

# Diseño y desarrollo de un producto: aparato mecánico para la limpieza de persianas de vidrio

## Design and development of a product: mechanical device for cleaning glass shutters

Sergio González-Serrud<sup>1</sup>, Edward Montes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional Azuero, Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Panamá, sergio.gonzalez5@utp.ac.pa

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional Azuero, Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Panamá, edward.montes@utp.ac.pa

**Resumen**– Actualmente, el éxito de las empresas creadoras de productos innovadores depende de la capacidad para identificar los problemas y necesidades de los usuarios. Por lo tanto, se hace imperativo crear una investigación que enseñe como diseñar y desarrollar un producto. Este artículo presenta paso a paso como a partir de los requisitos de los clientes y la identificación de las necesidades se logra diseñar y desarrollar un aparato mecánico. El objetivo de este artículo es presentar el diseño, desarrollo de un aparato para la limpieza de persianas de vidrio y que paralelamente ayude como guía para la creación de un producto. Las personas que poseen persianas de vidrio tienen el problema que no pueden limpiar de una manera rápida y eficiente las ventanas. Los resultados de esta investigación mostraron que siguiendo con las fases de diseño es posible crear un producto que cumpla con los requisitos de los clientes y a su vez erradique la problemática. El uso de este artículo puede servir de referencia para la definición de productos para otros casos.

**Palabras claves**– Diseño, desarrollo de producto, manufactura, aparato mecánico, método de diseño.

**Abstract**– Currently, the success of companies creating innovative products depends on the ability to identify the problems and needs of users. Therefore, it is imperative to create research that teaches how to design and develop a product. This article presents step by step how to design and develop a mechanical device based on customer requirements and the identification of needs. The objective of this article is to present the design and development of a device for cleaning glass blinds and at the same time to help as a guide for the creation of a product. People who own glass blinds have the problem of not being able to clean the windows quickly and efficiently. The results of this research showed that by following the design phases it is possible to create a product that meets the requirements of the customers and in turn eradicates the problem. The use of this article can serve as a reference for the definition of products for other cases.

**Keywords**– Design, product development, manufacturing, mechanical device, design method.

### I. INTRODUCCIÓN

El éxito económico de casi todos los productos depende de que tan bien se incluyeron los requisitos de los clientes en el diseño del producto. Alcanzar esta meta no es solo un problema de mercadotecnia, diseño o manufactura; es un problema que compete a todas las áreas de trabajo [1].

Un producto es algo desarrollado por una empresa con la intención de venderlo a personas (clientes).

El desarrollo de producto son las actividades y fases que un grupo de diseñadores inicia con la percepción de una oportunidad de mercado y termina en la construcción, producción en masa, venta y entrega de un producto [2].

Un producto exitoso desde la perspectiva de los inversionistas de una empresa con fines de lucro es una tecnología que pueda producirse con facilidad y se venda con rentabilidad [3]. Las características que se utilizan para evaluar el buen desarrollo de un producto son la calidad, costo del producto, tiempo, costo y capacidad de desarrollo. Un elevado rendimiento en estas cinco características debe llevar al éxito del producto, aunque hay otros criterios de rendimiento que también son importantes. Otras características que se utilizan para evaluar el desarrollo del producto surgen debido a intereses de la empresa, miembros del equipo de diseño y de los propios clientes.[4]

El desarrollo de tecnologías es una actividad multidisciplinaria que necesita ayuda de casi toda una empresa; tres funciones son las más esenciales en el desarrollo de un producto: la mercadotecnia [5], diseño y manufactura. La mercadotecnia que funciona como intermediaria entre los clientes y la empresa [6], [7]. Identifica las oportunidades de desarrollo de productos, las necesidades de los usuarios, coloca los precios objetivamente y también se encarga de supervisar ciertas promociones a los productos. Las funciones que desempeña el diseño actualmente son: crear los modelados en 2D, 3D en softwares especializados, el diseño mecánico [1], [8], eléctrico y ergonómico [9]. Las funciones principales de la manufactura son operar y coordinar el sistema de producción de la tecnología, compra, e instalación de materiales necesarios para la construcción del producto [10], [11].

