

Diseño Mecánico Ágil: Nueva propuesta metodológica enfocada a proyectos de desarrollo tecnológico

Agile Mechanical Design:

New methodological proposal focused on technological development projects

Jorge Armando Gutiérrez Bravo, Isaac Hernández Arriaga, Jose Guadalupe Octavio Cabrera Lazarini

Posgrado CIATEQ A.C., Av. del Retablo 150 Col. Constituyentes Fovissste

Querétaro, Qro. C.P. 76150 Querétaro, México. Tel (442)2112600.

Msc_jorge@outlook.com, Isaac.hernandez@ciateq.mx, cabreraoctavio@gmail.com

Resumen

En la actualidad, todos los productos están sometidos a un proceso de evolución continuo, generando que las empresas busquen nuevos métodos que se adapten a la dinámica de dichos cambios en los productos. Metodologías ágiles han presentado alternativas para atender esta necesidad. Sin embargo, aún no se ha resuelto la contradicción de obtener productos ágiles y técnicamente fundamentados. Este artículo propone un nuevo método para atender dicha contradicción, basado en el acoplamiento de los principios ágiles con métodos, técnicas y herramientas del diseño mecánico, logrando a través de las herramientas virtuales tanto del modelado 3D como la realidad aumentada, realizar la evaluación del producto desde la etapa de diseño, generando incrementos en la configuración del producto en cada iteración sin la necesidad de interactuar con un producto físico. El principio es encontrar una solución funcional temprana e intentar mejorarla, en lugar de abordar el problema y posponer la solución como los métodos tradicionales del diseño mecánico lo establecen. Finalmente, se exponen y discuten los resultados relevantes de la aplicación de este método en un proyecto real de la empresa Industrial Automation México.

Abstract

Nowadays, all products are subject to a process of continuous evolution, generating that companies seek new methods that adapt to the dynamics of these changes in products. Agile methodologies have presented alternatives to address this need. However, the contradiction of obtaining agile and technically based products has not yet been resolved. This article proposes a new method to address this contradiction, based on the coupling of agile principles with methods, techniques and tools of mechanical design, achieving through the virtual tools of both 3D modeling and augmented reality, perform the evaluation of the product from the design stage, generating increments in the configuration of the product in each iteration, without the need to interact with a physical product. The principle is to find an early functional solution and try to improve it, instead of addressing the problem and postponing the solution as traditional methods of mechanical design establish. Finally, the relevant results of the application of this method are exposed and discussed in a real project of the Industrial Automation Mexico Company.

Palabras clave:

Método Ágil, Diseño Mecánico, Proyectos de Desarrollo tecnológico

Keywords:

Agile Method, Mechanical Design, Technological Development Projects

Introducción

Investigaciones recientes han demostrado que es factible el uso de metodologías ágiles en el campo del diseño mecánico, como lo presentan en sus investigaciones Reynisdottir [1], Also [2] y Dwyer [3]. Donde concluyen que un método ágil ayuda a una mejor comprensión de un diseño complejo. Esto es para tratar con las posibles interdependencias entre las características, dónde desarrollar una característica por completo puede tener impactos negativos en otras, o la integración de nuevas características puede necesitar un cambio en una característica existente. Buscando que las características y subsistemas sean diseñados para ser tan modulares y desacoplados como prácticos, lo que reduce los impactos de los cambios de una característica en otra. Sin embargo,

dichas investigaciones declaran también la existencia de una brecha técnica significativa para lograr productos ágiles y técnicamente fundamentados. Este artículo propone un nuevo método aplicado a proyectos de desarrollo tecnológico (PDT) que acopla dichos fundamentos técnicos del diseño con metodologías ágiles. Los PDT son definidos en la norma “NMX-GT-002-IMNC-2008”.

Marco Teórico

Diseño

Tendencias sobre cómo abordar el proceso de diseño, han sido expuestas en investigaciones de; Adams [4] y Tomiya-

ma, Lutters, Kind Ch., & Kimura F. [5], Edvuomwan [6] y apoyándose en las recomendaciones de Cross N. [7], Takeda H. [8] y Finger & Dixon [9], se puede obtener un marco teórico general con los modelos relevantes en el campo del diseño (ver tabla 1). Resaltando las tendencias de algunos modelos hacia el uso de herramientas más complejas, procesos y métodos basados en algoritmos, tales como el despliegue de funciones de calidad (QFD), a teoría de resolución de problemas de inventiva (TRIZ), diseño axiomático, etc. Sin embargo sus principios metodológicos se mantienen bajo un proceso tradicional en cascada, con la filosofía de encontrar la mejor solución posible, aunque en algunos casos, las soluciones no son necesariamente realistas o no están alineadas con las expectativas del cliente, además de demandar mucho tiempo de desarrollo cuando se presenta un cambio en el diseño.

Tabla 1. Tipos de Modelos de Diseño.

| Tipo de modelo | Breve descripción y autores de los modelos |
|----------------|---|
| Descriptivo | Expone la secuencia de actividades que ocurren en diseño (heurístico), dentro de los cuales se puede mencionar modelos de: March [10], Mattheet & Briggs [11], Gero & Hybs [12], entre otros. |
| Prescriptivo | Prescriben un patrón de actividades de diseño, dentro de los cuales se puede mencionar modelos de: Jones & Thornley [13], Asimow [14], Pahl & Beitz [15], VID [16], Watts [17], Marples [18], Archer [19], Krick [20], Cross [7], Hubka [21], French [22], Harris [23], Pugh [24], BS-7000 [25], Suh [26], Taguchi [27], Ullman [28], Ulrich [29], entre otros. |
| Cognoscitivo | Explica el comportamiento del diseñador, dentro de los cuales se puede mencionar modelos de: Huysenruyt [30], Yoshikawa [31], Gero [32], Tomiyama [33], Takeda [8], Lhote [34], Visser [35], entre otros. |
| Computacional | Expresan la forma en que un ordenador podría desarrollar la tarea de diseño: como lo exponen: Agogino [36], Neville [37], Mostow [38], Dixon [39], Gero [32], Fitzhorn [40], Cagan & Agogino [41], entre otros. |

SCRUM

Los métodos ágiles han prevalecido en los proyectos de software en las últimas dos décadas, tales como: SCRUM [42], KANBAN [43], SCRUMBAN [44], XP [45], entre otros. Considerando los principios de transparencia, inspección y adaptación que expone Kenneth, S. Rubin [42], SCRUM es el método ágil con mayor potencial a ser adaptado en otras disciplinas fuera del campo del software. SCRUM es un método ágil, iterativo e incremental que permite una fácil y eficiente reacción a nueva información o cambios inesperados en el proyecto. El proceso general de SCRUM se muestra en la Figura 1. Donde el propietario del producto tiene una visión de lo que quiere crear (el gran cubo). En caso de tener un cubo muy grande, se divide en un conjunto de características que se recopilan en una lista de prioridades denominada acumulación de productos. Una iteración comienza con su planificación, abarcando desde el trabajo a desarrollar durante la iteración hasta su revisión y retrospectiva. Todos los elementos del proceso son descritos y explicados a detalle por Kenneth, S. Rubin [42].

