

Validación del diseño de un producto: análisis de la manufacturabilidad de un producto de grifería

Validation of a product design: analysis of the manufacturability of a faucet product

Patricio Jácome-Monar* es Ingeniero Mecánico y Maestro en Ingeniería Industrial por la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador. Su tesis de Pregrado: Diseño por método convencional y verificación mediante elementos finitos (ALGOR®) de un elevador articulado accionado por un sistema hidráulico. Tesis de Postgrado: Estudio y definición del grado de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de tapas, envases y otros artículos de plástico.

Durante 16 años hizo diseño de producto en la oficina técnica de Franz Viegner Área Andina S. A., en Quito. Desde el 2012 ha ejercido la docencia en diferentes universidades para distintos niveles académicos en las siguientes asignaturas: Dibujo Técnico, Modelado Digital en 3D, Procesos y Materiales de Manufactura, Análisis y Evaluación de Proyectos, Síntesis de Mecanismos, Matemática para Ingeniería, Simulación de Prototipos, Diseño de partes de autos, Planificación de la Producción y Comercialización. Actualmente trabaja en la Carrera de Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Central del Ecuador.

Proyecto de Investigación en ejecución: Elaboración de una metodología de aplicación de conceptos de diseño y arquitectura contemporáneos, mediante el uso de herramientas de tecnología digital pertinentes. Normativa en elaboración: Código de Dibujo Técnico para Ingenieros en Diseño Industrial.

Carlos Santiago Buenaño Armas** es Ingeniero Mecánico y Maestro en Ingeniería Industrial por la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Fue Gerente Industrial en la ensambladora automotriz Omnibus BB General Motors y en la autopartista Elasto, Quito. Experto en desarrollo de autopartes utilizando metodologías Operation Readines, APQP, FMAS y Planes de Control. Líder de la implementación de sistemas de gestión ISO 9001/ Sistema Global de Manufactura (propio de General Motors) / BIQ (Built in Quality) ISO TS 1694 (sistema de autopartistas), aplicación de herramientas Lean Manufacturing en la formación de equipos de trabajo altamente efectivos basados en la cultura de mejoramiento continuo. En la actualidad se desempeña como profesor auxiliar en la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, Facultad de Ingeniería Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad Central del Ecuador. Sus asignaturas han sido: Ergonomía, Simulación de procesos, Normalización, Estadística, Física, Metodología de la Investigación, Gestión de Proyectos, Desarrollo de la Personalidad y Valores.

*Universidad Central del Ecuador (UCE),
Ingeniería en Diseño Industrial, Av.
Universitaria, Calle Río Santiago y Av. Río
Coca. San Gabriel del Valle. Quito.
epjacomem@uce.edu.ec

**Universidad Central del Ecuador (UCE),
Ingeniería en Diseño Industrial, Av.
Universitaria, C.A y Riofrío, Sangolquí,
Pichincha, Ecuador.
sbuenanio@uce.edu.ec

Resumen

Con el fin de implementar el diseño de un producto se tiene la opción de recurrir a los requerimientos de diversas metodologías que pueden ser agrupadas desde dos perspectivas: la descriptiva y la prescriptiva. En cualquiera de estas categorías se contemplan actividades de validación del prototipo. La validación utilizada en este artículo se basa en modelos digitales que corresponden tanto al producto en sí mismo como al molde que permite su fabricación. Esto es posible porque dentro de la arquitectura de los *software* CAD se presentan herramientas que permiten prever dificultades de desmoldamiento durante la manufactura y/o de posterior ensamblaje entre las partes que lo constituyen. Además, cuando el diseño es respaldado por un equipo multidisciplinario, ciertas tareas de validación sobre un prototipo físico pueden ser anticipadas o incluso prescindibles debido a que se conjuga la experiencia en producción con aquellas ayudas.

En este artículo se presenta un ejercicio de diseño de producto, que es netamente teórico y que inició como un proyecto académico para graduación que, sin embargo, sintetiza y compila toda la complejidad de dicho oficio, así como una metodología prescriptiva donde se hace uso de criterios paramétricos y que incluye la validación digital sobre el análisis de manufacturabilidad y el diseño para modularidad.

Palabras clave: Manufacturabilidad, CAD, prototipado digital, diseño de producto.

Abstract

In order to implement the design of a product it can resort to the requirements of various methodologies that can be grouped from two perspectives: the descriptive and the prescriptive. In either category, prototype validation activities are contemplated. The validation that will be used for this article is based on digital models that correspond to both the product itself and the mold that allows its manufacture. This is possible because within the architecture of CAD software presents tools that make it possible to foresee difficulties in unmolding during manufacturing and / or in subsequent assembly between the parts that make it up. In addition, when the design is supported by the know-how of the designers, certain validation tasks on a physical prototype can be anticipated or even dispensed with due to the fact that experience in production is combined with the aids presented by these softwares.

This article presents a purely theoretical product design exercise that began as an academic project for graduation, which nevertheless synthesizes all the complexity of job as well as a prescriptive methodology where parametric criteria are used and that includes validation on the manufacturability analysis and design for modularity.

Keywords: Manufacturability, CAD, digital prototype, product design.

Introducción

El proceso de diseño de un producto se puede conducir entre los requerimientos de diversas metodologías que pueden categorizarse a través de dos visiones epistemológicas: descriptivas y prescriptivas.¹ En cualquiera de esas metodologías que se escoja existen recomendaciones de actividades de validación del prototipo. Debido al bagaje de conocimiento personal de los autores, se sigue un tipo de metodología prescriptivo, puesto que en esta metodología aparecen parámetros de diseño y de manufactura que están relacionados indirectamente con el análisis de los procesos.²

Posteriormente, la validación que será utilizada en este ejercicio teórico se basará sobre prototipos digitales que corresponden a la representación tanto del producto en sí mismo como al molde que permite su fabricación. Esto es posible porque los *software* CAD presentan herramientas que permiten anticipar dificultades de ensamblaje y de desmoldamiento. Además, como ya se ha escrito, el proceso de diseño es respaldado por la experiencia y el conocimiento de los diseñadores, lo que permite conjugar ese bagaje con las utilidades digitales.

