

Análisis por elemento finito de un sistema mecánico para la recolección de pimienta dioica

L.M. García Martínez^{1*}, N. Rodríguez Ventura², J. Andrade García¹

¹Academia de Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n, Aire Libre, C.P. 73960 Teziutlán, Puebla, México.

²Cuerpo Académico Innovación y Desarrollo Tecnológico, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n, Aire Libre, C.P. 73960 Teziutlán, Puebla, México.

*luismanuel.garcia@live.com.mx

Área de participación: Ingeniería Mecatrónica.

Resumen

En México, sobre la vertiente del golfo, se cultiva la denominada “pimienta gorda”. En el año 2016 surgió un proyecto tecnológico con el fin de conferir valor a los sistemas de producción de los agricultores de la región II del estado de Puebla. Complementando este proyecto, se busca migrar el método de recolección manual a uno semiautomático a través del uso de un sistema mecatrónico para la recolección de pimienta, el cual, permita incrementar la productividad, disminuir el esfuerzo invertido y minimizar las condiciones de trabajo inseguras. Para efectos de validación, se someterán las partes críticas del dispositivo a pruebas de esfuerzo, discretizando el sistema continuo a partir del método de elementos finitos. Como resultado, se obtendrá un modelo virtual representativo que cumpla con las características especificadas por los productores.

Palabras clave: modelado, sistema, recolección, pimienta.

Abstract

In Mexico, “pimienta gorda” is grown on the gulf slope. During 2016, a technological project was created in order to confer value to the production systems of farmers in Region II of the state of Puebla. Complementing this project, we seek to migrate the method of manual collection to a semi-automatic method through the use of a mechatronic system for the collection of pepper, which will increase productivity, decrease the effort invested and minimize unsafe working conditions. For validation purposes, critical parts of the device will be subjected to stress tests, discretizing the continuous system from the FEM. As a result, a representative virtual model that meets the characteristics specified by the producers will be obtained.

Key words: modeling, system, harvest, pepper.

Introducción

La pimienta tiene una fuerte incidencia dentro del comercio mundial pues llega a diferentes destinos para su consumo directo o para su procesamiento industrial en diferentes sectores. Es una planta de origen hindú, que a través del tiempo ha extendido su cultivo hacia otras latitudes de condiciones climatológicas similares. En México, sobre la vertiente del golfo, cuya geografía reúne características climáticas y edáficas similares en los estados de Puebla, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. (Martínez, Hernández, & Martínez, 2013) se produce la variedad denominada “Pimienta Gorda” *pimienta dioica* L. Merrill, que ha sido domesticada y naturalizada en distintos países tropicales de América y el mundo. En los límites de la sierra nororiental del estado de Puebla con el estado de Veracruz, sobre el límite norte de esta vertiente, se encuentra el municipio de Hueytamalco, que aprovechando estas excepcionales características, ha reproducido árboles de gran altura y corteza lisa formada a partir de placas olorosas, que benefician la obtención de pimienta con calidad de exportación.

Debido a las características accidentadas de la geografía de la demarcación, se han iniciado proyectos para migrar el proceso de producción tradicional a uno de plantaciones de alta densidad. Dicho sistema de producción se encuentra actualmente en fase experimental para corroborar lo expuesto por Cruz, Sánchez, Ortíz, & Mendoza, 2009, quienes afirman que el aumento en la densidad de la población causa disminución de rendimiento por planta, al mismo tiempo que incrementa el rendimiento por unidad de superficie, aunque esta relación no es siempre la misma.

Particularmente, en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán durante el año 2016 surgió una investigación para contribuir al desarrollo tecnológico regional, a partir de un estudio que tuvo como finalidad proponer diferentes tecnologías para adicionar valor a la producción de pimienta. La falta de métodos, maquinaria, equipo e infraestructura obligaban a los productores a vender su pimienta en verde, haciendo que perdieran utilidades superiores al 40% (Rodríguez & García, 2016). En esta primera fase del proyecto, se logró diseñar un centro de acopio que cubriera las necesidades básicas de almacenaje, secado, clasificación, llenado y pesado de bultos, así como el embarque hacia los numerosos destinos donde este producto es apreciado.