Método Propuesto

En este nuevo método, los fundamentos técnicos del diseño mecánico son adaptados a los principios ágiles, donde las funciones del producto a desarrollar serán el vínculo entre los principios de la metodología SCRUM [40] y los métodos, herramientas y técnicas especializadas del diseño mecánico [27]. En la figura 2, se muestran los elementos principales de esta propuesta metodológica para el diseño mecánico ágil.

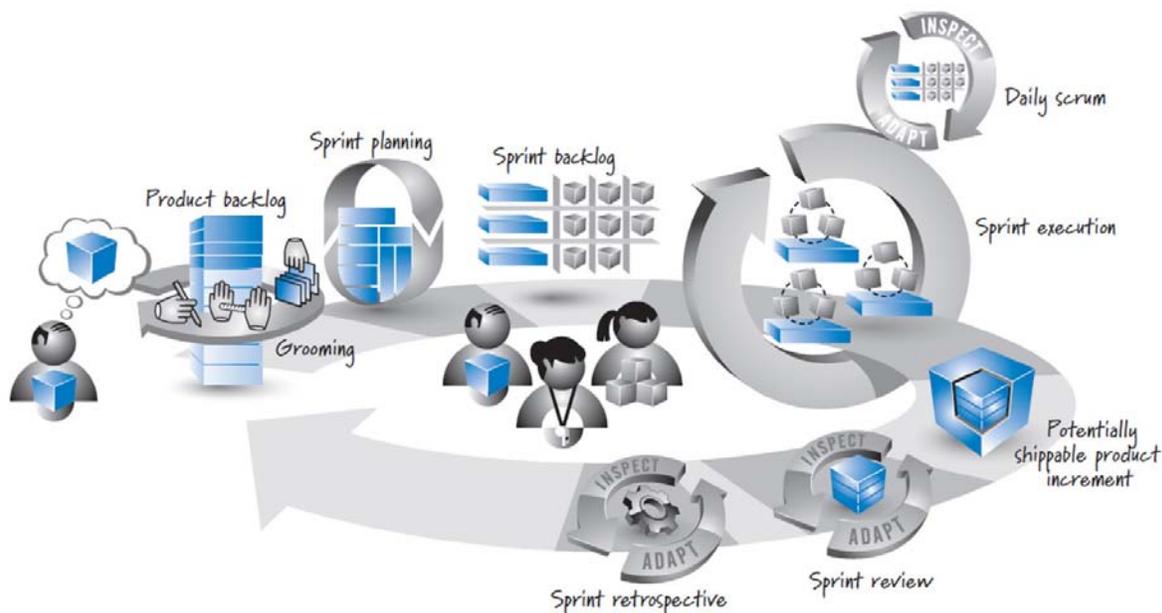


Figura 1. Proceso de SCRUM (Fuente: ESSENTIAL SCRUM (2013), pag. 17) Método Propuesto

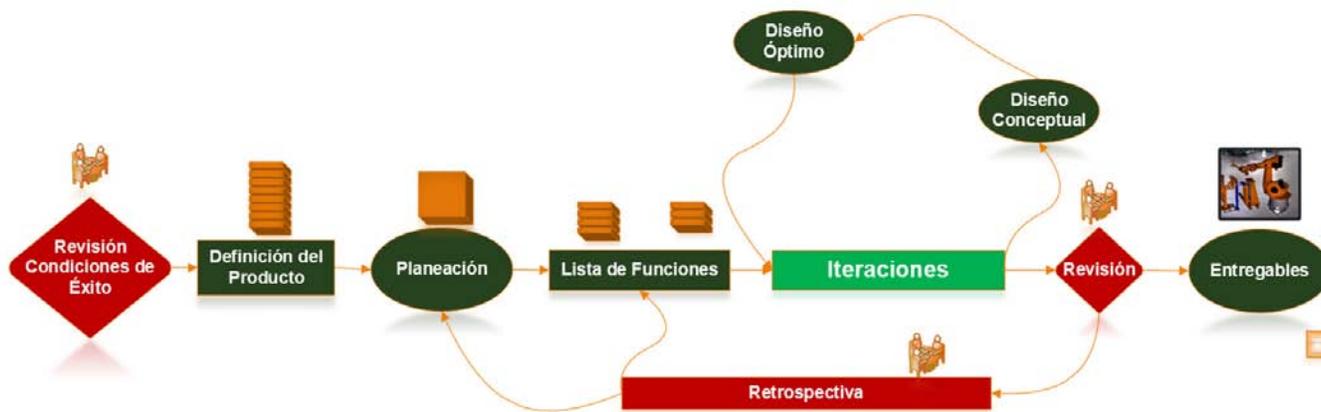


Figura 2. Nuevo método de diseño mecánico ágil.

SCRUM inicia con la definición del producto, donde el dueño del producto es responsable de esta definición [40]. Sin embargo, en los PDT la alta incertidumbre al inicio del proyecto es una de sus características. Por lo tanto, para obtener la definición del producto, es necesario realizar dos etapas preliminares. La primera se refiere a la revisión de condiciones de éxito del proyecto y la segunda se refiere específicamente a la definición del producto.

Condiciones de éxito

Revisar las condiciones en las que se recibe el proyecto será la base para establecer una estrategia adecuada en el desarrollo del diseño mecánico, así como lograr una planeación acertada, basada en las características específicas de cada PDT. Esta revisión utilizará toda la información generada por la organización antes del inicio del diseño mecánico, frecuentemente las fuentes de información pueden ser: la cotización, evaluación de viabilidad, solicitud de cotización, lecciones aprendidas, entrevistas, entre otras. Para agilizar esta revisión, se propone utilizar una lista de verificación con cuestionamientos relevantes preestablecidos sobre el diseño mecánico. El contenido de preguntas en la lista de verificación para cada categoría serán definidas por la organización. Ejemplos de preguntas típicas para cada categoría pueden ser: Para el Alcance: ¿Se conocen los entregables del proyecto?, ¿Se conocen las restricciones del proyecto?, ¿Se conocen los criterios de aceptación del proyecto?. En relación al Tiempo ¿El proyecto está cotizado bajo los principios ágiles?, ¿Se conoce el tiempo asignado para el proyecto?, ¿Se conoce el tiempo asignado para el diseño mecánico?. En relación al Presupuesto: ¿Se conocen las horas asignadas para el diseño mecánico?, ¿Se conoce el presupuesto de materiales asignados para el desarrollo mecánico?, ¿Se conoce el presupuesto para servicios asignados para el desarrollo mecánico?. Finalmente, en relación a la Información del Producto: ¿Se conoce la madurez del producto que interactúa con este desarrollo?, ¿Se tienen los modelos CAD 3D del producto?, ¿Se tienen los planos de especificaciones del producto, tales como tolerancias?. Existirán preguntas adicionales que la empresa considere relevantes y debe integrarlas a la lista de verificación.

