

Evaluación y optimización estructural como estrategia para rediseñar un producto

Pedro Agustín Ojeda Escoto

Universidad Tecnológica de Aguascalientes, Blvd. Juan Pablo II No. 1302
Exhacienda la Cantera, C.P. 20200. <pedro.ojeda@utags.edu.mx>
Aguascalientes, Ags., México.

Resumen

Empresas orientadas a la manufactura de nuevos productos buscan continuamente mejorar, no sólo los procesos de fabricación de sus servicios, sino también la transferencia del diseño e ingeniería a producción en serie. Por otra parte, en la búsqueda de consolidar un producto e identificando las oportunidades de mejora, si se habla en términos de funcionalidad, es crucial la integración de dos factores: por un lado, la optimización de la geometría aplicando análisis de elemento finito (FEA) y por el otro, la retroalimentación por parte del usuario final. En el presente artículo se realizó un rediseño en base a criterios específicos para alinear la fabricación a producción en serie y se estructuró el marco teórico tomando las bases de la Ingeniería Concurrente, lo cual permitió fundamentar el rediseño de un multicultivador (caso de estudio) bajo las siguientes premisas: 1) evaluación de la propuesta de diseño; 2) validación de zonas definidas como “críticas”; y 3) optimización de arquitectura para reducir costos de manufactura. Finalmente, se reporta el procedimiento definido para realizar el rediseño del multicultivador y los criterios de evaluación utilizados para conformar la geometría final bajo los enfoques de análisis de arquitectura, mejora de calidad, caracterización de geometría y reducción global de costos en producción.

Palabras clave— Diseño, funcionalidad, optimización, producción, validación.

Abstract

Companies oriented to the manufacture of new products continuously seek to improve not only the manufacturing processes of their services, but also the transfer of design and engineering to mass production. Furthermore, in the search to consolidate a product and identifying opportunities for improvement, in terms of functionality, the integration of two factors is crucial: on the one hand, the optimization of geometry by applying finite element analysis (FEA) and, on the other, feedback from the end-user. In the present paper, a redesign was carried out based on specific criteria to align mass production and the theoretical framework was structured on the basis of Concurrent Engineering, which allowed for the redesign of a multi-cultivator (case study) under the following premises: 1) evaluation of the design proposal; 2) validation of zones defined as "critical"; and 3) optimization of architecture to reduce manufacturing costs. Finally, the procedure defined to carry out the redesign of the multi-cultivator and the evaluation criteria used to conform the final geometry under the approaches of architecture

analysis, quality improvement, geometry characterization and global reduction of production costs are reported.

Keywords— Design, functionality, optimization, production, validation.

1. INTRODUCCIÓN

La parte científica del diseño puede ser aprendida a través de las diferentes filosofías, metodologías y herramientas que existen y que tratan de sistematizar dicha tarea [1]. Sin embargo, la parte de arte del proceso de diseño, hoy en día, no puede ser enseñada sistemáticamente. Por lo tanto, muchos diseñadores plantean que la única forma de aprender la parte artística del diseño es diseñando. FEA es actualmente una poderosa herramienta dentro del sector industrial, con cada solución se representa un vasto panorama de la física matemática, métodos numéricos, interfaces de usuarios y técnicas de visualización. Tan grande ha sido el éxito que se usa tanto para los tradicionales métodos didácticos experimentales y análisis de modelos como para resolver problemas dinámicos [2]. La ayuda de FEA ha sido a la vez inevitable y a la vez progresiva, pues los altos costos y el tiempo asociados con el consumo de la experimentación a menudo han impedido el deseo de producir eficiente profundidad en los resultados [3].

El diseño y desarrollo de un nuevo producto consiste en extraer la información de su especificación mediante el seguimiento de una metodología, de la arquitectura propia del producto en cuestión y del detalle procedimental del mismo para poder entenderlo. Es importante mencionar la metodología que se necesita para poder plantear la solución a una necesidad; esto es, para formular o plantear un problema se requiere de un previo análisis del conocimiento en torno a su naturaleza y, por tanto, haber considerado los hechos y conceptos importantes o relevantes en función de los cuales es posible definir en forma sintética el problema en cuestión. La mayoría de las metodologías estructuradas para generar rediseño buscan renovar los productos desde un enfoque particular, por mencionar algunos: ensamble, manufactura, producción [1]. Por otra parte, pocos enfoques definidos para el rediseño global aparte de los ya mencionados, han sido abordados de manera sistemática.