Sin embargo, aún permanecía pendiente la tarea de asistir al proceso más complejo de la cadena: la recolección. Actualmente los recolectores deben permanecer jornadas completas sobre las copas de los árboles, soportados únicamente por andamios rudimentarios que no garantizan su seguridad. Los terrenos de cultivo en su mayoría son abruptos, con pendientes pronunciadas. Asimismo, dadas las características climáticas, continuamente se presentan superficies húmedas y resbalosas, generando un riesgo latente de caídas. Así, el objetivo del presente trabajo es migrar el método de producción manual a uno semiautomático apoyado en herramientas tecnológicas de bajo costo y alto rendimiento, que permitan obtener los beneficios del corte manual, pero en un tiempo menor, con menor esfuerzo y reduciendo considerablemente los riesgos a la salud de los recolectores. Se busca, proponer un sistema mecatrónico para la recolección de pimienta en plantaciones de normal y alta densidad, con el fin de incidir integralmente en los procesos de producción, recolección y secado de la pimienta.

Metodología

La función básica del diseño en ingeniería es proporcionar soluciones a los problemas y satisfacer las necesidades de los productos, servicios o sistemas. El proceso de diseño por su naturaleza iterativa, requiere de múltiples pasos para llegar a una conclusión. Este inicia con el reconocimiento o la identificación de las necesidades y la consideración de la factibilidad económica para materializar la solución. (Giesecke, y otros, 2013) Es por esto, que todos los nuevos diseños, así como los procesos para llevarse a cabo, deben ser impulsados por los requerimientos del cliente, cumpliendo además con estándares y regulaciones de los diferentes niveles de gobierno. (Aguayo, 2003) Tomando en cuenta estas premisas, el presente trabajo se dividió en tres etapas:

1. Análisis de las necesidades

Se realizó una serie de entrevistas y visitas de campo a varios productores de pimienta de la comunidad Arroyo Blanco, perteneciente al municipio de Hueytamalco, Puebla, para conocer el proceso actual de recolección. En estas visitas se determinaron los requerimientos de los productores y las necesidades de los consumidores para obtener pimienta de calidad. Así, fue posible constatar que una de las mayores dificultades para los productores es retirar el fruto del árbol, ya que para hacerlo necesitan alcanzar alturas de 3 a 5 metros, situándose sobre andamios que ponen en riesgo su integridad. Cada recolector porta ayates o bolsas de tela para recolectar la mayor cantidad de frutos posible. Esta bolsa permanece sobre sus hombros durante toda la jornada, que en ocasiones se extiende por doce horas, haciendo que sea una actividad que requiere un gran esfuerzo físico.

Una vez que la pimienta ha sido recolectada pasa a la etapa de despique, que implica retirar los pedúnculos de las bayas para que estas, en una etapa posterior puedan colocarse a secar de manera artesanal en terrazas de cemento, comúnmente llamadas "asoleaderos". En las figuras 1 y 2, se puede observar parte del proceso de recolección actual.



Figura 1. Recolección de pimienta.



Figura 2. Pimienta en verde.

2. Diseño del sistema recolector de pimienta

A partir de las necesidades planteadas y tomando en cuenta el contexto de los productores de pimienta de la región, se decidió proponer un sistema mecatrónico para la recolección de pimienta que permita facilitar esta labor, reduciendo las condiciones inseguras de trabajo. En esta etapa fue crucial la búsqueda de patentes que realizaran tareas similares en diversas plataformas para beneficiar el proceso de diseño, entre ellas se puede mencionar la registrada en España con clave 201830651, describe un dispositivo para la recolección de frutos, específicamente arándanos y otros de configuración similar. La patente E15386023 registrada en Grecia, correspondiente a una máquina succionadora de olivo con extensión para árboles de gran dimensión. Otra patente relacionada es la registrada en España con la clave U201730916, hace referencia a un utensilio de recolección por medio de varillas distribuidas en forma de abanico.