Definición del producto

En esta etapa se obtendrá la definición del producto a través de conocer o confirmar las expectativas del cliente en términos de funciones y requisitos del producto. Actualmente, existen métodos sobre el análisis funcional. Sin embargo, dichos métodos tradicionales requieren un análisis funcional basado en la previa identificación de requisitos del producto. Contrario al proceso de este método, donde los requisitos se obtienen a partir de la identificación de las fronteras declaradas en términos de entradas y salidas para cada función. A continuación se expone un nuevo procedimiento de seis pasos para el análisis funcional, fundamentados en los procedimientos que expone Pahl & Beitz [14] en su libro “Engineering Design”, así como los principios que declara Ulwick [44] en su propuesta “What customers want”.

Paso 1. Declarar la secuencia de operación esperada por el cliente. Identificar el resultado que espera el cliente y no su necesidad.

Paso 2. Identificar y declarar todas las operaciones necesarias y no expuestas por el cliente. Obtener una secuencia de operación lógica y completa.

Paso 3. Convertir las operaciones identificadas en términos de funciones. Usar la propuesta de Pahl & Beitz [14, pp. 169-181], para dicha conversión.

Paso 4. Clasificar las funciones dentro de las siguientes categorías: básicas, mandatorias y/o innovación, considerando las siguientes definiciones. Básicas: son aquellas funciones que se dan por hecho y frecuentemente, no se declaran en las tareas de la secuencia de operación. Mandatorias: son aquellas funciones donde el cliente y/o el equipo de trabajo ya no quieren indagar en otra posible solución. Innovación. No se tiene información en ese momento sobre una posible solución para esa función.

Paso 5. Las funciones clasificadas en “innovación” se deben convertir en funciones primarias. Para esta conversión utilizar la propuesta expuesta por Pahl & Beitz [14, pp. 169-175].

Paso 6. Declarar las entradas y salidas de cada función, en términos de Materia, energía o información. Ver procedimiento expuesto por Pahl & Beitz [14, pp. 170-175]. Las entradas y salidas serán el vínculo para declarar las fronteras de cada función, en términos de requisitos, especificaciones y su método de validación. Para la obtención de los requisitos se recomienda utilizar la metodología QFD [45], para posteriormente clasificar los requisitos en: básicos, desempeño o deleite, utilizando los principios descritos en el modelo de KANO [46]. Finalmente, todos los requisitos se deben integrar a una matriz.

Como resultado de esta etapa se obtendrá la definición del producto declarada en una matriz de funciones y una lista de requisitos. Nuevas funciones y nuevos requisitos, serán documentados en relación a los incrementos necesarios para completar el diseño mecánico.

Planeación

La planeación usará todas las funciones declaradas en la definición del producto y serán el equivalente a las características del producto que establece la metodología SCRUM. El coordinador y el equipo de diseño mecánico deben declarar el plan de trabajo en términos de tiempo, prioridad y el diseñador que desarrollará cada función del producto. Se recomienda utilizar la “Estimación de Póquer” que propone SCRUM [40, pp. 245-330]. Al final de esta etapa obtendremos la duración total que demandara el diseño mecánico, así como la estrategia de prioridades para cada función.

Planeación de las Iteraciones

La magnitud de los proyectos permitirá definir el nivel y número de iteraciones que se deben programar hasta completar el diseño mecánico del producto. Durante la planificación de la iteración, el coordinador de diseño mecánico y el equipo de trabajo deben acordar un objetivo que define lo que se supone lograrán en cada iteración. Con este objetivo, el equipo de diseño revisa las funciones de productos y determina las funciones de alta prioridad que el equipo puede realmente lograr en la iteración, mientras trabaja a un ritmo sostenible. La planeación de las iteraciones debe contener al menos los

siguientes elementos: El diseñador que realizará la tarea, el número de horas que tiene disponibles y la fecha de término para cada iteración. Esta lista se irá actualizando hasta completar todas las funciones del diseño mecánico del producto, como lo establece la propuesta de Kenneth, S. Rubin [40].

Iteraciones

Una vez que finaliza la planificación de las iteraciones y el equipo está de acuerdo con el contenido de la próxima iteración, el equipo de diseño mecánico, guiado por el coordinador del diseño, realiza todo el trabajo a nivel de tareas necesarias para completar las funciones. Donde la calidad del producto, dependerá de un proceso sistemático y no solamente de la experiencia del diseñador. Aquí es donde radica la diferencia de este método contra otras propuestas similares, ya que el objetivo es obtener productos ágiles, sin omitir su robustez técnica. El principio es desarrollar una solución básica para cada función, con la expectativa de mejorar el diseño con nuevas versiones del producto en las siguientes iteraciones. Sin embargo, aunque el diseño que resulte en cada iteración sea básico debe ser potencialmente construable. Por lo tanto, requerimos conceptualizar y optimizar el diseño en cada iteración. A continuación se expone el proceso de diseño conceptual y óptimo que se debe realizar para cada iteración.

Diseño Conceptual

El diseño conceptual estará completo una vez que se desarrollen todas las etapas del proceso que se muestra en la figura 3.

Soluciones existentes

Antes de iniciar el desarrollo de cualquier posible solución, se deben revisar las soluciones existentes para cada función en el siguiente orden de búsqueda. Primer nivel: Búsqueda en equipos desarrollados anteriormente en la empresa. Segundo nivel: Búsqueda en internet, tales como: videos, hojas de datos, competidores, etc. Tercer nivel: Búsqueda en desarrollos científicos, tales como patentes, artículos, etc. Para este nivel de búsqueda se deben utilizar herramientas

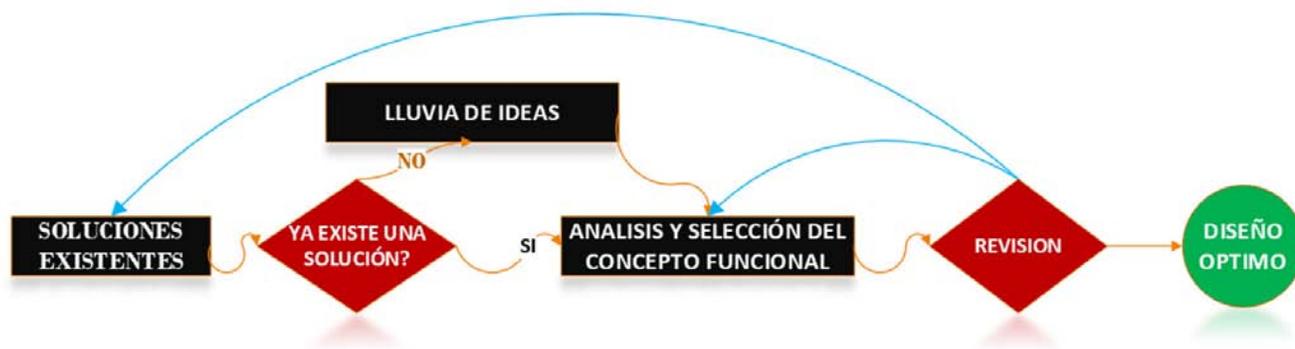


Figura 3. Proceso del diseño mecánico conceptual.

de vigilancia tecnológica tales como bases de datos, motores de búsqueda, entre otros. En caso de no identificar ninguna solución, se debe plantear una lluvia de ideas usando la propuesta de Cross [6, pp. 48-56]. Llegar al tercer nivel de búsqueda vislumbra una alta probabilidad de innovar. Para atender estas funciones de innovación se propone utilizar los principios de la metodología TRIZ [47], buscando dar una solución a un problema de inventiva.