Con el uso de herramientas informáticas realizada sobre archivos desarrollados en un *software* CAD se sintetiza toda la complejidad del diseño de producto, así como una metodología donde se hace uso de criterios de diseño paramétrico³ y que concluye con la validación sobre el análisis de manufacturabilidad y de modularidad del producto.⁴

El estudio del producto escogido constituye una ampliación y profundización de un ejercicio académico de diseño de producto realizado en 2018, y en este artículo se exterioriza la normativa que secunda los procesos de producción para lograr productos intercambiables, así como la filosofía subyacente para la producción en serie que en última instancia determina la factibilidad técnica y económica.

Metodología de análisis y validación del producto

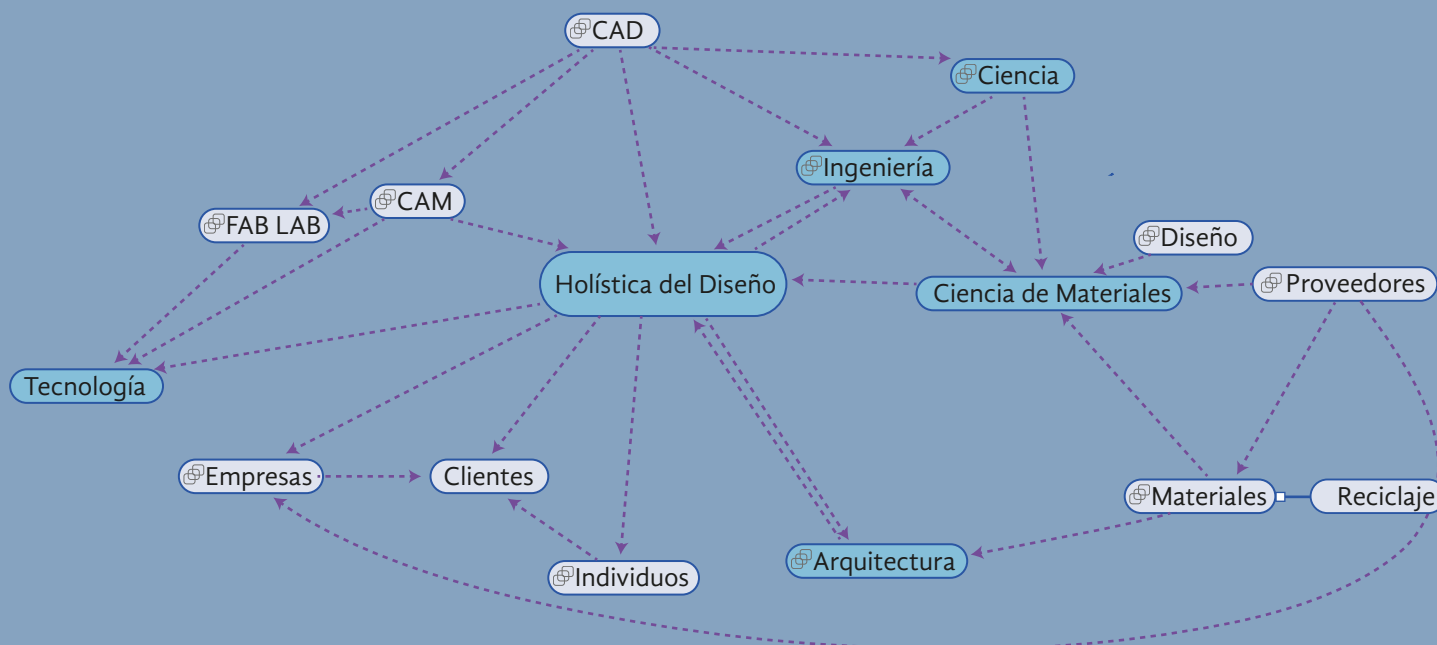


Figura 1. Holística del diseño de producto.⁵

El diseño de producto es entendido dentro del sistema económico actual como una profesión interdisciplinaria cuyas coincidencias se presentan tanto con otras profesiones de tipo técnico, como la ingeniería y la arquitectura, como con una profesión humanística como es el diseño.⁶ Esta visión incluso puede plasmarse en un flujo caótico de ideas, conocimientos, recursos y profesionales según se grafica en la figura 1, que constituye un recordatorio de la teoría del caos.⁷ Es así que existe un sinnúmero de metodologías de diseño de producto

propuestas desde sus vertientes teóricas⁸ que, sin embargo, se sintetizan en las siguientes operaciones fundamentales: concepto, desarrollo y validación.⁹

Dentro del concepto se empieza con la definición de los parámetros principales del producto y con base en ellos se buscará la forma de la llave. Se entiende por llave un adminículo de metal, polímero o madera que permita la circulación de agua cuyo flujo se controla a través de una válvula. Para el desarrollo del producto se apoya en el análisis de operaciones de fabricación.

Esta parte del estudio se fundamenta en el análisis de la geometría de la forma y mientras se desarrolla se evidencian algunas características que configuran el diseño de detalle.

A lo largo del texto se muestra una secuencia gráfica del proceso de diseño y desarrollo digital de la llave.

Finalmente, se analizará una de las tareas de validación y es la que se basa en las posibilidades de fabricación en el molde y en el posterior mecanizado del producto obtenido, es decir, la manufacturabilidad. Se debe notar en este caso que las metodologías que se aplican al diseño de producto se representan de manera lineal, pero su realización no es necesariamente así. Algunas actividades se pueden llevar a cabo en paralelo, a veces convergen, a veces divergen y no es raro que se produzcan lazos de retroalimentación, tal como se observa en la figura 2.