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.660>  
ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

Las personas que están integradas al grupo de desarrollo del producto a menudo reciben capacitaciones específicas en investigación de mercado [12], finanzas [13], [14], diseño mecánico [15], [16], ingeniería eléctrica [17], ciencias de los materiales [18] y operaciones de manufactura [19], [20].

El objetivo de este artículo es presentar de forma clara el diseño, desarrollo de un aparato mecánico para la limpieza de persianas de vidrio y que paralelamente ayude como guía para la creación de un producto.

## II. ANTECEDENTES

Las personas que poseen ventanas de persianas de vidrio tienen el problema que no pueden limpiar de una manera rápida y eficiente las ventanas. Según encuestas realizadas el promedio de ventanas que tiene una persona en total es de 25 ventanas por casas, dando como resultado en promedio la limpieza de 250 vidrios por casa.

El proyecto consiste en la creación de un dispositivo que sea capaz de limpiar los vidrios de las ventanas de persiana de forma íntegra y sencilla.

## III. METODOLOGÍA

Las fases de diseño son complejas y requiere de múltiples iteraciones para asegurar que se alcanza la meta propuesta para cada etapa. Es un proceso de importancia, si bien, su cumplimiento de por sí, no garantiza que el resultado sea exitoso para la empresa, en el caso de no seguirlo, se puede garantizar que difícilmente el resultado sea el buscado por las personas implicadas [21]. De acuerdo con Budynas y Keith Nisbett, en su libro *Diseño de Ingeniería Mecánica* de Shigley [22], McGraw Hill, el proceso de diseño se compone de 6 fases, las cuales algunas fases se pueden dividir en dos partes o más, para lograr un mejor estudio de cada fase, esto depende del líder del equipo.

Las fases de diseño no es un proceso lineal [23], [24], donde se inicia con la etapa 1 y se finaliza en la etapa 6 sin ningún tipo de retroceso. Los estudios sugieren que el proceso debe ser iterativo, por ejemplo, donde se avancen dos fases y luego se deba retroceder una, esto es causado por la naturaleza del diseño.

Para la conceptualización y construcción de un producto, se tienen que tomar en cuenta diferentes etapas que incluye, el proceso de conceptualización y diseño, dentro del que se incluye el reconocimiento de la necesidad, la definición del problema, el planteamiento de problema síntesis, análisis y optimización. Luego se cuenta con la búsqueda de propuestas similares en el mercado, que permita identificar que el producto diseñado no es una copia de otro autor. Posteriormente se cuenta con la fase de prueba o evaluación, en donde se realiza la construcción de un prototipo para validar el mismo. Como último paso el prototipo es presentado a la comunidad [22].

A continuación, se presenta las fases de diseño empleada.

*A. Identificación del problema.* Se realizan encuestas, entrevistas al personal del área donde se quiere crear un

producto. De esta manera se reconoce e identifica los problemas que posee esa área específica.

Se identifica que las personas que realizan la limpieza de las persianas de vidrio lo hacen de una manera precaria y arcaica.

*B. Definición el problema.* Se incluye todas las especificaciones del objeto a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades.

El problema erradica en la cantidad de persianas, ya que en una sola ventana hay 12 vidrios, los cuales se les tiene que hacer mantenimiento. El mantenimiento de estas persianas significa un arduo trabajo que da como resultado un mayor esfuerzo y cansancio por parte del usuario.

Por otro lado, la suciedad en los vidrios puede causar una mala impresión, además de la contaminación dentro del hogar, ya que habría polvo en el aire y en el piso.

*C. Planteamiento del problema.* Permite indagar sobre los síntomas, las causas, consecuencias y posibles soluciones al problema encontrado.

Síntomas: Contaminación del ambiente, deterioro de las ventanas.

Causas: Difícil mantenimiento de las ventanas; no hay realmente un producto creado específicamente para las ventanas tipo persianas.