Análisis y selección del concepto

Se deben tener al menos dos soluciones en cada función para realizar la evaluación y selección del diseño conceptual. Esta evaluación se basará en las definiciones mostradas en la tabla 2. Donde; El criterio puede ser; tiempo, costo, calidad, u otros que considere la organización. El peso, se lo asigna el cliente y/o equipo de trabajo del proyecto. Para la referencia, deben usarse las fronteras del proyecto. Ejemplo: si el criterio es costo, la referencia debe ser un monto presupuestado. Para lograr una comparación ponderada. La escala de ponderación para cada concepto será de +1(Mejor), -1(Peor) y 0(Igual). La suma ponderada será la suma de la ponderación multiplicada por el peso de cada criterio y su valor definirá el concepto ganador.

Tabla 2. Matriz de análisis y selección del diseño conceptual.

| EVALUACIÓN Y SELECCIÓN | | | | Concepto 1 | Concepto 2 | Concepto 3 |
|--|------------|--------|--------------|------------|------------|------------|
| Función 1 | Criterio 1 | Peso 1 | Referencia 1 | | | |
| | Criterio 2 | Peso 2 | Referencia 2 | | | |
| | Criterio 3 | Peso 3 | Referencia 3 | | | |
| Suma | | | | | | |
| Suma Ponderada (Función del peso para cada criterio) | | | | | | |

Revisión del Concepto

Antes de proceder al desarrollo del diseño óptimo, es recomendable realizar una revisión informal con todos los interesados del proyecto. No se requiere de una validación oficial del concepto, debido a que el diseño puede modificarse durante el proceso de diseño óptimo y generar expectativas in-

correctas. El objetivo principal de esta revisión solo es identificar las áreas de oportunidad del concepto seleccionado.

Diseño Óptimo

El diseño óptimo se obtendrá al validar; la factibilidad técnica del diseño seleccionado y la reducción en los costos relacionados con las siguientes etapas del ciclo de vida del producto. Cálculos y simulaciones de ingeniería se realizarán durante esta etapa y utilizando el diseño para la manufactura, ensamble, etc. se logrará obtener la reducción de costes en las etapas de la vida del producto. Incrementado la calidad y eficiencia del producto a través de la aplicación de herramientas preventivas mostradas en la figura 4, tales como; AMEF, DFX, entre otras. Entonces, para cada concepto de diseño seleccionado, aunque sea una solución básica, ésta se someterá a una evaluación y optimización. Enfatizando que el diseño ágil no exime tener un diseño técnicamente fundamentado.

Sistemas comerciales y estándares

Existirán sistemas que se puedan adquirir comercialmente o se adapten a un sistema estandarizado, como lo recomienda el método de base tecnológica expuesto por Tooley [48]. La filosofía es no invertir tiempo con sistemas que ya son probados y podemos integrarlos a nuestro diseño. Dichos sistemas pueden ser: engranajes, actuadores, válvulas, entre otros. El diseñador puede explorar toda la tecnología disponible o combinación de estas tecnologías comerciales o estandarizadas. Desde sistemas de conversión de energía, transmisión de energía, almacenamiento de energía, localización, entre otros.

Cálculos de ingeniería

En esta etapa se realizarán todos los cálculos y simulaciones necesarias que demande el diseño mecánico. El análisis de modos de falla será la herramienta principal que se usará para identificar los sistemas de riesgos potenciales. Este análisis de modos de falla debe realizarse simultáneamente durante todas las etapas del diseño óptimo, como se muestra en la figura 4. Análisis, cálculos o simulaciones adicionales



Figura 4. Proceso de la optimización del diseño.

a los que detone el AMEF es recomendable realizarlos en esta etapa del proceso, ya que la configuración del producto deberá estar casi concluida al término de esta etapa.

Diseño para la excelencia

Hasta esta etapa del método, la funcionalidad ha representado el 100% de las características desarrolladas del producto y todos los esfuerzos se han centrado en dicha funcionalidad. Sin embargo, En la actualidad observamos que los productos van más allá de la funcionalidad incluyendo aspectos como; el costo, servicio, medio ambiente, manufactura, ensamble, entre otros. El diseño para X se refiere al uso de una metodología formal para optimizar un aspecto específico de un diseño. La variable X representa las áreas de enfoque y de acuerdo a la aportación de Tichem y Tormenta, Huang y Mak [50], ésta se pueden dividir en dos partes: Fases del ciclo de vida (por ejemplo, fabricación, entorno, pruebas, etc.), o características que se deben optimizar (por ejemplo, costo, calidad, velocidad). Las propias directrices de diseño suelen proponer un método que pueda ayudar a generar y aplicar el conocimiento técnico para controlar, mejorar, o incluso inventar características particulares de un producto. Entre las metodologías más usadas se encuentran: el diseño para la manufactura y ensamble. Nuevos requerimientos serán expuestos y registrados a través de asignar la variable X en esta etapa.

AMEF de diseño

Durante todo el proceso de diseño óptimo se debe evaluar la funcionalidad del producto, usando el análisis de modos de falla y sus efectos (AMEF) como lo expone Anleitner [49], buscando identificar los riesgos potenciales de nuestro diseño mecánico. El AMEF del diseño expondrá los sistemas críticos que requieran análisis más detallados o simulaciones más complejas. Al mismo tiempo nos permitirá reducir el tiempo de análisis para funciones que no representan un riesgo potencial. Para la ejecución ágil de este proceso, recomendamos usar como datos de entrada, las lecciones aprendidas, declaradas en el proceso de retrospectiva de proyectos anteriores, aprovechando la información de acciones ya comprobadas.

Representación virtual

La representación virtual se divide en dos etapas: en la primera etapa se generarán los modelos 3D, simulaciones y otras representaciones del diseño. Mostrando en un ordenador la evolución del diseño desde el concepto hasta el diseño óptimo. Algunos de los softwares utilizados en el modelado 3D son: SolidWorks, Catia, inventor, entre otros. La segunda etapa se refiere a la representación de los modelos 3D y/o simulaciones realizadas en realidad aumentada. Park [51] y Ong & Huang [52] exponen un proceso para esta representación. Los dispositivos de realidad aumentada con mayor uso en el diseño mecánico son: HoloLens (Microsoft), CastAR, Vuzix M300 Smart Glasses, Recon Jet, ORA-1 Smart Glasses (optinvent).

