluciones acumulativas para el molino de cuchillas

En la figura 3 se muestra la modelación funcional del molino de cuchillas con sus cuatro funciones y los correspondientes flujos de entrada y salida.

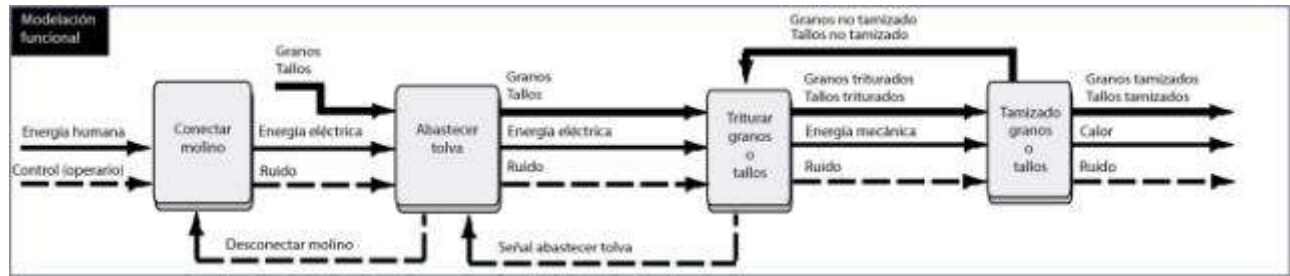


Fig. 3. Determinación de la estructura funcional del molino de cuchillas

La trazabilidad de la representación funcional final del molino se evidencia en una matriz de funciones cualitativas (Mfc), expresada en (8): en la primera columna de la matriz está identificado el conjunto de subfunciones (fn); en la segunda columna se incluye la matriz ampliada de requerimientos funcionales (Φ_A), expresada en (9), y obtenida a partir de los vectores (K_n) asociados a cada función; las restantes columnas contienen los flujos de entrada (flen) y de salida (flsn) de las funciones del molino.

$$Mfc = \begin{bmatrix} \text{"Conectar molino"} & \Phi_{A1} & \text{"Control (operario)"} & \text{"Ruido"} \\ & & \text{"Energía humana"} & \text{"Energía eléctrica"} \\ \text{"Abastecer tolva"} & \Phi_{A2} & \text{"Granos"} & \text{"Granos"} \\ & & \text{"Tallos"} & \text{"Tallos"} \\ & & \text{"Ruido"} & \text{"Ruido"} \\ & & \text{"Energía eléctrica"} & \text{"Desconectar molino"} \\ & & & \text{"Energía eléctrica"} \\ \text{"Triturar granos o tallos"} & \Phi_{A3} & \text{"Granos"} & \text{"Granos triturados"} \\ & & \text{"Tallos"} & \text{"Tallos triturados"} \\ & & \text{"Granos no triturados"} & \text{"Ruido"} \\ & & \text{"Tallos no triturados"} & \text{"Señal de abastecer tolva"} \\ & & \text{"Energía eléctrica"} & \text{"Energía mecánica"} \\ \text{"Tamizado granos o tallos"} & \Phi_{A4} & \text{"Granos no triturados"} & \text{"Granos tamizados"} \\ & & \text{"Tallos no triturados"} & \text{"Tallos tamizados"} \\ & & & \text{"Ruido"} \\ & & & \text{"Calor"} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\Phi_{A1} = [K_6 \ K_7 \ K_{13} \ K_{16}]^T \quad (9)$$

Poder disponer de la matriz de funciones cualitativas (Mfc) del molino de cuchillas, permite extraer de esta el vector de las funciones con cualidades para la trazabilidad (ξ_1), expresado en (10) y se deriva de la matriz (Mfc), que contiene los restantes vectores (ξ_2), (ξ_3) y (ξ_4). Estos representan los elementos fundamentales que posee cada subfunción en la estructura funcional del molino de cuchillas. Dichos vectores se encuentran orientados al proceso de trazabilidad o transferencia de información en la síntesis conceptual de soluciones.

$$\xi_1 = [\text{"Conectar molino"} \ \Phi_{A1} \ \text{"Control (operario), Energía humana"} \ \text{"Ruido, Energía eléctrica"}] \quad (10)$$

El análisis de la matriz (Mfc) del molino permite secuenciar la trazabilidad de los requerimientos relativos a la subfunción (f1), la cual consiste en "Conectar molino". La matriz (Φ_{A1}) contiene los vectores (K_6), (K_7), (K_{13}), y (K_{16}), asociados a esta subfunción. El flujo de entrada es "Control (operario)" y "Energía humana", y el flujo de salida es "Ruido" y "Energía eléctrica". De forma análoga se determinan las restantes matrices (Φ_{A2}), (Φ_{A3}) y (Φ_{A4}).