Para definir el diseño del multicultivador se contemplaron los siguientes enfoques: validación de arquitectura, mejora de calidad en producción y reducción de costos; a partir de los enfoques mencionados, se propusieron y revisaron varias configuraciones para dar solución al problema en estudio.

El procedimiento y los resultados del rediseño realizado a la arquitectura del multicultivador justificaron los enfoques mencionados. Asimismo, se reportan los resultados obtenidos del análisis de elemento finito realizado a dicho multicultivador para evaluar y optimizar la geometría final. Por último, se mencionan estrategias definidas para alinear la manufactura a producción.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PERSPECTIVAS PARA EFECTUAR REDISEÑO

Tomando como partida investigaciones tradicionales, en su trabajo Pugh [4] presenta una novedad de su Modelo de Diseño Total para afrontar el rediseño. En dicha novedad la especificación de un producto se establece después de haber analizado su concepto, por lo que se utiliza como requerimiento para proponer una solución variante. Algunos otros modelos de diseño se basan en la ejecución y etapas de evaluación, o en la optimización de una alternativa inicial ([5], [6]).

Estudios de [7], [8], [9] y [10] definen y tratan el rediseño como una resolución de conflictos entre necesidades actuales de un producto y capacidades previas del diseño; documentan también que los productos innovadores sólo se introducen cuando existen conflictos importantes entre las necesidades de los clientes y los productos existentes.

Por otra parte, existen muchas razones para rediseñar un producto y la concepción se deriva por lo general de productos similares; por esta razón, rediseñar es una parte importante en el proceso del desarrollo de un nuevo producto [11]. En la ingeniería inversa el proceso de rediseño inicia con la observación del producto, segmentándolo, analizándolo y documentándolo en términos de funcionalidad, geometría, principios físicos, factibilidad de manufactura y ensamble. La intención de este procedimiento es para entender por completo el producto y representar las demandas actuales [12].

A continuación, se presentan algunos métodos que pueden ser utilizados para la implementación del rediseño de productos [13]:

- Uno de ellos involucra el uso de técnicas de Ingeniería inversa (dejando muy claro que la Ingeniería inversa es lo opuesto a la Ingeniería avanzada). La ingeniería inversa es utilizada a fin de rediseñar un sistema para mejorar la manufactura o para producir una copia del sistema sin acceder al diseño del cual fue originalmente producido.
- Otro camino para rediseño incluye la integración de imágenes escaneadas y dibujos durante el proceso de modelado. Dichas imágenes sirven como guía al diseñador cuando este modelando el objeto virtual. Al final se utilizan las configuraciones obtenidas para mejorar la geometría del nuevo producto.
- Un método más es el desensamble de un producto (o más) en donde el rediseño es utilizado para mejorar ciertas características (nuevas funciones) para adherirlas a nuevos componentes.

2.2. INGENIERÍA CONCURRENTE

La Ingeniería Concurrente (CE) está estrechamente relacionada en la actualidad con el desarrollo de nuevos productos, se puede definir como el proceso de desarrollo de

nuevos productos en el cual deben quedar implicados todas las áreas, trabajando al acorde en la creación del producto. Dicha implicación, aborda desde la aportación de ideas, hasta el encaje y reajuste de la información que permita conseguir el producto consensuado. Fuera de ser una mera filosofía de trabajo, la CE conlleva una serie de técnicas de trabajo que permiten acortar considerablemente el tiempo de desarrollo de un producto, permitiendo reducir sus costos, aumentar la calidad y, por tanto, mejorarlo.