Uno de los elementos diferenciales que se pudieron detectar a partir del análisis de la propuesta en comparación con los ya disponibles en el mercado, es que no recurre a la vibración para realizar el proceso de corte. Por otro lado, está la fusión de diversos elementos, como el brazo telescópico o bien, las varillas rotativas en un solo sistema, proveyendo mayores alcances de aplicación y facilidad de manipulación. Finalmente se debe mencionar que no hay evidencia de registros de patentes de equipos similares en el país, con lo cual, se busca crear tecnología mexicana con aplicaciones que sean trascendentales en los sectores productivos y vulnerables del país.

En el diseño, se consideraron los principios básicos de ergonomía para esbozar las propuestas, específicamente aquellos referentes a la reducción de esfuerzos y al ajuste y cambio de postura. Si bien el diseño es una actividad iterativa, analizar las propuestas desde diferentes perspectivas, permite se tomen mejores decisiones dado el carácter concurrente que esto conlleva. (Riba, 2002) Se analizaron, entre otros factores, el espacio disponible para la herramienta, la postura y los movimientos necesarios para activarlo.

Se elaboraron algunas propuestas de diseño, de ellas se seleccionó la que se consideró más eficiente por adaptarse a las necesidades biomecánicas, antropométricas y ergonómicas de los recolectores. Una vez que fue elegida la propuesta, se llevó a etapa de simulación en CAD utilizando SolidWorks 2017. Como se muestra en la figura 3.

En la imagen número 4, se observa el dispositivo plasmado en CAD, indicando las partes que lo integran: (1) mango sujetador, (2) Brazo telescópico para recolección, (3) tolva de almacenamiento y (4) Cuchillas de corte. El dispositivo estará elaborado por materiales ligeros y resistentes a la vez, entre los que destaca el aluminio, el pvc o el plástico ABS. Por sus características, el dispositivo será utilizado por una sola persona, quien lo sujetará con ambas manos y lo activará mediante un botón.



Figura 3. Iteraciones de diseño

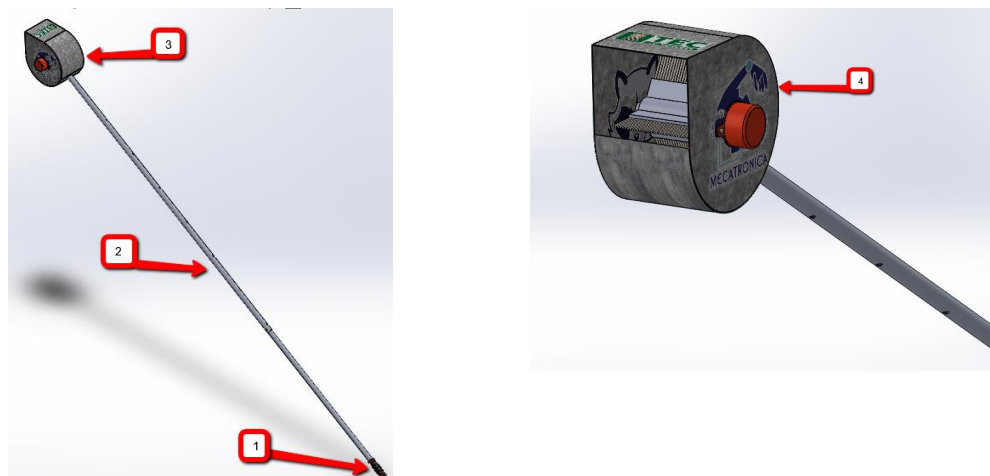


Figura 4. Dispositivo en CAD

Como se puede observar, el dispositivo tiene una estructura metálica para una mejor sujeción, la cual cuenta con una longitud de 3 metros en su máxima extensión y de un metro cuando se encuentra retraído, al final de este se encuentra un mango antiderrapante para un manejo óptimo. El contenedor de la parte superior sirve de carcasa protectora para evitar accidentes al momento de ponerlo a funcionar, y al mismo tiempo, sirve para dirigir las bayas de pimienta hacia el tubo de descenso. Dentro de la carcasa, se encuentra el sistema de corte, que se encuentra integrado por tres series de cortadores en línea, que al rotar generan la fuerza necesaria para retirar la pimienta de la rama. La herramienta de corte es una serie de cuchillas afiladas para facilitar el desprendimiento de la pimienta, y al mismo tiempo realizar el despido.