Consecuencias: Acumulación de polvo dentro del hogar; quebrantos de salud de personas alérgicas al polvo; mal aspecto de la casa.

Pronóstico o solución del problema Dispositivo capaz de eliminar las partículas de suciedad de las ventanas.

*D. Síntesis.* Se realizan esquemas o diagramas de las palabras o frases más importantes de la identificación, definición y planteamiento del problema.

*E. Búsqueda del Estado del arte previo.* Se comparan los productos existentes que están intentando solucionar la necesidad a resolver.

Patente US4718141A [25]: Aparato que tiene utilidad en la limpieza de persianas venecianas. La herramienta incorpora una pluralidad de protuberancias alargadas que contienen unas esponjas que limpian los vidrios.

Patente US2271694A [26]: El objetivo de esta invención es proporcionar un plumero adaptado para su uso con una aspiradora o un dispositivo de limpieza similar.

Patente US2231802A [27]: Aparato de limpieza de ventanas el cual tiene un soporte estructural que contiene múltiples rodillos, dichos rodillos poseen a su vez esponjas o cerdas de hilos para limpiar simultáneamente los vidrios de la cara interior y exterior de una ventana.

F. *Análisis y optimización.* Se identificaron los usuarios potenciales del producto y los requisitos principales que debe tener el mismo; se dispuso a crear la casa de la calidad [28].

La Casa de la Calidad es un proceso conocido para el desarrollo de productos que está basado en los requisitos de los clientes para el desarrollo de productos y está anclado en las capacidades y recursos de la organización que busca satisfacer esos deseos [29].

G. *Generación y selección de conceptos.* A partir de la información recabada en la Casa de la Calidad y de las entrevistas; se desarrollan dibujos de posibles dispositivos [30], [31], como alternativas de solución al problema encontrado, ya sea a mano alzada o en un programa computacional destinado a dibujo.

Se recomienda dibujar 3 o más conceptos, para este proyecto se realizó 10 conceptos bosquejados.

Para finalizar esta fase se realiza una matriz de decisión, se escoge el bosquejo que se apega más a los requisitos ingenieriles y de los usuarios potenciales.

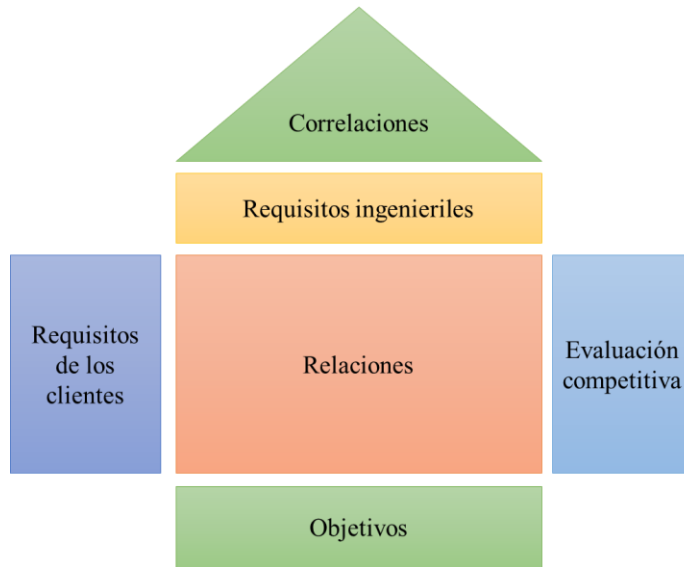


Fig. 1. Estructura de la casa de calidad.

G. *Evaluación.* Se construye el diseño conceptual ganador, cuya elección fue en la etapa anterior. Luego se realizan pruebas al prototipo obtenido, con el fin de descubrir si el prototipo diseñado satisface las necesidades de los clientes.

En el caso del aparato mecánico de esta investigación se realiza pruebas de limpieza a los cristales de unas ventanas y se observa el funcionamiento del dispositivo y que tan bien limpia (esta prueba fue visual).