Existen varias definiciones de CE o también llamada en algunas investigaciones como Ingeniería Simultánea (IS) [14]. CE es un enfoque sistemático para el diseño integrado y concurrente de productos y sus procesos relacionados, incluyendo la fabricación y soporte. Este enfoque tiene por objeto hacer que los diseñadores, desde el principio, consideren todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el concepto hasta la inhabilitación, incluyendo control de calidad, costos, tiempos y requisitos del usuario [15]. Por otro lado, CE es un enfoque sistemático para el desarrollo de productos integrados, que hace hincapié en la respuesta a las expectativas de los clientes e incorpora los parámetros definidos por el equipo interdisciplinario [16].

Finalmente, CE es un proceso en el cual las principales funciones que comprende el proceso de colocar un producto en el mercado, están participando continuamente en el desarrollo del producto, desde su concepción hasta la venta final (ver figura 1). Los beneficios de CE se derivan del tiempo en que se completa un proyecto [17].

Fig. 1. Ingeniería Concurrente.

Actividades funcionales	Fases de desarrollo					
	Desarrollo del concepto	Planación del producto	Ingeniería detallada del producto / proceso		Producción piloto / lanzamiento	Introducción en el mercado
			Fase I	Fase II		
Desarrollo del producto	Proponer nuevas tecnologías; desarrollar ideas de productos; construir modelos y hacer simulaciones	Escoger componentes e interactuar con los proveedores; construir prototipos de sistemas iniciales; definir la arquitectura del producto	Hacer un diseño detallado del producto e interactuar con el proceso; construir prototipos a escala real y realizar pruebas con el prototipo	Refinar detalles del producto; participar en la construcción de prototipos de segunda fase	Evaluar y probar unidades piloto; resolver problemas	Evaluar la experiencia de campo con el producto
Mercadeo	Proveer insumos con base en el mercado; proponer e investigar conceptos de producto	Definir los parámetros del cliente objetivo; establecer estimaciones de ventas y márgenes; realizar una interacción inicial con los clientes	Realizar pruebas de prototipos para los clientes y participar en la evaluación; las mismas	Realizar pruebas de segunda fase para el cliente; evaluar los prototipos; planear la introducción en el mercado; establecer plan de distribución	Prepararse para la introducción en el mercado; entrenar a la fuerza de ventas y personal de servicio de campo; preparar sistemas de toma de órdenes	Llevar los canales de distribución; vender y promover; interactuar con clientes clave
Manufactura	Proponer e investigar conceptos de proceso	Desarrollar estimaciones de costos; definir la arquitectura del proceso; realizar simulaciones del proceso; validar a los proveedores	Efectuar un diseño detallado del proceso; diseñar y desarrollar herramientas y equipos; participar en la construcción de prototipos a escala real	Probar y ensayar herramientas y equipos; construir prototipos de segunda fase; instalar equipos y efectuar nuevos procedimientos	Construir unidades piloto en el proceso comercial; refinar el proceso con base en la experiencia piloto; capacitar personal y verificar la cadena de suministro	Lanzar la planta para cumplir con los volúmenes; cumplir con objetivos de calidad, rendimiento y costos
Hitos clave	Definición de concepto de producto y proceso	Establecer arquitectura de producto y proceso	Construir y probar prototipo completo	Construir y refinar el prototipo de la segunda fase	Producir unidades piloto	Lanzamiento a producción
Decisiones clave	Aprobación del concepto	Aprobación del programa	Aprobación del diseño detallado	Aprobación conjunta del producto y del proceso	Aprobación de primeras ventas comerciales	Aprobación comercial total

Fuente: Chase (2006).

Problemáticas comunes que hacen necesaria la implementación de la CE en el diseño o rediseño de un nuevo producto [18]:

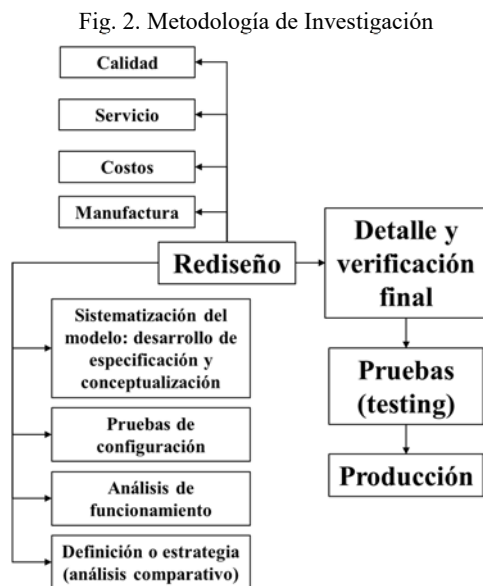
- Aumento de la variedad de productos y de la complejidad técnica que prolongan el proceso de

desarrollo del producto y dificultan la predicción del impacto de las decisiones de diseño en la funcionalidad y el rendimiento del producto final.