Validación del cliente

Esta validación se realizará mostrando el diseño en realidad aumentada, usando el fundamento técnico generado. Principalmente serán; la matriz de funciones, la matriz de requisitos y el AMEF de diseño del producto. Lo anterior considera que las funciones fueron el vínculo de estudio durante el proceso de diseño mecánico y los requerimientos colocaron las fronteras de cada función, para que finalmente el AMEF del diseño presente todas las protecciones que atiendan los modos de falla potenciales identificados en el diseño. Como resultado de esta revisión, se pueden obtener algunos de los siguientes escenarios:

- Cambios parciales de la función. Lo cual, genera una nueva iteración y se debe planear la tarea en la siguiente lista de iteraciones.
- Cambios radicales en las funciones. Genera un nuevo análisis de expectativas por lo que se requiere regresar hasta la etapa de planeación.
- Aceptación del diseño mecánico. El cliente firma de conformidad y se procede a generar los entregables del diseño mecánico.

Retrospectiva

Como lo establece la metodología SCRUM [40], se realizará una etapa de retrospectiva con el equipo de diseño mecánico, para generar y analizar las lecciones aprendidas. Con el objetivo de usar esta información en las siguientes iteraciones y proyectos.

Entregables

Todos los entregables de este proceso deberán ser utilizados en las siguientes etapas de ciclo de vida del producto, como lo propone Ullman [27, pp. 366-370]. Los principales documentos que destacan como entregables son: documentos para el aseguramiento y control de calidad de producto, instrucciones de manufactura e instrucciones de ensamble, instalación, operación y mantenimiento. Para esta propuesta metodológica se proponen los siguientes entregables: Planos de partes y ensambles, listas de materiales comerciales y manufacturados, manuales de mantenimiento y el AMEF de diseño. Sin embargo, La organización definirá los entregables necesarios en función al ciclo de vida específico del producto.

Aplicación del método

Este método se aplicó al proyecto denominado: Banco de pruebas dimensionales y de conductividad eléctrica para controladores de motores. Como referencia, la figura 5 muestra un controlador de motores. En la primer etapa del método, el resultado de la evaluación de las condiciones

de éxito del proyecto fue de un 66.65% de un máximo de 100%, el cual se obtendría en el caso de responder a todas las preguntas mostradas en la tabla 3. Cada categoría contiene tres preguntas que representan un valor máximo de 25% por cada categoría. En este caso de estudio se observa un valor de 8.33% para la categoría del alcance, correspondiente al 33.33% de un máximo de 25%, debido a que no se conocían las restricciones, ni el criterio de aceptación del proyecto durante esta evaluación. Se cumplió el objetivo de esta etapa del método, identificando y declarando las condiciones iniciales del proyecto para generar un plan de acción que atienda cada criterio faltante. Al darse a conocer el resultado de esta evaluación a los interesados en el proyecto, además de generar el plan de acción, se generó una lección aprendida para el departamento de estimaciones. Resaltando los criterios que no fueron atendidos antes del inicio del proyecto.



Figura 5. Controlador de motores.

La definición del producto en términos de funciones y requisitos quedó documentado en la tabla 4 y 5 respectivamente. Se declararon como funciones de innovación en el proyecto: la inspección y conexión del controlador. Durante la clasificación de requisitos, se identificó un requisito de delete, ya que el cliente no incluyó un sistema para carga y descarga del controlador. Entonces, el equipo de diseño considero un requisito para facilitar la carga y descarga de los controladores del banco de pruebas y darle un valor agregado al producto.

| Entradas | FUNCIONES | Salidas | Tipos de Funciones |
|---------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------|
| E. Carga Manual | Cargar Controlador | | Básica |
| M. Controlador (varios modelos) | | | |
| M. Instrumentos de medición. | Inspeccionar Controlador | Pasa No Pasa | Innovación. |
| E. Activación Manual | Activar Cerradura | | Mandatorio |
| E. Activación Manual | Conectar controlador | | Innovación |
| | Inspeccionar Continuidad | Activar Led | Mandatorio |
| E. Activación Manual | Desconectar Terminales | | Básica |
| E. Activación Manual | Descargar Controlador | | Básica |

Tabla 4. Matriz de funciones.

| Tipo | Requisitos | Especificaciones | Método de Validación |
|-----------|---|--|--|
| Básico | La carga y descarga del controlador debe ser ergonómico. | Altura de trabajo : 0.95m | Flexómetro Calibrado. |
| Desempeño | Probar todos los modelo de controladores | 12, 18,28,24,30 36 42 48 54 60 | Planos de especificaciones de los controladores. |
| | Diseñar el banco para rechazar los controladores que esté fuera del máximo de material. | Tolerancias del controlador de: +/- 1.27 mm | Certificado de Calibración |
| | La carga de los controladores al banco será manual | El cliente proveerá el dispositivo para manejo de controladores fuera del banco. Por lo que se excluye de este proyecto. | Minuta de acuerdo con el cliente. |
| | Tiempo de Ciclo de operación | 2 min. (Desde la carga hasta la descarga) | Cronometro |
| | Realizar prueba de continuidad | Suministro de 5 a 10 V, entre terminales y desconectador | Multimetro |
| | Durabilidad del banco | 10 años | Análisis de confiabilidad teórico |
| Garantía | 1 año | Minuta | |
| Delete | Facilitar la carga y descarga del controlador | Plataforma móvil con un desplazamiento de al menos 200 mm | Flexómetro |

Tabla 5. Matriz de Requisitos.

Todos los requisitos que se muestran en la tabla 5, fueron declarados por el cliente. Durante el proceso de planeación, el coordinador del diseño utilizó la recomendación de la “Estimación póquer” que propone SCRUM para determinar las horas que demandará cada función. Entonces, se concluyó un plan general con una duración de 3 semanas (14 días) para completar el diseño, como se muestra en la tabla 6. Con base en el plan general se declararon las funciones que se desarrollaron en cada iteración. En la tabla 7, se muestra el plan de la primera iteración. Todas las siguientes iteraciones fueron planeadas y ejecutadas hasta concluir el diseño. Con fines de síntesis y buscando representar la aplicación general del método, solo se presentan los resultados de la iteración relacionada a la función de innovación nombrada: “Inspección dimensional”.