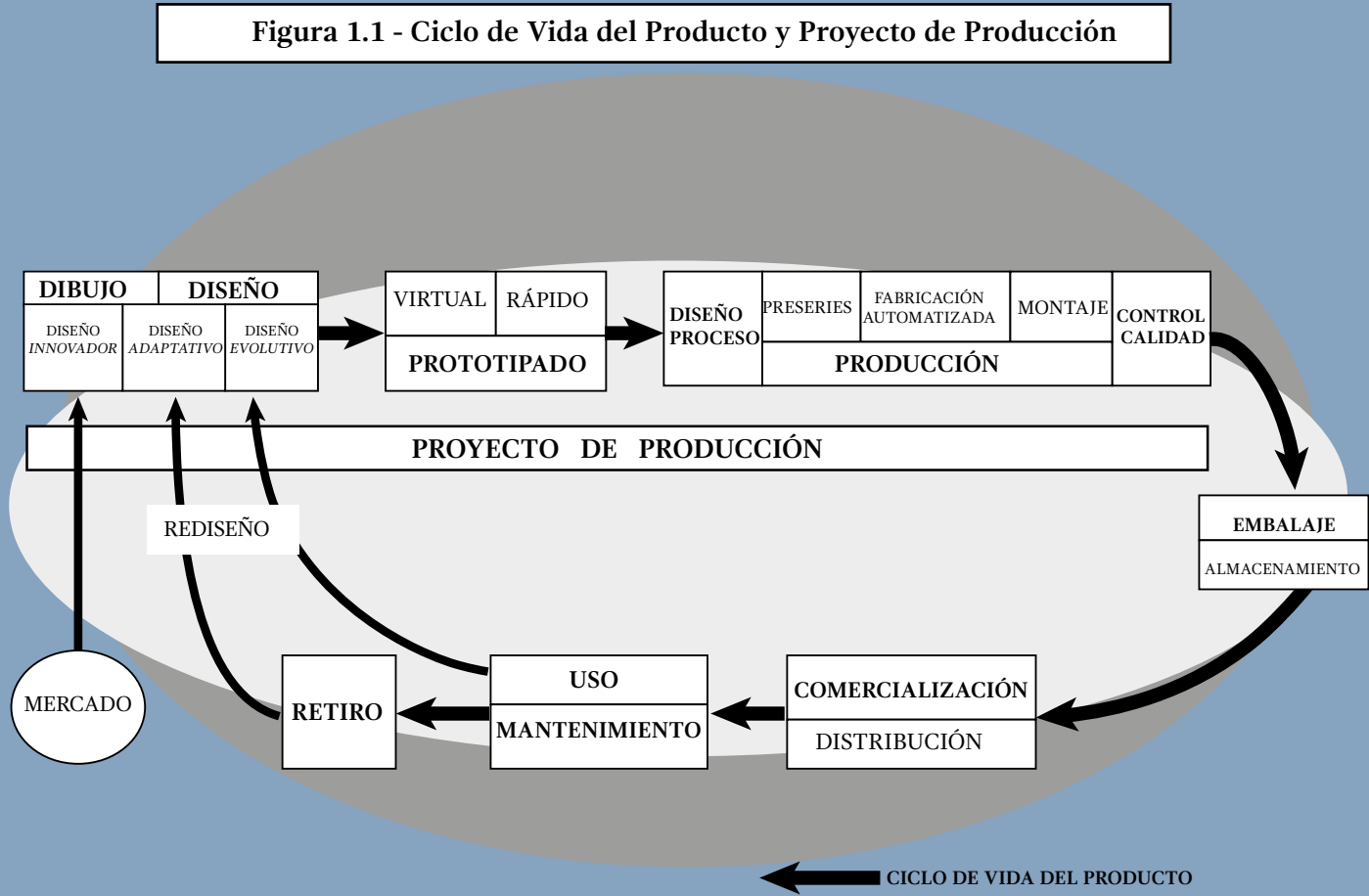


Figura 2. Metodología de diseño de producto según Capuz.¹⁰

Sin pretender establecer una nueva metodología de diseño, y más bien, en el sentido de mejorar el impacto de comprensión del estudio de caso escogido, se plantean las siguientes tareas operativas¹¹ hasta obtener el concepto de la forma que permita definir la geometría de la llave para lavatorio:

- Definición de atributos de diseño,
- Acoplamiento de la geometría de la forma a los parámetros dimensionales del producto.
- Selección de material del producto.¹²
- Selección de proceso de manufactura que permita modificar el material seleccionado.
- Análisis de manufacturabilidad dentro del proceso de manufactura.
- Validación del diseño del molde.¹³

A continuación se detallan las implicaciones de cada una de estas operaciones.

Definición de los parámetros principales de la llave

Básicamente una llave de grifería es un tubo: un sólido geométrico que permite el flujo de agua, el cual es controlado por medio de una válvula emplazada en el correspondiente diseño interno del grifo, más otros accesorios como sellos, cortachorro (*aerator* en la figura 3), neplós (niples o mangueras) y manijas de accionamiento. Con el fin de lograr su funcionamiento como un sistema sus parámetros son definidos mediante la norma técnica NTE INEN 968:2013 (Norma Técnica Ecuatoriana Instituto Ecuatoriano de Normalización), que a su vez está referenciada en la norma ASME A112.18.1-2005.¹⁴

Para adaptarse a los objetivos de este ejercicio teórico se prescindirá del modelamiento completo del grifo en cuanto a sus secciones internas, sus alojamientos de válvulas y sellos, y sus conexiones a la alimentación principal (a través de los neplós). De las recomendaciones de ASME sólo se tomará el parámetro E y se hará inferencia del parámetro C.