- Aumentar la presión competitiva global que resulta del concepto emergente de reingeniería.
- La necesidad de una respuesta rápida a la evolución de la demanda de los consumidores.
- La necesidad de un ciclo de vida del producto más corto.
- Grandes organizaciones con varios departamentos trabajando en el desarrollo de numerosos productos al mismo tiempo.
- Tecnologías nuevas e innovadoras que emergen a un ritmo muy elevado, lo que hace que el nuevo producto sea tecnológicamente obsoleto en un corto período de tiempo.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Es importante mencionar que muchas veces se requiere para beneficios del avance de una investigación el que se sigan metodologías ya definidas o se siga alguna variante en base a las ya mencionadas. La figura 2 presenta la metodología utilizada para el desarrollo del rediseño del multicultivador, involucrando las fases de fabricación y alineación a producción, y es una composición de los modelos tradicionales desarrollados por [4], [5], [6] y [19].



Fuente: elaboración propia.

3.1. CASO DE ESTUDIO

3.1.1. OBJETIVO DE ESTUDIO

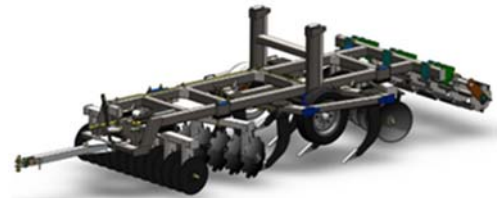
Analizar la estructura principal del multicultivador para asegurar que pueda soportar las cargas normales de trabajo de una manera aceptable y localizar, en caso de que se presenten, **zonas críticas de concentración de esfuerzos** y argumentar la posible optimización de dichas zonas.

3.1.2. PLANTEAMIENTO PARA SOLUCIÓN

Un Multicultivador es un equipo agrícola diseñado para el acondicionamiento del suelo, descompactándolo sin voltear la tierra lo que permite el flujo de los residuos de la cosecha anterior dejando sobre la superficie del mismo la cobertura necesaria que evita la erosión y disminuye la presencia de malas hierbas.

Para definir un nuevo diseño del multicultivador se propusieron y revisaron varias configuraciones para dar solución al problema en estudio. Se conceptualizaron también varias configuraciones tomando en cuenta los enfoques definidos y por último se generó la arquitectura final del multicultivador. En la figura siguiente, se presenta la geometría final propuesta.

Fig. 3. Caso de estudio.

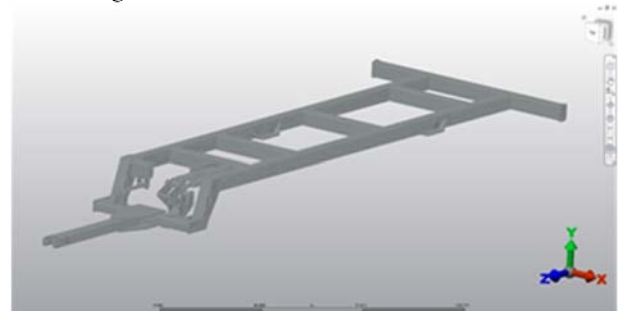


Fuente: elaboración propia.

3.1.3. CONDICIONES DE FRONTERA

Una vez que se seleccionó la geometría de arquitectura final, se realizaron análisis de elemento finito para validar y optimizar (por cuestiones de ensamble) dicha arquitectura. Se generó la malla de los modelos con base a las relaciones dimensionales existentes entre los componentes del ensamble y las condiciones de carga propuestas para el análisis se determinaron con base a las fuerzas transmitidas por el propio tractor y la resistencia del suelo, y mismas que se presentan en el trabajo normal del multicultivador (ver figura 4).