3. Validación del diseño

El método del elemento finito ha llegado a convertirse en una herramienta suficientemente poderosa para la solución numérica de un amplio rango de problemas en ingeniería. Las aplicaciones son tales, que van desde el análisis por deformación y esfuerzo en automóviles, aeronaves o estructuras. (Chandrupatla & Belegundu, 2000) Actualmente, con el avance de los sistemas CAD pueden modelarse problemas más complejos con relativa facilidad. En este método de análisis una región compleja que define un continuo se discretiza en formas geométricas simples denominadas elementos finitos. Este método se compararía al de ensamblar una pieza a partir de esos elementos finitos, que al considerar debidamente sus restricciones y cargas, da lugar a un conjunto de ecuaciones, cuya solución da el comportamiento aproximado del continuo.

Para efectos de evaluación y validación del sistema, se someterán las partes críticas del dispositivo a pruebas de esfuerzo, discretizando el sistema continuo a partir del método de elementos finitos. Se seleccionaron dos piezas críticas del diseño, las cuales estarán sometidas a esfuerzos de tracción por el efecto del corte de pimienta.

El sistema de corte es un mecanismo que gira a una velocidad determinada por el motor de CD al que está conectado. Tanto el eje, como los soportes de las varillas metálicas son piezas vitales del sistema ya que proveen integridad al mismo y permiten realizar la función de corte. Por lo tanto deben ofrecer las siguientes cualidades: seguridad, resistencia y precisión. Debiendo evitar en todo momento, juego excesivo entre piezas por alabeo o desbalance.

Con base en los datos recabados durante el proceso de corte, se puede determinar que el sistema estará sometido a una fuerza de par promedio de 1 Nm, ya que el fruto no opone demasiada resistencia al corte, menos aún cuando se cosecha en el punto correcto de maduración. Con base en este criterio se realizará un análisis estático de sujeciones fijas. El momento torsor se aplicará en la cara lateral del eje. Una segunda iteración permitirá conocer su comportamiento ante una carga puntual en el extremo del mismo.

Resultados y discusión

Generación de la malla

Para el análisis de este proyecto se generó la malla correspondiente en SolidWorks 2017. Para el caso del eje, se propuso una malla con las siguientes características.

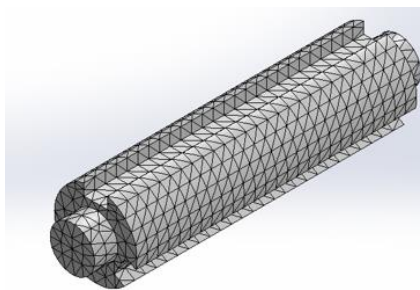
	Número total de nodos	11418
	Número total de elementos	7075
	Cociente máximo de aspecto	3.669
	% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
	% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
	% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
	Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03

Figura 5. Características de la malla del eje.

Como se observa en la figura 5, a cada uno de los nodos de la malla se le asigna una densidad dependiendo de algunas características mecánicas y por supuesto, el material. La teoría señala que las regiones que reciben gran cantidad de tensión tienen una mayor cantidad de nodos, así los puntos de interés serán los puntos de fractura, esquinas y áreas de gran tensión. (Beer, Jhonston, Mazurek, & Eingsenberg, 2010)

En la figura 6 se observan las características de la pieza:

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: ABS
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Desconocido
	Límite de tracción: 3e+007 N/m ²

Figura 6. Características de la pieza en el simulador.

Se propuso una carga de 1N y se proyectaron dos tipos de sujeciones para analizar su comportamiento, esto se muestra en la figura 7. Finalmente, se obtuvo la deformación total, mostrada en la figura 8, donde se encontró una deformación máxima de 3.863e-006mm en el Nodo: 160.



Figura 7. Sujeciones del eje a simular.