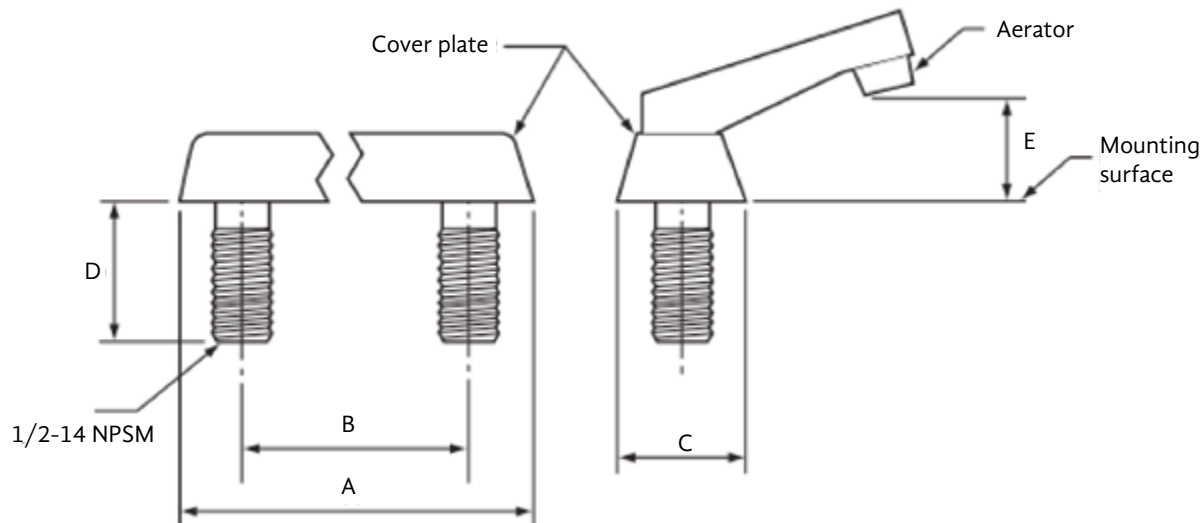


Figura 3. Parámetros para diseño de grifería (llaves) según ASME y CSA.¹⁵

Búsqueda de la forma de la llave de grifería

Como se lo había anticipado en este artículo el estudio de caso se especifica solamente en la llave de grifería. Sin embargo, para asegurar su funcionalidad y su ensamblaje se consideran las dimensiones de acuerdo con esas necesidades. En la figura siguiente se pueden observar los componentes de este producto.¹⁶

Una vez que se establecen las definiciones de normalización y funcionalidad de la llave se la genera a partir de una sección transversal cuadrangular. Enmarcados en las restricciones que sugieren las normativas citadas se infieren las dos dimensiones básicas E y C. Debido a que todo el modelado está hecho bajo preceptos paramétricos la corrección y actualización de estas dimensiones permite ajustar las medidas definitivas de la llave durante cualquier tiempo del proceso de diseño.

Por otra parte, si se usara una sección transversal circular, no se podría lograr la composición visual en el *software* que muestre el efecto de torsión en el tubo como si se logra con la llave de sección transversal cuadrangular.

Con el fin de lograr la definición de la forma se debe usar *software*. Los *software* CAD se pueden dividir en dos categorías. Una corresponde a las de tipo no paramétrico entre las que se puede nombrar a Rhinoceros y a Blender. La otra categoría es la de los *software* de arquitectura e interfaz paramétrica, de amplio uso en ingeniería: CATIA,¹⁷ Inventor,¹⁸ Solid Works, Fusion. Para diferenciar entre estas dos categorías se hará un análisis simplificado: se puede adaptar una metodología de diseño paramétrico para obtener con Rhinoceros un producto de ese concepto, o si no, con una aplicación (*plug and play*) que contenga un algoritmo de parametrización, como puede ser Grasshopper.

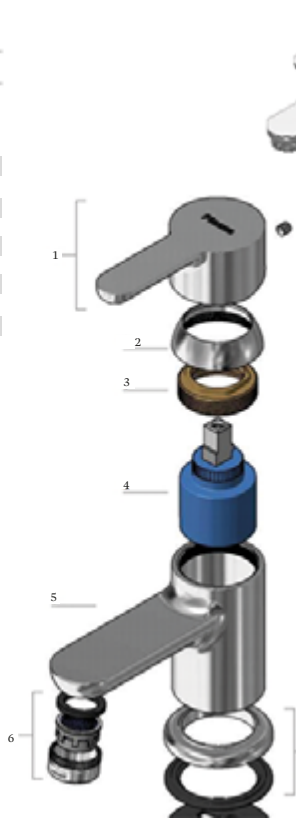
Para este documento se utilizan CATIAV5r21¹⁹ e Inventor debido a la experticia personal en cuanto a su aplicación y porque en esos *software* se plasmó la búsqueda de forma innovadora del producto llave.

Emblem

Lavatorio mesada pico fundido

CODIGO: 10000

Item	Descripción	Código
1	Manija Emblem	PS18
2	Capuchón	PS17.2
3	Tuerca	PS17.3
4	Cartucho cerámico 035mm doble Slep	R501
5	Cuerpo lavatorio Emblem	PS17
6	Alineador - Porta boquilla M24 - sello goma	R342.1
7	Anillo decorativo - sello goma	R626.1
8	Set de fijación	R626.2
9	Par de flexibles M10x1 (Largo: 35cm)	R504
10	Descarga lisa	R306



Activar

Aplicación del diseño paramétrico para el diseño de la llave

La propia arquitectura de programación e interfaz de los *software* CATIA e Inventor induce a un diseño de tipo paramétrico²¹ donde el modelador proyecta los parámetros planteados en los atributos de diseño y regulados por las normas de estandarización. Es lo que se denomina “captura de la intención del diseño” dentro de la filosofía de los tipos de *software* utilizados.²² (figuras 5 y 6, página siguiente).

Aunque la interfaz con el usuario puede presentar sutiles diferencias entre los *software*, la forma de ejecutar y los resultados que se obtienen son similares. Por ello las gráficas que ilustran la metodología para obtener la forma son de CATIA, porque la geometría que se muestre será similar a la que se obtenga en Inventor (figura 7, página siguiente).

Figura 4. Componentes de una llave de grifería.