Fig. 4. Mallado del chasis del multicultivador.



Fuente: elaboración propia.

Las condiciones de carga propuestas para el análisis por elementos finitos del chasis del multicultivador se definieron en varios grupos para estudiar diferentes escenarios y se tomó como base la norma ASTM con la clasificación de acero ASTM-A36:

1. Simulación del jalón por parte del tractor y restricción de los grados de libertad en un costado del chasis.
2. Simulación del jalón por parte del tractor y restricción de los grados de libertad en ambos costados del chasis.
3. Simulación del jalón por parte del tractor y aplicación de una carga transversal en un costado del chasis.
4. Simulación del jalón por parte del tractor y restricción de los grados de libertad en uno de los timones del multicultivador como paro repentino por un objeto extraño en el terreno.
5. Simulación del jalón por parte del tractor y restricción de los grados de libertad en los timones del multicultivador como parte de resistencia del terreno por trabajo normal.

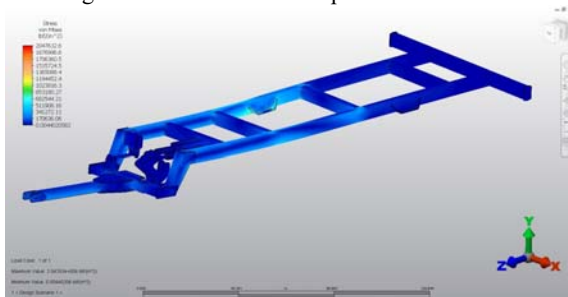
3.1.4. ESCENARIOS DE ESTUDIO

3.1.4.1. ESCENARIO 1

Análisis de resultados

En este estudio se aplicó al modelo la carga de trabajo normal (jalón) ejercida por el tractor sobre el chasis del multicultivador y se restringieron los grados de libertad en uno de los largueros principales. El análisis de esfuerzos muestra que las magnitudes de los esfuerzos están por debajo del límite elástico del material (ver figura 5). Por lo que la estructura del chasis no presentará deformaciones permanentes bajo las condiciones de carga aplicadas durante proceso de trabajo normal.

Fig. 5. Esfuerzos del chasis para el escenario 1.



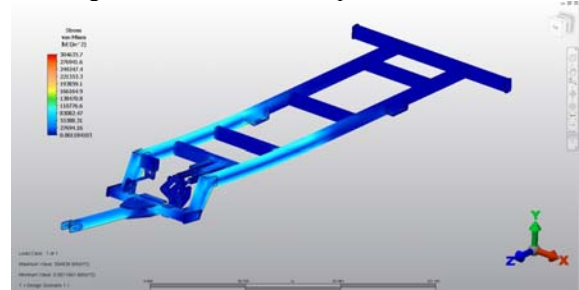
Fuente: elaboración propia.

3.1.4.2. ESCENARIO 2

Análisis de resultados

En este estudio se aplicó al modelo la carga de trabajo normal (jalón) ejercida por el tractor sobre el chasis del multicultivador y se restringieron los grados de libertad en ambos largueros principales. El análisis de esfuerzos muestra que las magnitudes de los esfuerzos están por debajo del límite elástico del material (ver figura 6). Cabe mencionar que, aunque las magnitudes de los esfuerzos aumentaron con respecto a los resultados en el escenario 1, aun así, se mantienen dentro de los rangos normales de deformación del material.

Fig. 6. Esfuerzos del chasis para el escenario 2.



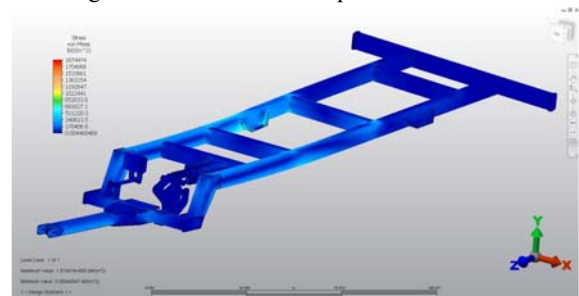
Fuente: elaboración propia.