H. *Presentación.* En esta fase se realiza la exposición de resultados, ya sea a través de documentos científicos o eventos en donde participen los potenciales usuarios de la tecnología propuesta.

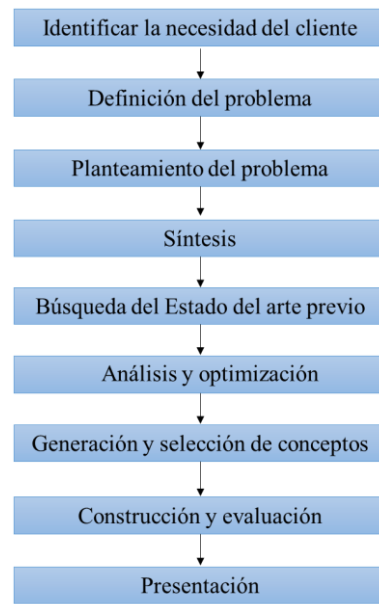


Fig. 2. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples iteraciones.

#### IV. RESULTADOS

A. *Selección de materiales y procesos de manufactura utilizados en la fabricación de partes.*

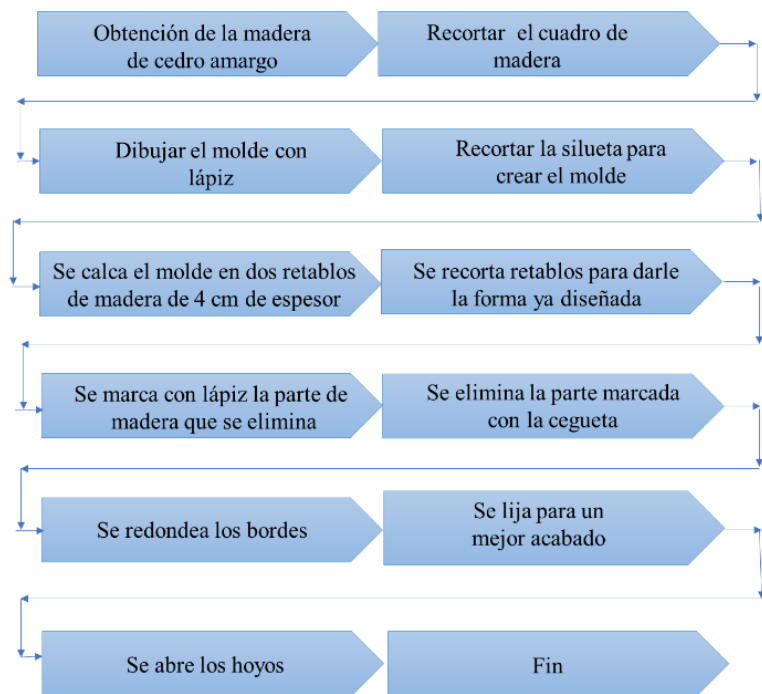


Fig. 3. Proceso de construcción del soporte del dispositivo.

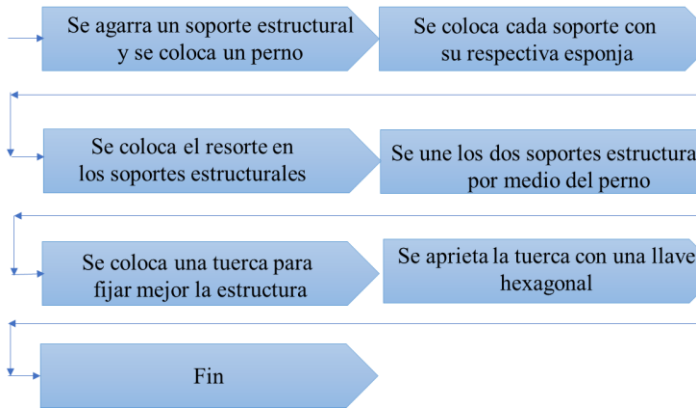


Fig. 4. Proceso de ensamble para el prototipo.