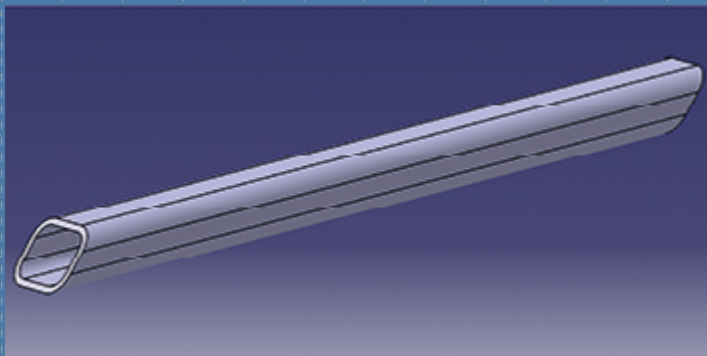


Figura 5. Búsqueda de la forma, desarrollado por Patricio Jácome en CATIA.²⁰

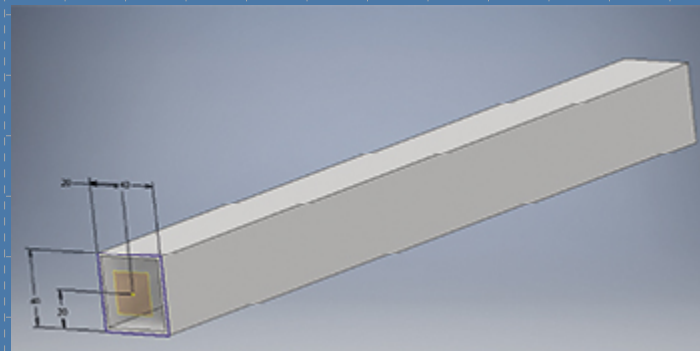


Figura 6. Búsqueda de la forma, desarrollado por Patricio Jácome en Inventor.

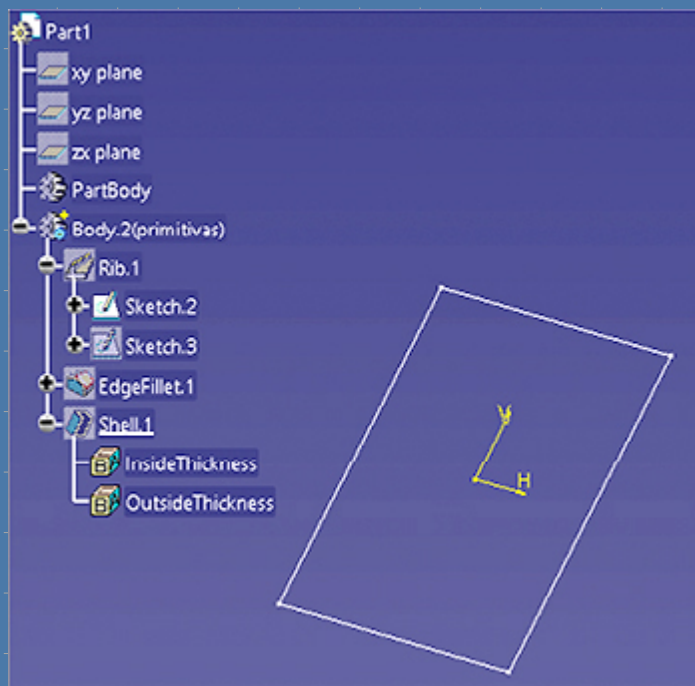


Figura 7. Base cuadrangular en el sketch 2.²³

En la figura 7 se muestra la parametrización del perfil cuadrangular que restringirá²⁴ la sección transversal de la llave que en este artículo se denominará No. 1.

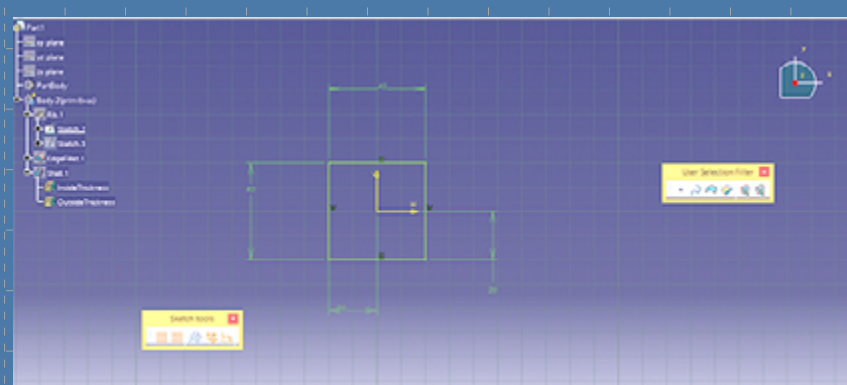
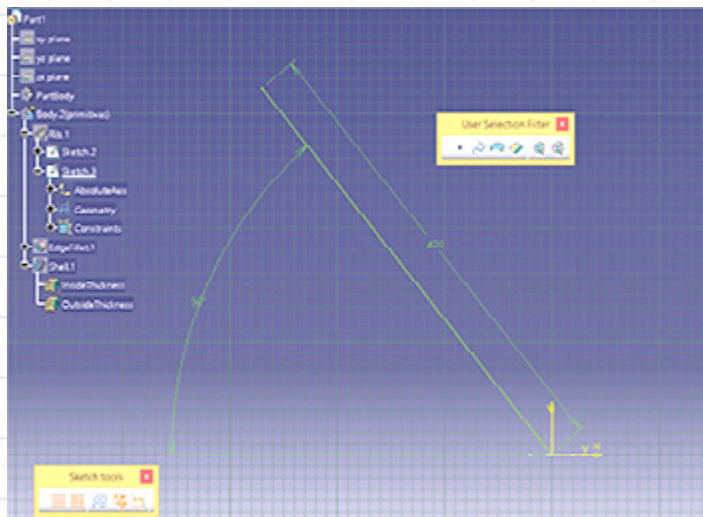