3.1.4.3. ESCENARIO 3

Análisis de resultados

En este estudio se aplicó al modelo la carga de trabajo normal (jalón) ejercida por el tractor sobre el chasis del multicultivador y se aplicó una carga transversal de 50000Lbf a uno de los largueros principales. El análisis de esfuerzos muestra que las magnitudes de los esfuerzos están por debajo del límite elástico del material (ver figura 7).

Fig. 7. Esfuerzos del chasis para el escenario 3.



Fuente: elaboración propia.

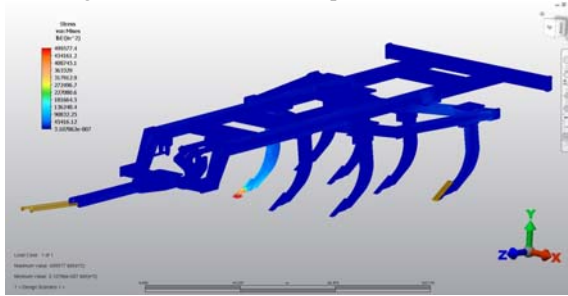
Cabe mencionar que, aunque las magnitudes de los esfuerzos aumentaron con respecto a los resultados en el escenario 1, aun así, se mantienen dentro de los rangos normales de deformación del material. Por lo tanto, la estructura del chasis no presentará deformaciones permanentes bajo las condiciones de carga aplicadas durante proceso de trabajo normal.

3.1.4.4. ESCENARIO 4

Análisis de resultados

En este estudio se aplicó al modelo la carga de trabajo normal (jalón) ejercida por el tractor sobre el chasis del multicultivador y se ubicó un pivote para restringir los grados de libertad en ésta zona. Se aplicó una carga de 7510.70Lbf a uno de los timones para simular un paro repentino por la presencia de un objeto extraño en el terreno de trabajo (ver figura 8). El análisis de esfuerzos muestra que las magnitudes de los esfuerzos están por debajo del límite elástico del material.

Fig. 8. Esfuerzos del chasis para el escenario 4.



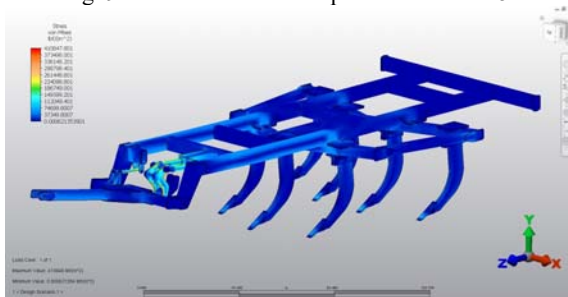
Fuente: elaboración propia.

3.1.4.5. ESCENARIO 5

Análisis de resultados

En este estudio se aplicó al modelo la carga de trabajo normal (jalón) ejercida por el tractor sobre el chasis del multicultivador y se restringieron los grados de libertad en los timones del multicultivador para simular la resistencia del terreno por trabajo normal y para repentino de dicho multicultivador.

Fig. 9. Esfuerzos del chasis para el escenario 5.



Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la figura 9, la zona de amortiguación del chasis presenta las magnitudes más altas de esfuerzos. El análisis de esfuerzos muestra que las magnitudes de los esfuerzos están por debajo del límite elástico del material. Por lo tanto, la estructura del chasis no presentará deformaciones permanentes bajo las condiciones de carga aplicadas durante proceso de trabajo normal.