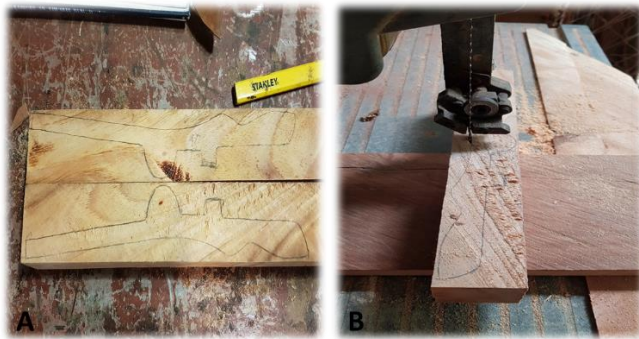


Fig. 5. Retablos de madera marcados con la silueta del soporte estructural.



Fig. 6. Soportes estructurales en la etapa final de construcción.



Fig. 7. A. Soporte estructural siendo taladrado para permitir el paso del perno. B. Prototipo finalizado.

### B. Funcionamiento.

El resorte (1) mantiene el dispositivo con las esponjas (2) presionadas, por lo que, para utilizarlo, el usuario deberá presionar las manetas (4) para que este se abra, luego al soltarlas, él automáticamente quedará presionando las esponjas contra el cristal y solo será cuestión de deslizar y limpiar. Se deberá enjuagar el dispositivo las veces que amerite hacerlo, para que limpie bien la superficie.

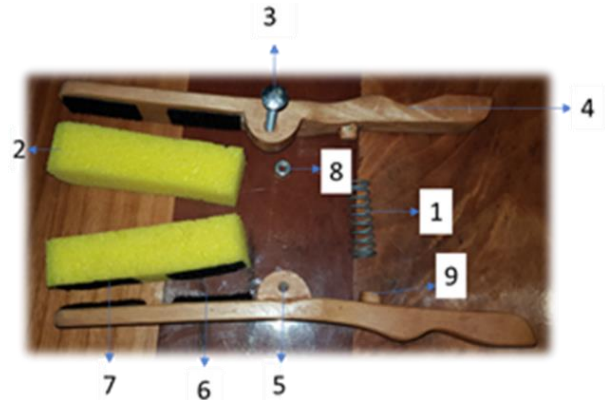


Fig. 8. Partes del prototipo. 1. Resorte, 2. Esponja, 3. Perno, 4. Soporte estructural prototipo y manija, 5. Agujero que es atravesado por el perno, 6. Velcro, parte externa, 7. Velcro, parte interna, 8. Tuerca, 9. Sujetador del resorte.

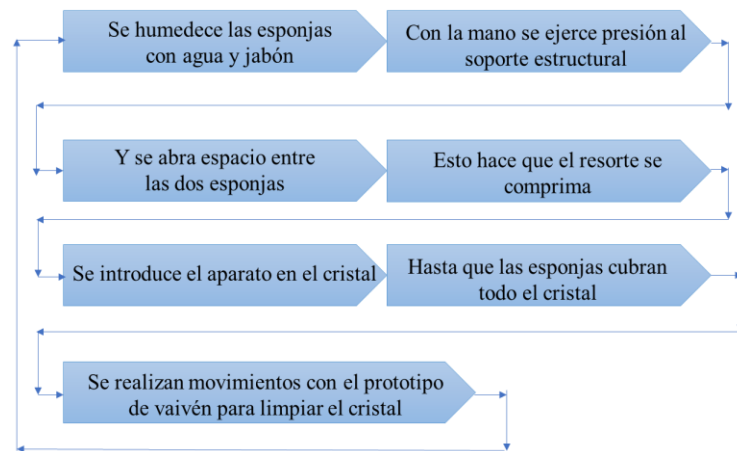


Fig. 9. Diagrama del funcionamiento del prototipo.