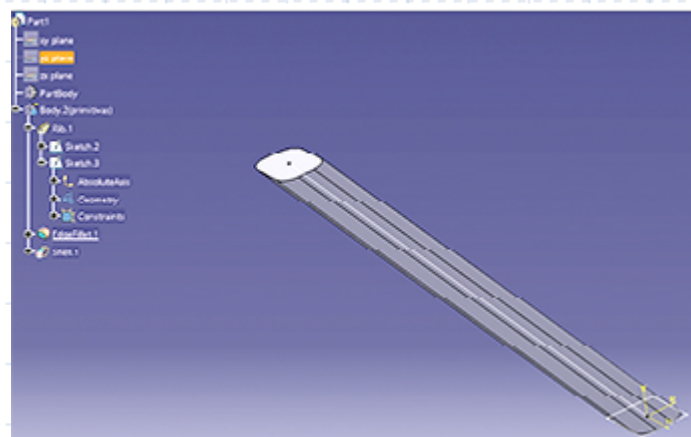
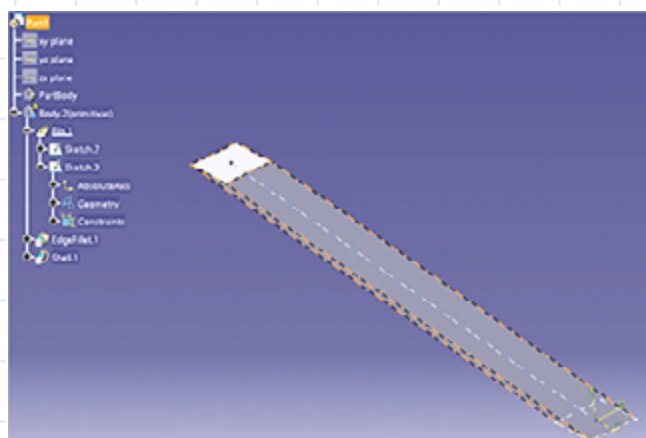
Figura 8. Parametrización en el sketch 2.²⁵

A continuación se trazan las características geométricas del eje longitudinal de la llave. Este eje se usará como la espina (*spine*) y es el elemento que guía la proyección de la base cuadrangular graficada en el *sketch 2*. Esta secuenciación de planos se realiza con una herramienta denominada extrusión. La fundamentación teórica de la extrusión digital se refiere a planos seriados según Wucius Wong²⁶ (figura 9, página siguiente).

En seguida se muestra el conjunto de las curvas primitivas que en inglés se llaman *wireframe* (estructura de alambre) y que son fundamentales en los resultados de parametrización que se obtendrán al final de esta metodología, (figura 10, página siguiente).

Figura 9. Trazo de la espina en el sketch 3.²⁷

En este punto es necesario una digresión respecto a un objetivo de los *software* de tipo paramétrico, los cuales buscan elaborar un modelo digital con características de sólido sin la necesidad de realizar previamente un modelo con superficies. Sin embargo, esta situación puede resultar más complicada cuando se hace diseño con formas orgánicas, por lo que podría ser necesario primero conseguir la convergencia del trazo de las superficies. Para el análisis de este texto se tiene un diseño de la llave con formas minimalistas, es decir, geométricas, por lo tanto, es un producto con características de sólido para el archivo.

Figura 10. Sistema de curvas primitivas.²⁸Figura 12. Generación de redondeces.³⁰Figura 11. Extrusión.²⁹

“...puede resultar más complicada cuando se hace diseño con formas orgánicas...”

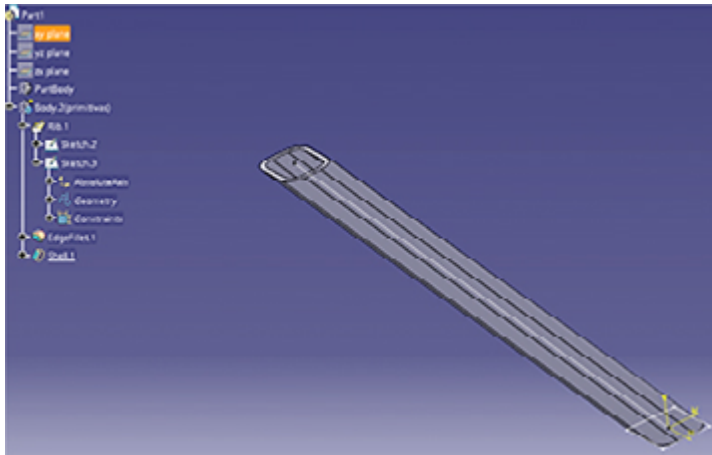


Figura 13. Geometría básica para la llave No. 1.³¹

Para hacer una transformación paramétrica sobre la llave No. 1 se incluye una nueva sección transversal en el sketch 4, y para ello se genera un plano más, es decir, se tienen dos planos normales a la espina en los extremos de la misma.

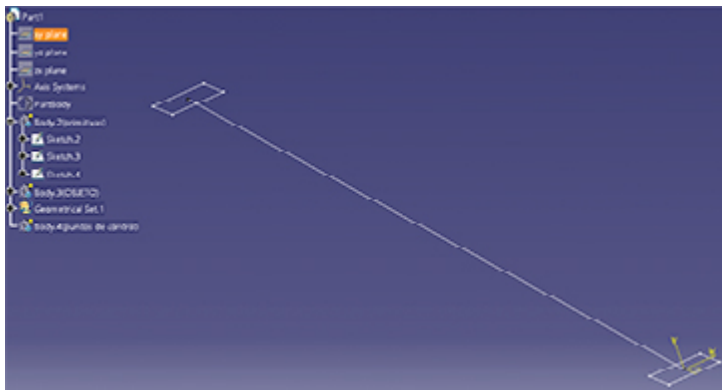


Figura 14. Generación de geometría en el sketch 4.³²

Además, se agrega el punto 3 sobre el cual actuará una tensión de tipo geométrico, en este caso es análogo a la fuerza que generará la posterior torsión alrededor de la espina de todo el sólido que se obtenga. Esta tensión se aplica al momento de aplicar la herramienta MULTISECTION (*Closing Point* 2 sobre la sección representada en el sketch 4), (figura 15).