3.1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

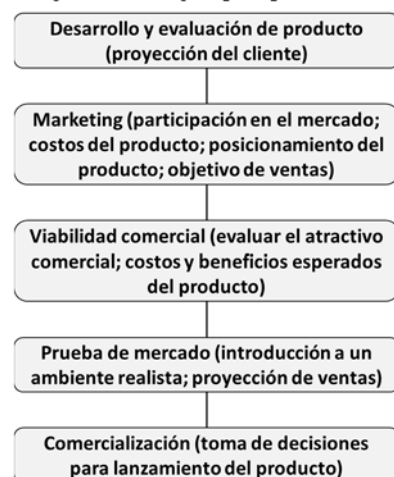
El estudio de esfuerzos realizado al modelo del multicultivador permite demostrar que todos y cada uno de los elementos que lo integran presentan magnitudes de esfuerzos por debajo del límite elástico permisible del material. Incluso fue posible optimizar algunos elementos y dar cumplimiento a los enfoques de diseño que se tomaron en cuenta para definir la arquitectura final del multicultivador, estos son: a) *reducción de costos*: el porcentaje de reducción de costos que se logró obtener fue del 30%; b) *mejora de calidad*: se logró una mejora en los procesos de manufactura al tener una arquitectura simple y libre de interferencias de ensamble; c) *caracterización de geometría para reducir peso*: al hacerse una evaluación final del peso, se logró disminuir en un 25% derivado de la optimización de geometría y del uso de

material. En la zona de amortiguación del chasis es en donde se presentan las magnitudes más altas de esfuerzos presentando concentración de esfuerzos en algunos puntos, esto es debido a la geometría misma y trabajo bajo el cual trabajan los elementos de ésta parte. Es importante mencionar también que las magnitudes de esfuerzos están dentro de los rangos normales de deformación por lo que, de momento, pueden ser despreciadas para continuar con la manufactura del prototipo final.

Se consideraron los largueros del chasis como elementos críticos para aplicar las cargas por tener las dimensiones mayores y ser partes principales dentro de dicho chasis. De igual manera, se decidió hacer análisis al chasis integrando el multicultivador para asegurar aún más la resistencia que tendrá el implemento en trabajo normal. El análisis nos muestra también que, la estructura del chasis del multicultivador es suficientemente rígida para soportar y absorber las cargas de trabajo a las que estará sometido.

Con dichos resultados fue posible también definir los procedimientos de ensamble y desensamble del remolque; así mismo, se definieron las estrategias para alinear la manufactura del prototipo a producción en serie. Una vez definida la nueva arquitectura del remolque y realizadas las pruebas del concepto de producto, se definieron las estrategias para alinearlos a producción (ver figura 10) tomando en cuenta imagen del producto y marketing (factores definidos por la experiencia del área de ventas del fabricante).

Fig. 10. Estrategias para producción.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la figura 11 se muestra el diagrama global de las estrategias definidas, mismas que fueron mencionadas anteriormente, dentro del proceso de rediseño del nuevo producto.

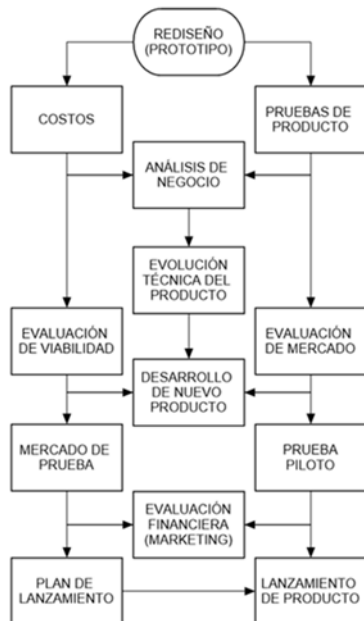
4. CONCLUSIONES

En la actualidad, los avances en análisis computacionales y de tecnología permiten a los ingenieros e investigadores contar con eficaces herramientas de evaluación, simulación y

validación que facilitan, en un momento dado, el diseño, rediseño u optimización de un producto. El desarrollo, uso e implementación de metodologías para diseño o rediseño de productos basado en nuevas tecnologías, aumenta las probabilidades de alineación en el mercado y el incremento de la transferencia de conocimiento y tecnológica al sector industrial; por lo tanto, diseñar es establecer y definir soluciones y estructuras pertinentes, para problemas que no han sido resueltos antes o soluciones nuevas planteadas en forma diferente para problemas que previamente ya han sido resueltos.