### C. Análisis económico.

TABLA I  
LISTADO DE MATERIALES.

| Piezas       | Costo (\$) |
|--------------|------------|
| Resorte      | 0.75       |
| Dos Esponjas | 1.25       |
| Perno        | 0.15       |
| Tuerca       | 0.05       |
| Velcro       | 0.50       |

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| Barniz                       | 1.00   |
| Soporte estructural (madera) | 1.00   |
| Total                        | 4.70\$ |

TABLA 2  
GASTOS GENERALES.

|                               | Unidad | Costo (\$) |
|-------------------------------|--------|------------|
| Elaboración de encuestas      | 2      | 20.00      |
| Encuestador                   | 2      | 10.00      |
| Costo total de los materiales | 1      | 4.70       |
| Diseñador                     | 2      | 50.00      |
| Constructor del prototipo     | 1      | 20.28      |
| Total invertido               |        | 104.98     |

## V. DISCUSIÓN

### A. Proceso creativo

Para inspirar o mejorar la solución a un problema se han desarrollado diversas técnicas [32], [33]. Robert L. Norton en el libro *Diseño de Máquinas* recomienda dos procesos creativos [34]. La primera, generación de idea [35], [36]. La cataloga como un proceso creativo difícil, incluso para personas con nivel de pericia alta en diseño. La técnica de generación de ideas utilizada es no desechar, ni juzgar la calidad de las ideas y utilizar juicio diferido, es decir que su criticabilidad debe ser suspendida temporalmente. El objetivo de esta fase es generar la mayor cantidad de ideas y posteriores diseños potenciales. El segundo proceso creativo que recomienda es la lluvia de ideas [37], la cual es una técnica que expertos afirman es exitosa en la generación de soluciones. El único inconveniente es que para realizarla adecuadamente debe haber un grupo de seis a quince personas, si tu grupo es de dos o tres personas, quizás está técnica no sea la más efectiva. Las reglas de este proceso creativo indican que nadie critique las ideas o diseños de otra persona, sin importar que tan insignificante sea. Una persona voluntaria escribe en un tablero, cuaderno o computadora las ideas y sugerencias de sus compañeros, así hasta generar la cantidad de ideas deseadas. El análisis de la calidad de las ideas se realiza más adelante.

### B. Ingeniería de diseño

El ingeniero o diseñador, continuamente se enfrenta a retos de estructurar problemas mal identificados [38]. Esto debido a que los clientes, cuando se le realizan las entrevistas y encuestas no cuentan con la pericia necesaria para identificar y definir sus problemas con claridad. Por lo tanto, el ingeniero de diseño debe hacer un análisis e interpretación de las palabras del cliente potencial y luego definir el problema correctamente, para asegurar que cualquier solución propuesta resuelve eficazmente el problema [24], [25].

### C. Prototipo construido

El concepto presentado en los resultados fue el que mayor puntaje obtuvo en la matriz de decisiones. Ganó debido al

cumplimiento que tenía con cada una de las características que solicitaba el cliente. Este aparato es liviano y muy fácil de manejar, no es eléctrico, es bastante accesible, por lo que cualquiera persona lo puede tener. Solo mide 29 cm x 4.0 cm x 6.0 cm. El ruido al trabajar es casi inexistente, se puede desarmar y armar fácilmente.

### D. Requisitos de los clientes e ingenieriles.

Los requisitos de los clientes colocados en la Casa de la Calidad se suministraron por medio de encuestas hechas a los potenciales usuarios del producto. El grupo de trabajo tuvo la tarea de interpretar los deseos de cada cliente potencial. Luego del análisis de las encuestas, se llevó a la conclusión que los requisitos del cliente eran costo, tamaño, fácil uso, durable, desarmable, sin electricidad, sin ruido, desechable y peso. Cada requisito del cliente debe emparejarse con uno o más requisitos ingenieriles. La diferencia entre los requisitos ingenieriles y de los clientes es que los ingenieriles poseen unidades medibles. Se emparejaron de la siguiente manera:

TABLA 3  
REQUISITOS DE CLIENTES VERSUS INGENIERILES.