La figura 16 es el resultado obtenido con CATIA. Y la siguiente figura se logró con Inventor. En el caso de CATIA se



Figura 15. Geometría para la llave No. 2.³³

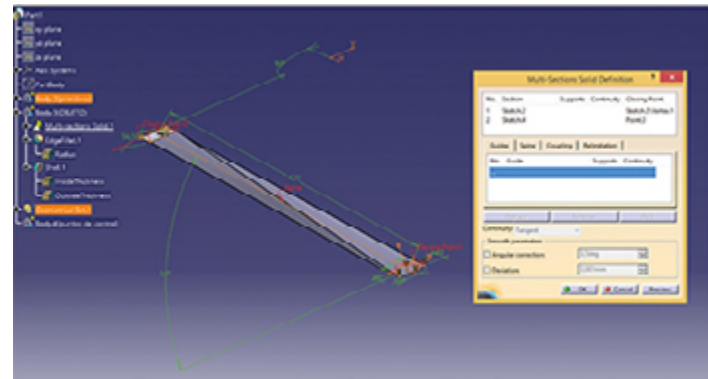


Figura 16. *Closing point* de la extrusión.

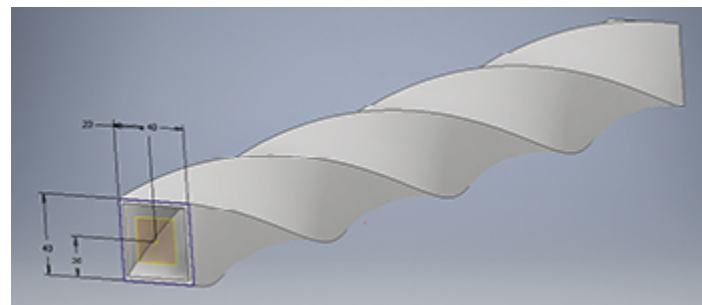


Figura 17. Aplicación del parámetro TWIST de la herramienta SHELL.

usaron herramientas en que el diseño se va estructurando paso a paso. Mientras que en Inventor se escogieron parámetros dentro de una sola herramienta.

A continuación, una visión ampliada de la imagen de la figura 16, con el objetivo de mostrar las propiedades geométricas que se están implementando para obtener la extrusión, luego de aplicar una carga de torsión.

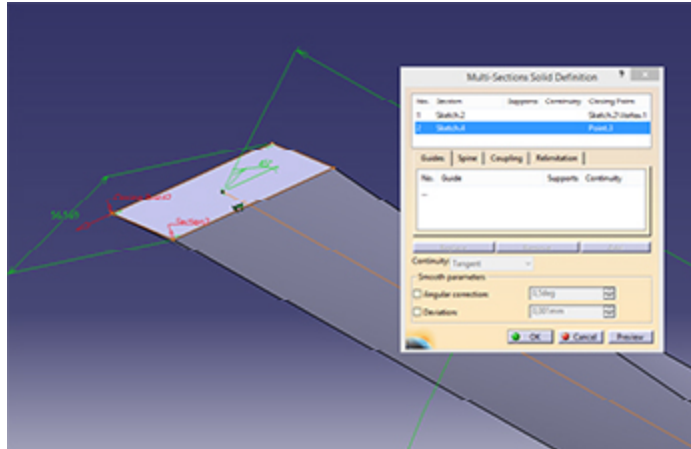


Figura 18. Ampliación que muestra el *closing point* (*Closing Point 2*) que genera la torsión.³⁴

Como se observa en la figura 18, en el *software* se produce la torsión solamente debido a aplicaciones geométricas directamente durante el modelado digital, esto se debe a que esta transformación es el resultado del algoritmo que es parte de la arquitectura de programación del *software*, soportado en C++, que es el lenguaje base en el caso de CATIA. Este algoritmo es conocido como *script* dentro de la jerga de los métodos numéricos.

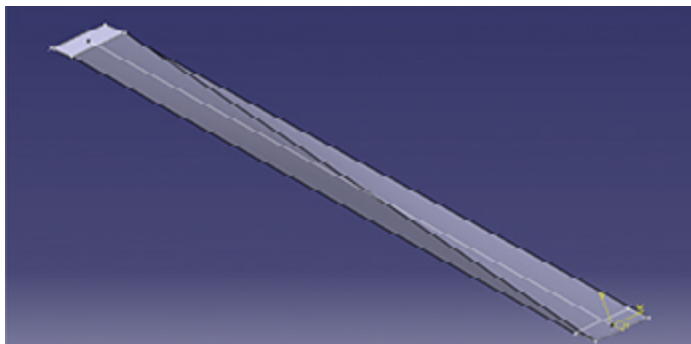


Figura 19. Sólido para la llave No. 2.³⁹

Luego, para cualquier *software* de tipo paramétrico se aplican las mismas herramientas que se usaron para obtener las definiciones de la llave No. 1: *fillet* y *shell*. Con *fillet* se redondea la superficie principal del sólido obtenido, es decir, se le da continuidad a la superficie. Y con *shell* se vacía el interior para producir la forma deseada del tubo propuesto.

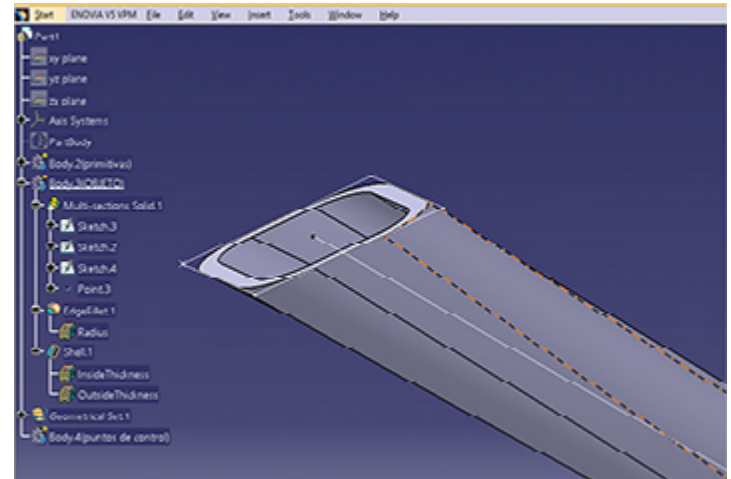


Figura 20. Visión ampliada del sólido de la llave No. 2.³⁶

A continuación, se siguen actualizando los parámetros del sólido obtenido con el objetivo de obtener una superficie cuya topología no tiene convergencia. Es decir, si se aplica el *closing point* en el punto inmediato siguiente se obtiene una torsión de la llave cuya producción digital se hace imposible, según se muestra en la figura 21.