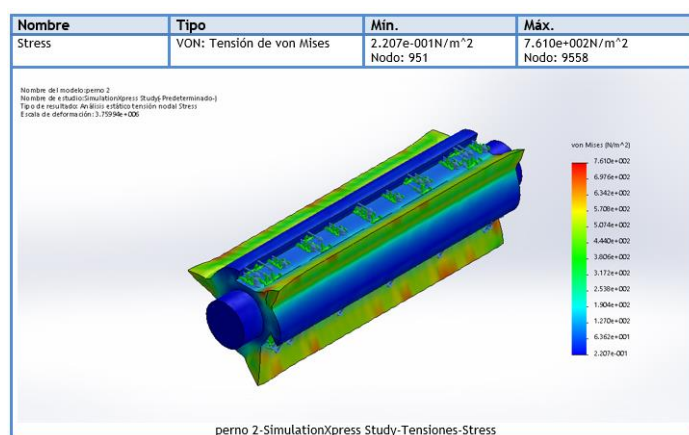


Figura 8. Deformación total de la pieza en estudio.

Siguiendo la misma metodología, se simuló el porta varillas, que es la pieza que servirá de base para los dispositivos de corte, esta se encuentra ensamblada al eje, por lo que experimenta esfuerzos por ambos lados. En la figura 9 se puede observar la malla generada con sus características:

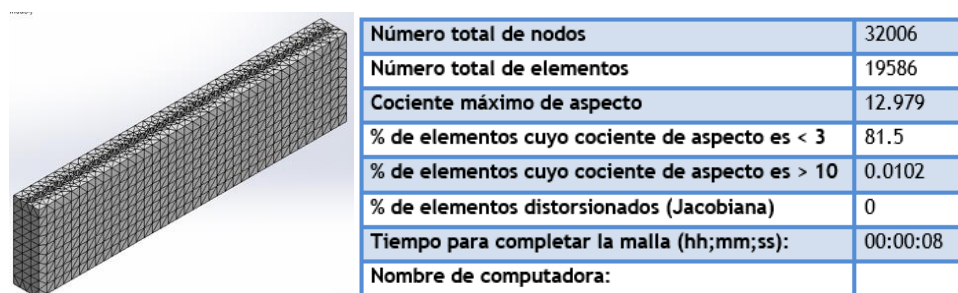


Figura 9. Características de la malla del porta varillas.

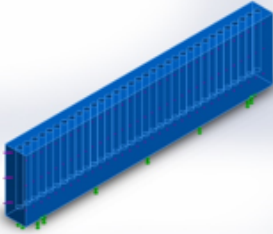
Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: ABS
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Desconocido
	Límite de tracción: 30 N/mm ²

Figura 10. Características físicas del porta varillas.

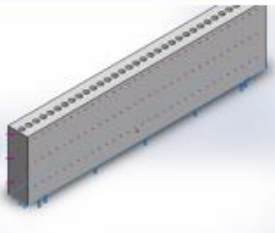
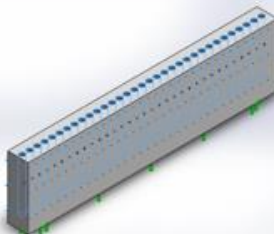
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Nombre de carga	Cargar imagen
Fijo-1		Fuerza-1	

Figura 11. Tipos de sujeciones del porta varillas.

Al igual que en el caso anterior, se propuso una carga de 1N y se proyectaron dos tipos de sujeciones para analizar su comportamiento. Finalmente, se obtuvo la deformación total, mostrada en la figura 12, donde se encontró una deformación máxima de 0.000 N/mm² (MPa) en el Nodo: 21655. Lo que indica que ante la carga propuesta práctica no existirían deformaciones del elemento.

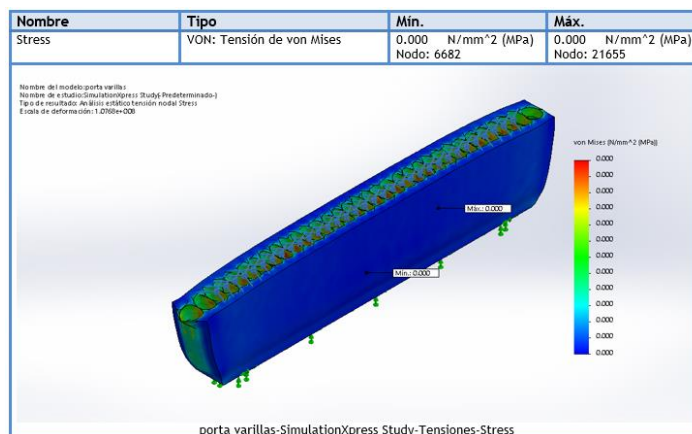


Figura 12. Deformación total de la pieza en estudio.