| Requisitos de clientes | Requisitos ingenieriles | Unidad                  |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Costo                  | Dinero                  | Dólares estadounidenses |
| Tamaño                 | Dimensión               | Metros                  |
| Fácil uso              | Peso                    | Kilogramos              |
|                        | Dimensión               | Metros                  |
| Durable                | Vida útil               | Años                    |
| Desarmable             | Dimensión               | Metros                  |
| Sin electricidad       | Intensidad de corriente | Amperes                 |
| Sin ruido              | Intensidad sonora       | Decibeles               |
| Peso                   | Peso                    | Kilogramos              |
| Desechable             | Intensidad de corriente | Amperes                 |
|                        | Dimensión               | Metros                  |

### E. Diferencia con estado de arte previo (patentes).

La diferencia entre el diseño del prototipo presentado en esta investigación y el encontrado en el estado de arte previo [24]–[26] es en el mecanismo de abrir y cerrar los soportes estructurales. Este mecanismo hace posible que el dispositivo

pueda adaptarse a diferentes espesores de cristales, está característica no la posee las patentes encontradas. Las patentes más similares a la tecnología de este trabajo se encontraron que sus estructuras son rígidas, por lo tanto, solo pueden limpiar en un espesor de cristal predeterminado.

#### F. Direcciones futuras.

Se están desarrollando tres patentes para ser enviadas a Dirección General del Registro de la Propiedad Industrial de Panamá.

### VI. CONCLUSIÓN

En este trabajo se presentó el diseño y desarrollo de un aparato mecánico para la limpieza de persianas de vidrio y que paralelamente ayuda como guía para la creación de un producto. Se proporcionó recursos para los grupos desarrolladores de productos y se dispuso una trayectoria para la innovación. Para lograr este proyecto se tuvieron que seguir las fases de diseño mecánico, las cuales son iterativas. Estas iteraciones nos permiten cada vez agregar mejoras al producto final, por lo cual es beneficioso tanto para la empresa creadora de la tecnología como para el cliente. Este artículo se ha enfocado más en el diseño, desarrollo y manufactura de la tecnología, los cuales son los grupos núcleos de una empresa creadora de productos. Se espera que el personal de la empresa sea interdisciplinario y tengan competencias en ingeniería eléctrica, mecánica, investigación de mercado, operaciones de manufactura y otros. Entre más áreas involucradas estén, mejor será el resultado final.

### AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias al Dr. Domingo Vega por la revisión del proyecto y a la Familia Montes Barrios por prestar su taller de ebanistería para la construcción del prototipo.

### REFERENCIAS

[1] K. T. Ulrich, *Product design and development*. Tata McGraw-Hill Education, 2003.

[2] J. Alcaide Marzal, *Diseño de producto*. Biblioteca Hernán Malo González, 2004.

[3] L. Brownsword and P. Clements, "A Case Study in Successful Product Line Development.," CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST, 1996.

[4] M. Baxter, *Product Design*. CRC Press, 1995. doi: 10.1201/9781315275246.

[5] P. Fifield, *Marketing strategy*. Routledge, 2012.

[6] N. A. Morgan, K. A. Whitler, H. Feng, and S. Chari, "Research in marketing strategy," *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 47, no. 1, pp. 4–29, 2019.

[7] F. v Cespedes and N. F. Piercy, "Implementing marketing strategy," *Journal of Marketing Management*, vol. 12, no. 1–3, pp. 135–160, 1996.

[8] S. Pugh, *Integrated methods for successful product engineering*. Addison-Wesley, 1990.

[9] S. Tickoo, *Autodesk inventor professional 2018 for designers*. CAD/CIM Technologies, 2017.

[10] D. G. Ullman, T. G. Dietterich, and L. A. Stauffer, "A model of the mechanical design process based on empirical data," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*,

vol. 2, no. 1, pp. 33–52, Feb. 1988, doi: 10.1017/S0890060400000536.

[11] G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. A. Knight, *Product design for manufacture and assembly*. CRC press, 2010.

[12] Helmut Sy Corvo, "Análisis de la oferta," <https://www.lifeder.com/analisis-oferta/>, 2017.