La estructura funcional definida, permitió establecer el análisis de las relaciones entre las funciones y sus soluciones, lográndola extracción de la base de conceptos elementales asociados a las funciones básicas, tabla 2, que permitieron determinar el tamaño teórico del campo de soluciones; el cual aportó 882 soluciones teóricas de diseños conceptuales del molino de cuchillas.

Tabla 2. Resumen de la base de conceptos para las funciones básicas de un molino de cuchillas

No.	Nombre de la función	Número de conceptos	Nombre del concepto	Número de soluciones
1	Conectar	3	Conector	3
			Cuchilla	2
			Pulsador	2
2	Abastecer	1	Tolva	3
3	Triturar	2	Rompedores de grano	2
			Rotor	3
4	Tamizar	1	Tamiz	7

La Matriz Morfológica Extendida (MME) del molino de cuchillas, está compuesta por los vectores (ξ_n), contenidos en la matriz (Mfc) y los vectores (PS_n) que representan a los diferentes principios de solución definidos para el molino de cuchillas y que están agrupados en la matriz morfológica definida en la tabla 3 para el caso del molino de cuchillas.

Tabla 3. Matriz morfológica y soluciones factibles para el molino de cuchillas

		Soluciones						
		1	2	3	4	5	6	7
Sub-funciones	Conectar	Conector espiga plana (Tipo A)	Conector espiga redonda (Tipo B)	Conector espiga en V (Tipo I)	Cuchilla 220V 3~	Interruptor magnético	Pulsador de un botón	Pulsador de dos botones
	Abastecer	Tolva frontal	Tolva trasera	Tolva lateral				
	Triturar	Rompedor de grano ajustable	Rompedor de grano fijo					
		Rotor con menos de cinco paletas	Rotor con cinco paletas	Rotor con más de cinco paletas				
	Tamizar	Tamiz N°10	Tamiz N°14	Tamiz N°20	Tamiz N°25	Tamiz N°35	Tamiz N°40	Tamiz N°50
Combinación de los principios de solución								

Leyenda: ● Variantes de solución. ● Variante de solución adoptada para la construcción.

De esta manera se logra orientar la trazabilidad de los requerimientos del molino al vincular, en una misma matriz, los requerimientos con toda la información disponible relativa al mismo, y los principios de soluciones asociados a esos requerimientos. La síntesis conceptual de soluciones se obtiene a partir de la combinación sistemática de soluciones, expresada a través de la matriz morfológica.

Generación y análisis de soluciones

Cada componente del diseño agrupa en sí todas las funciones, donde cada una aporta una solución y cada función tiene, en cada solución, valores que distinguen su influencia en el conjunto de los indicadores de eficiencia.

En el diseño del molino de cuchillas se definieron tres indicadores de eficiencia comprendidos por: costo (Co), consumo eléctrico (El) y productividad (Pr). Cada función n , con la solución m , aporta un valor Co_{nm} , El_{nm} y Pr_{nm} . Al determinarse el valor de cada Y_{id} para los indicadores de consumo eléctrico y productividad; en el caso del costo, se asume la cantidad de funciones como $n = 1$. Esto permite obtener los valores Co_{id} , El_{id} y Pr_{id} :

El análisis de las 882 soluciones teóricas de diseños conceptuales del molino de cuchillas, dio como resultado la información de la definición conceptual que mejor satisface los requerimientos funcionales del producto, figura 5.