Como se puede observar en las imágenes anteriores, se logró obtener un prototipo que cumple con las características especificadas por los productores de pimienta de la región II del estado de Puebla. Con base en las proyecciones, se prevé un incremento de la productividad en más del 20% a través del uso de esta herramienta,

con lo cual también existirá una reducción considerable de los costos de recolección. Sin embargo, una vez puesto en operación deberá realizarse un estudio de métodos para validar esta aseveración.

Trabajo a Futuro

El diseño del dispositivo está sujeto a la mejora continua, con lo cual se debe dar seguimiento al desempeño del mismo una vez que se encuentre operando. De ser necesario, se podrán realizar los ajustes correspondientes para optimizar su funcionamiento. De la misma manera, dentro del proyecto se consideran labores de capacitación necesarias para el correcto funcionamiento del dispositivo. A largo plazo se considera buscar redes de colaboración con otras instituciones u otros grupos de productores, dado que el cultivo de pimienta se extiende por toda la vertiente del golfo de México, con el fin de contribuir al desarrollo económico de los sectores productivos del país.

Por otro lado, es de suma importancia iniciar la búsqueda de recursos a nivel federal y/o estatal para realizar los trámites de patente necesarios para poder difundir esta alternativa y ponerla a disposición de quien se requiera y de ser posible, gestionar la colaboración con instancias gubernamentales para que apoyen a los productores en la adquisición de este equipo.

Referencias

1. Aguayo, F. (2003). Metodología del diseño industrial: Un enfoque desde la ingeniería concurrente. Barcelona: RA-MA.
2. Andaluz, L. E. (2012). Control y Optimización de la producción de un proceso industrial de fabricación de piezas. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
3. Beer, F. P., Jhonston, E. R., Mazurek, D. F., & Eisinger, E. R. (2010). Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática (Novena ed.). México: Mc Graw Hill.
4. Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A. D. (2000). Introducción al estudio del Elemento Finito en Ingeniería. México: Pearson Prentice Hall.
5. Chiang, L. (1995). Diseño y desarrollo de productos mecatrónicos. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
6. Cruz, N., Sánchez, F., Ortiz, J., & Mendoza, M. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y periodo de cosecha en chile pimienta. Agricultura Técnica en México, 73-80.
7. Freivalds, A., & W. Niebel, B. (2014). Ingeniería Industrial de Niebel. Mexico: Mc Graw Hill.
8. Giesecke, Mitchell, Spencer, Hill, Dygdon, & Novak. (2013). Dibujo Técnico con Gráficas de Ingeniería. México D.F.: Pearson.
9. Marcos, R. (2006). Análisis socioeconómico de viabilidad en el establecimiento y manejo de la pimienta. Xalapa: Centro de Investigaciones Tropicales Universidad Veracruzana.
10. Martínez, D., Hernández, M. A., & Martínez, E. (2013). La pimienta gorda en México avances y retos de la gestión de la innovación. Ciudad de México: Universidad Autónoma Chapingo.
11. Riba, C. (2002). Diseño Concurrente. Barcelona: Ediciones UPC.
12. Rodríguez, N., & García, L. M. (2016). Propuesta de tecnologías para la adición de valor al proceso de producción de pimienta dioica. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, 305-312.
13. Romo, J. L., García, Y., Uribe, M., & Rodríguez, D. (2011). Prospectiva financiera de los sistemas agroforestales en El Fortín, municipio de Atzalan, Ver. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 43-55.
14. Santiago, E., & Vázquez, S. (2012). Estrategias de Combate a la pobreza entre la definición, la metodología y la alternativa. Puebla: Altres Costa - Amic.
15. Ulrich, K. (2004). Diseño y desarrollo de productos: Un enfoque multidisciplinario. México: Mc Graw Hill.
16. Wright, I. (1998). Design methods in engineering and product design. England: Berkshire.