[13] D. Kaczynski, M. Salmona, and T. Smith, "Qualitative research in finance," *Australian Journal of Management*, vol. 39, no. 1, pp. 127–135, 2014.

[14] T. Lagoarde-Segot, "Diversifying finance research: From financialization to sustainability," *International Review of Financial Analysis*, vol. 39, pp. 1–6, 2015.

[15] J. J. Uicker, G. R. Pennock, J. E. Shigley, and J. M. McCarthy, *Theory of machines and mechanisms*, vol. 768. Oxford University Press New York, 2003.

[16] L. L. Bucciarelli and L. L. Bucciarelli, *Designing engineers*. MIT press, 1994.

[17] V. K. Mehta and R. Mehta, *Basic Electrical Engineering*. S Chand, 2012.

[18] D. R. Askeland and W. J. Wright, *Essentials of materials science and engineering*. Cengage Learning, 2018.

[19] B. Wu, *Manufacturing systems design and analysis*. Springer Science & Business Media, 2012.

[20] A. Hill, *Manufacturing Operations Strategy: Texts and Cases*. Bloomsbury Publishing, 2020.

[21] J. E. Shigley, *Mechanical engineering design*. McGraw-Hill Companies, 1972.

[22] R. Budynas and J. Keith Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Eighth. México D.F., 2008.

[23] L. A. Stauffer and D. G. Ullman, "A comparison of the results of empirical studies into the mechanical design process," *Design Studies*, vol. 9, no. 2, pp. 107–114, Apr. 1988, doi: 10.1016/0142-694X(88)90036-1.

[24] M. R. Henderson and L. E. Taylor, "A meta-model for mechanical products based upon the mechanical design process," *Research in Engineering Design*, vol. 5, no. 3–4, pp. 140–160, Sep. 1993, doi: 10.1007/BF01608360.

[25] C. Kuehnl, "Cleaning device," US4718141A, Jun. 12, 1988.

[26] J. H. Johnson, "Duster," US2271694A, Aug. 01, 1938.

[27] R. I. Diggs, "Dustless blind brush," US2231802A, Feb. 11, 1941.

[28] C. Adiano and A. v Roth, "Beyond the house of quality: dynamic QFD," *Benchmarking for Quality Management & Technology*, 1994.

[29] S. Murgatroyd, "The house of quality: Using QFD for instructional design in distance education," *American Journal of Distance Education*, vol. 7, no. 2, pp. 34–48, Jan. 1993, doi: 10.1080/08923649309526821.

[30] C. Jensen, J. D. Helsel, and D. Short, "Engineering drawing and design, Glencoe." Macmillan/McGraw-Hill, 1990.

[31] D. G. Ullman, S. Wood, and D. Craig, "The importance of drawing in the mechanical design process," *Computers & Graphics*, vol. 14, no. 2, pp. 263–274, Jan. 1990, doi: 10.1016/0097-8493(90)90037-X.

[32] L. Briskman, "Creative product and creative process in science and art," *Inquiry*, vol. 23, no. 1, pp. 83–106, 1980.

[33] N. Bonnardel, A. Wojtczuk, P.-Y. Gilles, and S. Mazon, "The creative process in design," in *The Creative Process*, Springer, 2018, pp. 229–254.

[34] R. L. Norton, *Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines*. McGraw-Hill/Higher Education, 2008.

[35] G. L. Lilien, P. D. Morrison, K. Searls, M. Sonnack, and E. von Hippel, "Performance assessment of the lead user idea-generation process for new product development," *Management science*, vol. 48, no. 8, pp. 1042–1059, 2002.

[36] J. J. Shah, "Experimental investigation of progressive idea generation techniques in engineering design," in *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 1998, vol. 80333, p. V003T03A004.

- [37] H. Al-Samarraie and S. Hurmuzan, "A review of brainstorming techniques in higher education," *Thinking Skills and Creativity*, vol. 27, pp. 78–91, 2018.
- [38] P. R. N. Childs, *Mechanical design engineering handbook*. Butterworth-Heinemann, 2013.