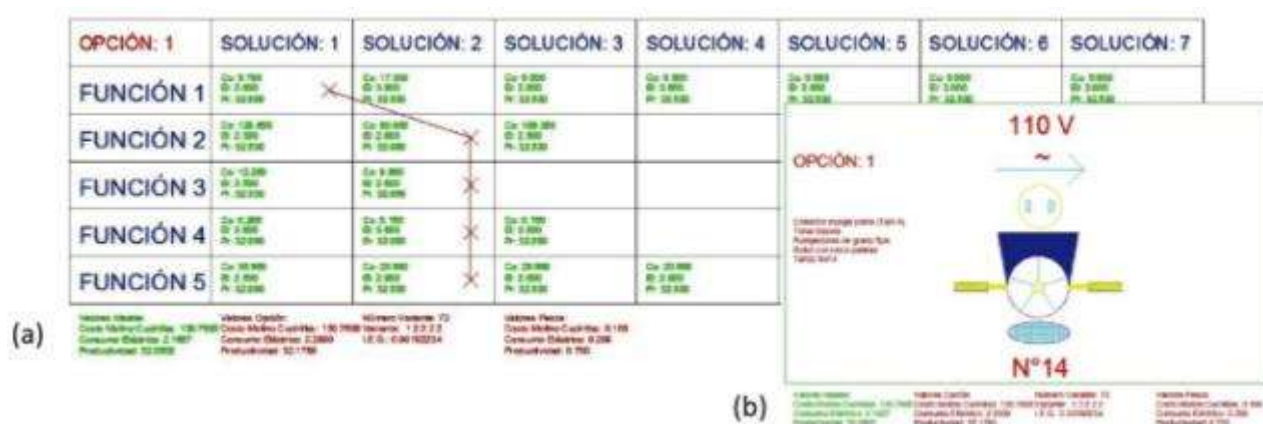


Fig. 5. Principio de solución obtenido a partir del uso de la aplicación SINCOS

El concepto de molino de cuchillas seleccionado, corresponde con la variante 72, la misma está definida por los principios de solución 1-2-2-2-2; generados a partir de la matriz morfológica, con ellos se define un molino que permite en su uso la mayor productividad, con el menor costo de fabricación y el menor consumo eléctrico durante su explotación.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran la validez del método propuesto para la síntesis guiada de soluciones acumulativas; al garantizar, en el diseño del molino de cuchillas, la trazabilidad de los requerimientos funcionales, con la captura, en forma de matrices, de la información relativa a estos y el estudio evolutivo de los mismos; desde su definición hasta la evaluación de conceptos.

El uso de herramientas informáticas integradas en un entorno CAD, unidas a la utilización de la teoría de los sistemas de ingeniería, facilita la toma de decisiones del diseñador y le permiten la obtención y análisis, a partir de la trazabilidad de los requerimientos funcionales, de 882 soluciones teóricas optimizadas de diseños conceptuales del molino de cuchillas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer por la cooperación a este trabajo a los profesores del Centro de Estudios de Diseño y Fabricación Asistidos por Computadoras de la Universidad de Holguín y la colaboración de la Empresa de Logística Agropecuaria 26 de Julio de la provincia Granma, Cuba.

Referencias

1. Fucci M. The Evolution of Digital Tools for Product Design. In: Innovation in Product Design from CAD to Virtual Prototyping. London, UK: Springer-Verlag; 2011.
2. Um D. Solid Modeling and Applications. Switzerland: Springer; 2015.
3. Cascini G, Rotini F. From Computer-Aided (Detailed) Design to Automatic Topology and Shape Generation. In: Innovation in Product Design from CAD to Virtual Prototyping. London, UK: Springer-Verlag; 2011.
4. Eagan RJ, Allen BE, Caudill CD, et al. Theoretical Foundations for Decision Making in Engineering Design. Washington, USA: National Academy of Sciences; 2001.

5. Eagan RJ, Allen BE, Caudill CD, et al. Approaches to Improve Engineering Design. Washington, USA: National Academy of Sciences; 2002.
6. Wiesner S, Peruzzini M, Hauge JB, et al. Requirements Engineering. In: Concurrent Engineering in the 21st Century: Foundations, Developments and Challenges. London, UK Springer International Publishing; 2015.
7. Wynn MT, Ouyang C. Data and process requirements for product recall coordination. Computers in Industry. 2011;62(7):776-86.
8. Wang L, Ng WK, Song B. Extended DCSP Approach on Product Configuration with Cost Estimation. Concurrent Engineering. 2011;19(2):123-38.
9. Kirkman DP. Requirement decomposition and traceability. Requirements Engineering. 1998;3(2):107-14.
10. Onabajo A, Weber-Jahnke JH. Stratified modelling and analysis of confidentiality requirements. In: Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences; Hawaii, USA: IEEE; 2008
11. Avigada G, Moshaiov A. Set-based concept selection in multi-objective problems involving delayed decisions. Journal of Engineering Design. 2010;21(6):619-46.
12. Colombo G, Mandorli F. Evolution in Mechanical Design Automation and Engineering Knowledge Management. In: Innovation in Product Design From CAD to Virtual Prototyping. London, UK: Springer-Verlag; 2011.
13. Chandrasegaran SK, Ramani K, Sriram RD, et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. Computer-aided design. 2013;45(2):204-28.
14. Alanen J, Isto P, Tommila T, et al. Requirements traceability in simulation driven development. Finland: Teknologian tutkimuskeskus VTT; 2015.
15. Savino MM, Mazza A. Product Traceability Information: An Approach for Information Linking. In: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering & Operations Management. 2012
16. Delgoshaei P, Austin MA, Veronica DA. A semantic platform infrastructure for requirements traceability and system assessment. In: The Ninth International Conference on Systems (ICONS 2014); Nice, France; 2014.
17. Ullman DG. The mechanical design process. 4th ed. New York, USA: McGraw-Hill Higher Education; 2010.
18. Zhu D-S, Lin C-T, Tsai C-H, et al. A study on the evaluation of customers' satisfaction - the perspective of quality. International Journal for Quality research. 2010;4(2):105-16.
19. Mkpojiogu EOC, Hashim NL. Understanding the relationship between Kano model's customer satisfaction scores and self-stated requirements importance. Springer Plus. 2016;5(1):197.
20. Arzola J. Sistemas Ingenieriles. Ciudad de La Habana, Cuba: Félix Varela; 2000.