| Categoría | Descripción | Indicador General | Indicador |
|-------------|--|-------------------|-----------|
| Alcance | ¿Se conocen los entregables del proyecto? Si, En la cotización se declara el entregable principal. | 66.65% | 8.33% |
| | ¿Se conocen las restricciones del proyecto? No. | | |
| | ¿Se conocen los criterios de aceptación del proyecto? No. | | |
| Tiempo | ¿El proyecto está estructurado bajo un enfoque ágil? No, los proyectos se gestionan con metodos tradicionales. | 16.66% | 16.66% |
| | ¿Se conoce el tiempo asignado para el proyecto general? Si, 8 semanas para todo el proyecto. | | |
| | ¿Se conoce el tiempo asignado para el diseño mecánico? Si. 3 semanas para el diseño mecánico. | | |
| Presupuesto | ¿Se conoce el presupuesto de materiales asignados para el desarrollo mecánico? . Si, se tienen 10,000 USD. | 25% | 25% |
| | ¿Se conocen las horas asignadas para el diseño mecánico? . Si, se tienen 90 horas. | | |
| | ¿Se conoce el presupuesto para servicios asignados para el desarrollo mecánico? Si, Se tienen 1,000 USD. | | |
| Producto | ¿Se conoce la madurez del producto que interactúa con este desarrollo? Si, el controlador ya está en producción | 16.66% | 16.66% |
| | ¿Se tienen los modelos en ambientes virtuales, tales como CAD 3D? Si, Se entregaron los CAD 3D de los controladores. | | |
| | ¿Se tienen los planos de especificaciones del producto, tales como tolerancias? No. | | |

Tabla 3. Análisis de condiciones de éxito, caso de estudio.

| Nombre de tarea | Trabajo | Nombres de los recursos | S1 | | | | S2 | | | | S3 | | | | S4 | | | | | | | |
|--|----------|-------------------------|-----------------|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|--|
| | | | D | M | J | S | L | X | V | D | M | J | S | L | X | D | M | J | S | L | X | |
| Carga del controlador | 18 horas | Clarisa Parreño | Clarisa Parreño | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inspeccionar dimensiones del controlador | 27 horas | David Flores | David Flores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Activar cerradura | 27 horas | David Flores | David Flores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conectar controlador | 27 horas | David Flores | David Flores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inspeccionar continuidad | 18 horas | David Flores | David Flores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desconectar Controlador | 18 horas | David Flores | David Flores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descargar controlador | 18 horas | Clarisa Parreño | Clarisa Parreño | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 6. Plan general para diseño mecánico ágil.

| Funciones | Tareas | Diseñador | Duración | Fecha fin |
|--|---|------------|----------|------------|
| Carga del controlador | Completar la primera iteración del sistema para carga del controlador. | Clarisa P. | 18 horas | 17/07/2018 |
| Inspeccionar Dimensiones del Controlador | Completar la primera iteración del sistema para inspección del controlador. | David F. | 27 horas | 18/07/2018 |
| Activar Cerradura | Completar el diseño conceptual de la primera iteración. | David F. | 18 horas | 20/07/2018 |

Tabla 7. Lista de tareas para primera iteración.

Como lo establece el método, se debe realizar un concepto y optimizarlo en cada iteración, para que sea potencialmente construible. Por lo tanto, a continuación se muestran los principales hallazgos de la primera iteración en estos procesos.

Diseño Conceptual. Como lo establece el método, durante la búsqueda de soluciones existentes. Considerando la función de “Inspección dimensional”. El resultado fue: Primer nivel: No se encontraron soluciones similares en proyectos anteriores de la organización. Segundo nivel: Se encontraron muchos sistemas que realizan la función de inspeccionar dimensionalmente, entre los que destaca: “Fixtures”, Robot de inspección dimensional y Calibradores pasa no pasa, principalmente. Dado que se presentaron muchas alternativas que resuelven la función en la búsqueda del segundo nivel. No se consideró realizar el tercer nivel de búsqueda de soluciones. Ni fue necesario convocar a una reunión de lluvia de ideas como lo establece el método. Se sometieron a evaluación las tres soluciones que se muestran en la tabla 8. Donde el concepto ganador fue el sistema pasa no pasa, considerando el costo, tiempo y espacio disponible como parámetros para la evaluación. Se procedió a una revisión interna y con el cliente, donde se confirmó que la solución conceptual está orientada a sus expectativas. No se generó ningún documento de aprobación como lo sugiere el método, para no limitar ninguna modificación en la morfología durante el proceso de optimización del diseño.

| | | | | Pasa no Pasa | Fixture | Robot |
|--|--------------------|-----|-------------|--------------|---------|-------|
| Inspección Dimensional | Costo | 40% | 3000 USD | 1 | 0 | -1 |
| | Tiempo ciclo | 30% | 5 Sec | -1 | 0 | 1 |
| | Espacio Disponible | 30% | 3 * 3 * 2 m | 1 | 1 | 0 |
| SUMA | | | | 1 | 1 | 0 |
| SUMA PONDERADA (función del peso del criterio) | | | | 0.4 | 0.3 | 0.1 |

Tabla 8. Análisis y selección del concepto.

Diseño Óptimo. Con base en el AMEF, la variable principal para la función de inspección dimensional, es la repetibilidad del dispositivo. Entonces los siguientes pasos se enfocaron principalmente al análisis de esta variable. Los cálculos principales para la función de “inspección dimensional” fueron: el análisis de tolerancias y la selección de materiales. Con el objetivo de definir las holguras requeridas y la estabilidad de los materiales durante una producción continua. Se obtuvo una holgura máxima de 0.5 mm en cada eje y el material seleccionado fue UHMW-PE por su resistencia al desgaste, como principal variable de estudio. Para este sistema, solo se seleccionaron algunos accesorios comerciales, tales como: arandelas de ajuste, indexadores de posición, tornillería, principalmente. En la etapa del diseño para la excelencia. La característica crítica de esta función es: las dimensiones que se inspeccionarán, por lo tanto la selección de la “X” que agrega valor es: la manufactura y el ensamble. Utilizamos la teoría de DFMA expuesta por Boothroyd, Dewhurst, & Knight [53]. El resultado de este análisis fue la selección del proceso de manufactura CNC y se obtuvo una eficiencia teórica del ensamble de 75%. Se aceptó ese nivel de eficiencia ya que no será un producto de manufactura en serie y cumple con el presupuesto asignado. El modo de falla principal detectado fue: Banco acepte controladores fuera de especificaciones. Para lo cual se declararon acciones de certificar el Banco ante un organismo metrológico, así como seleccionar materiales certificados, para mantener las dimensiones estables durante un periodo mínimo de uso de un año en producción continua para mitigar los riesgos. El resultado del modelado se muestra en la figura 6 y para la representación en realidad aumentada, utilizamos las herramientas que ofrece el dispositivo de HoloLens de Microsoft [54].

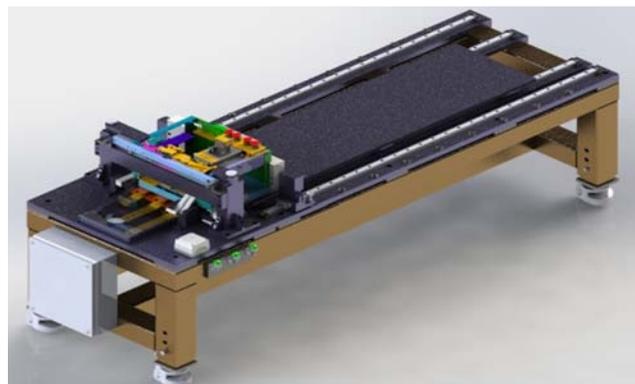


Figura 6. Diseño final en un ambiente virtual.