En este artículo se presentaron los resultados obtenidos del estudio de FEA realizado a un multicultivador con la finalidad de evaluar el diseño y argumentar, en caso de que fuera requerida, la optimización de geometría para evitar concentración de sistemas de esfuerzos en la estructura principal. Por otro lado, con estos resultados fue posible hacer cambios a dicha estructura del multicultivador y bajo los enfoques de disminución de peso y costos de manufactura (en los resultados se presentaron los porcentajes obtenidos para dichos enfoques) fue viable también generar estrategias de aplicación para el ensamble de dicho implemento y, de esta manera, fundamentar la alineación a producción en serie. Finalmente, se desplegaron las estrategias definidas para la alineación del nuevo producto desarrollado a producción, tomando en cuenta proyecciones de ventas, imagen del producto y marketing.

Fig. 11. Diagrama global de estrategias para producción.



Fuente: elaboración propia.

5. REFERENCIAS

[1] Evbuomwan, N.F.O., Sivaloganathan, S., Jebb, A. A survey of design philosophies, models, methods and systems, *Journal of Engineering Manufacture*, 210: 301-320, 1996.

[2] Zienkiewicz O. C. and Taylor R. L., *The Finite Element Method Vol. 1: Basic Formation and Linear Problems*, McGraw-Hill, USA, 1989.

[3] Versteeg, W., *An introduction to computational fluid dynamics: the finite element method*, Longman Scientific & Technical, 1995.

[4] Pugh, S. *Total Design*. Addison Wesley, Great Britain, ISBN 0-201-41639-5, 1990.

[5] Ullman, D. G. *The Mechanical Design Process*, Mc. Graw-Hill, New York, ISBN 0-07-112871-9, 1992.

[6] Ulrich, K.T., Eppinger, S.D. *Product design and development*, Mc. Graw-Hill, International Editions, ISBN 0-07-113742-4, 1995.

[7] Li, Z.S., Kou, F.H., Cheng, X.C., & Wang, T., Model-based product redesign, *International Journal of Computer Science and Network Security*, 6-1: 99-102, 2006.

[8] Iyer, N., Kalyanaraman, Y., Lou, K., Janyanti, S., Ramani, K., A reconfigurable 3D engineering shape search system part I: shape representation, *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2003.

[9] Han, Y.H., Lee, K., A case-based framework for reuse of previous design concepts in conceptual synthesis of mechanisms, *Computers in Industry*, Elsevier Ltd. Journals, 57-4: 305-318, 2006.

[10] Howard, T.J., Culley, S.J., Dekoninck, E.A., Reuse of ideas and concepts for creative stimuli in engineering design, *Journal of Engineering Design*, 22-8: 565-581, 2011.

[11] Smith, S., Smith, G., Shen, Y., *Redesign for product innovation*, Design Studies, Elsevier Ltd. Journals, 33-2: 160-184, 2012.

[12] Otto, K.N., Wood, K.L., *Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology*, Research in Engineering Design, Springer-Verlag London Limited, 10: 226-243, 1998.

[13] Adam, A., Cosma, C., Cosma, A., Pop, A., Redesigning a product using modern CAD-CAM software, 8th International Conference Interdisciplinary in Engineering, Elsevier Ltd., *Procedia Technology* 19: 221-227, 2015.

[14] Borja, R.V., *Redesign supported by data models with particular reference to reverse engineering*, Doctoral Thesis of Loughborough University, 1997.

[15] Winner, R.I., Pennell, J.L., Bertrand, H.E., Slusarzuk, Marko, M.G., *The Role of Concurrent Engineering in Weapon Systems Acquisition*, Institute of Defense Analysis, Report R-338, EUA, 1988.

[16] Cleetus, K.J., *Definition of Concurrent Engineering*, CERC Technical Report Series, Technical Memoranda (CERC-TM-92-003), EUA, 1992.

[17] Chase, R.B., Aquilano, N.J., Jacobs, F.R., *Production and Operations Management*, Mc Graw-Hill International Editions, ISBN 978-970-10-7027-7, 2006.

[18] Dongre, A. U., Jha B. K., Aachat P. S., Patil V. R. *Concurrent Engineering: A Review*, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4-5: 2766-2770, 2017.

[19] Pahl, G., Beitz, W. *Engineering Design – A Systematic Approach*, Springer-Verlag, Great Britain, 1996.