Durante el proceso de validación del diseño mecánico con el cliente. El modelo virtual con todo el respaldo técnico, genero una revisión muy rápida y concreta. Durante la interacción virtual, el cliente detecto un área de oportunidad relacionada con la forma de conexión del controlador, ya que el operador tendría que desplazarse significativamente para dicha operación. Entonces, el cliente solicito un cambio en el diseño para esta función. Se realizó una segunda iteración, para diseñar un mecanismo que permitiera conectar el controlador automáticamente, al momento de posicionarse

sobre el banco de pruebas. Se realizó el cambio en el diseño y el cliente aprobó el diseño total del banco de pruebas. Durante el proceso de retrospectiva, la principal lección aprendida fue; todos los acuerdos con el cliente deben únicamente gestionarse por el coordinador del diseño mecánico. Los entregables realizados fueron; los planos de fabricación y ensamble, así como la lista de partes, manuales de operación y mantenimiento, dichos entregables son establecidos en los estándares de la empresa Industrial Automation México.

Discusión o Conclusión:

Los principios ágiles de SCRUM se acoplaron con técnicas y herramientas del diseño, demostrando que es factible lograr productos innovadores y ágiles. Resaltando algunas adecuaciones que se tuvieron que realizar tanto a los principios de SCRUM como algunas de las técnicas del diseño. La primera adecuación fue el proceso de definición del producto, donde la participación del cliente con el equipo de diseño fue crucial para confirmar las expectativas del producto en términos de funciones y sus requisitos, en lugar de obtener las características del producto por una sola persona, como lo establecen los principios ágiles. También, durante el proceso de iteraciones, se contrastan los principios de SCRUM, donde la calidad del producto dependerá de la experiencia y confianza hacia el equipo de diseño, lo cual tuvo que ser modificado en esta propuesta metodológica, buscando que la calidad dependa de un proceso sistemático, que permita a diseñadores de poca experiencia lograr diseños de calidad similar o mejor al diseño de un equipo experimentado. Se mostró este beneficio durante el desarrollo de la función de inspección dimensional. Donde gracias al proceso del diseño conceptual, se obtuvo una solución de dominio público, logrando reducir significativamente el tiempo de diseño usando el conocimiento de sistemas ya probados, para únicamente someterlos al proceso de optimización de dicha propuesta. Logrando un diseño técnicamente fundamentado en todas sus características tanto físicas como funcionales. Finalmente, durante la evaluación del diseño final, la representación del producto en realidad aumentada fue clave para realizar un incremento en una de las funciones del producto. Gracias a la interacción del cliente con el holograma del producto le permitió identificar un parámetro que difícilmente se hubiera identificado antes de liberar el diseño. Demostrando con este ejemplo, la factibilidad de incrementos en el producto desde la etapa del diseño gracias a los avances actuales de la tecnología. Se concluye que es posible usar principios ágiles sin descuidar la calidad técnica del diseño. Por supuesto algunos principios ágiles y técnicas del diseño se modificaron para darle sentido a este método y mantener el objetivo de obtener productos que se adapten a los cambios de los clientes, técnicamente fundamentados y con un menor tiempo de desarrollo. La metodología ha sido implementada en la empresa Industrial Automation México e iniciará un proceso de perfeccionamiento, con el objetivo de obtener productos innovadores que aumenten la competitividad local, nacional e internacional de la organización.

Agradecimientos

Agradezco a dios. A mi esposa Amalia y a mis hijos; Diego, Julia, Bruno y Zoe, por ser mi fuente de energía. También agradezco a Paul Jaques y Guillermo Gómora, por las facilidades y apoyo de aplicar esta propuesta en la empresa Industrial Automation. Finalmente, agradezco a mis asesores; Isaac Hernandez y Octavio Cabrera por sus recomendaciones y apoyo durante este proyecto.

Bibliografía

- [1] P. Reynisdottir, «*Scrum in Mechanical Product Development, Case Study of a Mechanical Product Development Team using Scrum,*» CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Gothenburg, Sweden, 2013 .
- [2] J. J. M. Also, «*Integration of the Scrum methodology in mechatronic product development,*» Universitat de Vic Escola Politècnica Superior, España, 2015.
- [3] S. Dwyer, «*Agile Design Project Methodology for Small Teams Developing Mechatronic Systems,*» University of Alberta, Canada, 2017.
- [4] K. Adams, «*Design Methodologies,*» de Non-Functional Requirements in Systems Analysis and Design, Switzerland, Springer International Publishing, 2015, pp. 15-42.
- [5] T. Tomiyama, P. Gu, Jin D. Lutters, Ch. Kind y F. Kimura, «*Design methodologies: Industrial and educational applications,*» Manufacturing Technology, p. 543–565, 2009.
- [6] N. Evbuomwan, S. Sivaloganathan y A. Jebb, «*A survey of design philosophies, models, methods and systems,*» Engineering Design Centre, City University, London, vol. 210, n° 4, pp. 301-320, 1996.
- [7] N. Cross, «*Engineering design methods strategies for product design,*» Chichester; New York: Wiley, 2000.
- [8] H. Takeda, «et al. *Modeling Design Processes,*» AI Magazine Volume 11 Number 4, p. 37-48, 1990.
- [9] S. Finger y J. R. Dixon, «*A review of research in mechanical engineering design. part i: descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes,*» Research in Engineering Design vol. 1, n° 1, p. 51-67, 1989.
- [10] L. March, «*In Developments in design Methodology,*» de The Logic of Design, London, (John Wiley, 1984, pp. 265-276 .

- [11] E. Mattchet y A. H. Briggs, «*Practical design based on method (Fundamental design method)*,» de The Design Method, London, S. A. Gregory, 1966, pp. 183-199.
- [12] J. Gero y I. Hybs, «*An evolutionary process model of design*,» Design Studies, pp. 273-290, 1992.
- [13] J. C. Jones y D. G. Thornley, «*Conference on Design Methods*,» de A Method of Systematic Design, London, September 1962.
- [14] M. Asimow, *Introduction to Design, Engle-wood Cliffs* New Jersey: Prentice-Hall, 1962.
- [15] G. Pahl y W. Beitz, *Engineering Design*, Third Edition, London: Springer, 2007.
- [16] VID, *VDI Guideline*, Berlin: The Association of German Engineers (VDI), 1987.
- [17] R. D. Watts, *The design method*, Butterworth, London: S. A. Gregory, 1966, pp. 85-95.
- [18] D. L. Marples, *The decisions of engineering design*, London: The Institution of Engineering Designers, 1960.
- [19] L. B. Archer, *Development in Design Methodology*, John Wiley, London, pp. 57-82: N. Cross, 1984, pp. 57-82.
- [20] E. V. Krick, *Engineering and engineering design*, 2nd Edition, New York: John Wiley, 1969.
- [21] V. Hubka, «*Design for quality and design methodology*,» Journal of Engineering Design, pp. 3(1), 5-15, 1992.
- [22] M. J. French, *Conceptual design*, 3rd Edition, London: Springer, 1999.
- [23] A. J. Harris, «*Can design be taught*,» Proc. Instn Civ. Engrs, pp. Part 1, No. 68, 409-416, August August, 1980.
- [24] S. Pugh, *Total design-integrated methods for successful product engineering*, 1st edition, England: Addison, Wesley, 1990.
- [25] BS-7000, *Management of Design*, London: British Standard Institution, 2015.
- [26] P. Suh, *The Principles of Design*, Ed 1, New York, USA: Oxford University Press, 1990.
- [27] G. Taguchi, *Introduction to quality engineering : designing quality into products and processes*, Tokyo: Asian productivity organization, 1990.
- [28] D. G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, New York, US: McGraw-Hill, 2010.
- [29] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*; quinta edición, Pennsylvania, USA: McGraw-Hill, 2012.
- [30] V. L.-N. D. C. Johnny Huysentruyt, «*A model of cognitive activities in design*,» de Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation - MO-SIM'12, Bordeaux - France, 2012.
- [31] H. Yoshikawa, «*Design Philosophy: The State-of-the-Art*,» Keynote paper, Annals of the CIRP, Vol. 38, p. 2, 1989.
- [32] J. S. Gero, «*IA and new computational models of design*,» de International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Beijing, China, Colloquium on Knowledge-based systems in civil engineering, 1993, pp. 25-32.
- [33] T. Tomiyama, «*A design process model that unifies General Design Theory and Empirical Findings*,» Design Engineering Technical Conferences, 1995.
- [34] F. C. P. a. M. D. Lhote, «*Elargissement de principes de la cybernétique vers l'ingénierie et la production*,» de INCOM'98, June 1998.
- [35] W. Visser, *The cognitive artefacts of designing*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 2006.
- [36] A. M. e. a. Agogino, «*IA/OR computational model for integrating qualitative and quantitative design methods*,» de Proceedings of NSF Engineering in Design Conference, Amherst Massachusetts, 1989.
- [37] G. E. Neville, «*Computational models of design processes*,» Design Theory '88, pp. 82-116, 1988.
- [38] J. e. a. Mostow, «*A domain-independent model of knowledge-based design*,» de Proceedings of the 1988 NSF Grantee Workshop on Design Theory and Methodology. Design Theory, New York, Springer Verlag, 1988, pp. 97-99.
- [39] J. R. Dixon, «*Iterative redesign and respecification: research on computational models of design processes.*,» de Proceedings of the 1988 NSF Grantee Workshop on Design Theory and Methodology. Design theory 88, New York, Srpinge Verlag, 1988, pp. 104-107.
- [40] P. A. Fitzhorn, «*Engineering design is a computable function*,» Artif, Intell, for Enging Des., Analysis and Mfg, pp. 8, 35-44, 1994.

- [41] J. Cagan y A. M. Agogino, «*Dimensional variable expansion - a formal approach to innovate design*,» Res. in Enging Des., pp. 3, 75-85, 1991.
- [42] S. R. Kenneth, *Essential SCRUM: A Practical Guide to the Most Popular Agile Process*, Arbor, Michigan USA: Addison-Wesley, 2013.
- [43] D. J. Anderson, *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*, USA: Blue Hole Press, 2010.
- [44] A. Reddy, *The Scrumban [R]Evolution: Getting the Most Out of Agile, Scrum, and Lean Kanban (Agile Software Development)*, USA: Addison-Wesley, 2015.
- [45] M. Fowler y K. Beck, *Planning Extreme Programming*, USA: Addison-Wesley, 2000.
- [46] A. W. Ulwick, *What customers want*, USA: McGraw-Hill, 2005.
- [47] R. Zultner, J. Terninko y G. H. Mazur, «*House of Quality (QFD) Tutorial*,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.qfdonline.com/qfd-tutorials/house-of-quality-tutorial/>. [Último acceso: 15 06 2018].
- [48] D. Verduyn, «*kanomodel.com*,» 17th March 2014. [En línea]. Available: <https://www.kanomodel.com/articles/>.
- [49] S. D. Savransky, *Engineering of Creativity: Introduction to Triz Methodology of Inventive Problem*, Florida USA: CRC Press, 2000.
- [50] M. Tooley, *Design Engineering Manual*, Surrey, England: Butterworth-Heinemann, 2009.
- [51] M. Tichem y T. Storm, «*Designer support for product structuring - development of a DFX tool within the design coordination framework*,» Computers in Industry 33, pp. 155-163, 1997.
- [52] M. A. Anleitner, *The Power of Deduction: Failure Modes and Effects Analysis for Design*, Wisconsin, USA: ASQ Quality Press, 2010.
- [53] J. Y. L. & G. W. R. & H. Park, «*AR/RP-based tangible interactions for collaborative design*,» Int J Adv Manuf Technol 45, p. 649-665, 2009.
- [54] S. Ong y J. Huang, «*Structure design and analysis with integrated AR-FEA*,» CIRP Annals - Manufacturing Technology 66, p. 149-152, 2017.
- [55] G. Boothroyd, P. Dewhurst y W. A. Knight, *Product Design for Manufacturing and Assembly 3rd Edition*, Massachusetts, USA: CRC Press, 2010.
- [56] M. Hololens, «*Microsoft HoloLens User Guide*,» 28 July 2017. [En línea]. Available: <https://archive.org/details/microsoft-hololens/page/n1>.
- [57] MNX-GT-002-IMNC-2008, *Gestion de la Tecnología - Proyectos Tecnológicos - Requisitos*, 2008.
- [58] M. J. Safoutin, «*A methodology for empirical measurement of iteration in engineering, PhD thesis*,» University of Washington, Washington US, 2003.
- [59] J. S. a. M. M. Gero et al, «*A framework for research in design computing*,» de ECAADE'97, 1997.
- [60] H. Takeda, Tomiyama, T. a. H. y Yoshikawa, «*A logical design computable framework for reasoning in design*,» In Design Theory and Methodology, DEVol. 42, ASME, 1992.
- [61] T. Tomiyama, The Netherlands.: University of Twente, March 1999, pp. 24-26.
- [62] T. Tomiyama, «*Structurizing Design Knowledge: Design Theory, Design Methodology, and Design Methods*,» de In CIRP International Design Seminar, The Netherlands, March 1999.
- [63] D. McKenna, *The Art of Scrum*, Pennsylvania, US: CA Press, 2016.
- [64] «*SCRUM.ORG*,» [En línea]. Available: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>.