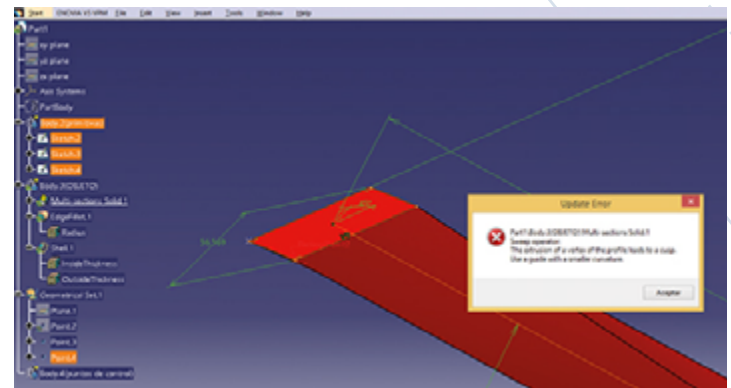


Figura 21. Ampliación del resultado.³⁷

La topología deseada es imposible desde el punto de vista matemático, puesto que la torsión de este sólido no puede ser representada al nivel de tensión planteado, porque en el plano transversal ubicado en la mitad del eje longitudinal de la llave (*spine*), el sólido se transforma en un punto, es decir, las tres dimensiones se convierten en una sola.³⁸

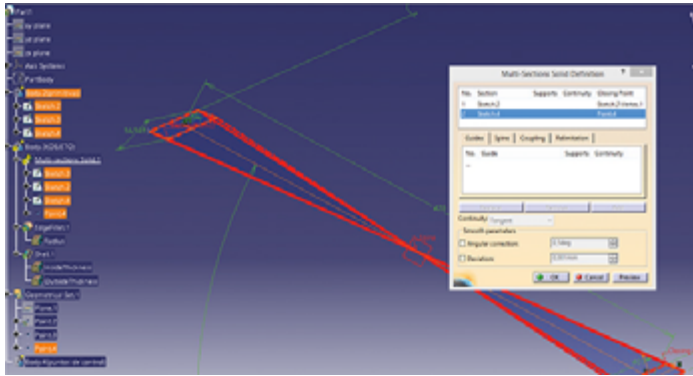


Figura 22. Resultado exagerado de la torsión.³⁹

De esta manera se demuestra cómo las herramientas digitales muestran los límites que la parametrización tiene, justamente por el origen matemático de la metodología paramétrica y del *software* que se ha utilizado para plasmar la búsqueda de la forma.

Comentarios respecto a la búsqueda de la forma de la llave de grifería

Este artículo es una ampliación de la tesina de Valeria León y Michelle Meneses,⁴⁰ y se muestra la metodología de diseño de la llave de grifería solamente hasta el nivel de búsqueda de la forma, eso sí, considerando parámetros de funcionalidad final. La definición de su forma definitiva considerando sus componentes, es decir, el ensamble completo puede ser motivo de otra publicación. Aquí el objetivo es presentar la validación de la forma por medio de un análisis de su fabricación o manufacturabilidad, así como del ensamble posterior de los accesorios.

Validación a partir de la manufacturabilidad

Los sistemas de manufactura contemporáneos influyen directamente la posibilidad de diseño del producto, y el objetivo de este artículo es sustentar este aserto. Por tal razón

se mostrará primeramente los pormenores de la manufactura de llaves de grifería.

Producción de grifería

En primera instancia, la decisión para escoger el proceso de producción de una llave de grifería está sustentada preeminentemente en el mercado potencial de usuarios y clientes que pueden adquirir ese producto dentro de una línea de grifería determinada. Esto quiere decir que ya ha sido decidido el nombre de la familia de productos, sus acabados y los productos que la componen y que podrían ser: lavatorio, ducha, llave bidet, llave tina, llave para cocina y accesorios, entre otros. Dentro de este marco de decisiones signado por el departamento de *marketing* también ya se ha seleccionado el mercado objetivo, los pronósticos de venta, su sistema de mercadeo y, por ende, el precio de venta al público.

Bajo la consideración de los atributos de diseño anteriores se determina el proceso de manufactura para la llave de lavatorio.

Continuando con este análisis, de manera inferencial y considerando el mercado de Ecuador y su tamaño (partiendo del potencial de un millón de compradores de clase media), y además sustentado en la experiencia de manufactura de moldes, se puede establecer que la línea base para la manufactura de un molde para producir una llave mediante fundición por colado está en mil unidades (0.1% del mercado potencial). Esta línea base marca el origen donde es atractiva la producción de una llave de grifería desde el punto de vista financiero para planificar la elaboración de un lote de producción piloto o de prueba. Esta línea base se establece en función de una serie de indicadores donde se interrelacionan la manufactura y las finanzas, entre los cuales se puede mencionar: punto de equilibrio, costo del molde como activo, hora de producción del molde, lucro cesante debido a postergar una producción ya programada de llaves de grifería, lucro cesante por postergar el mantenimiento o la fabricación de un nuevo molde, costos de promoción del nuevo producto.⁴¹

Aquí ya se puede indicar que se ha elegido el proceso de fundición por colado en un molde permanente para obtener la llave que se está analizando. Entre las razones para aplicar este proceso de manufactura se tiene que:

- El mercado de clase media de Ecuador no tiene la tendencia de adquirir grifería fabricada con polímeros.

- El proceso de producción de grifería por medio de forja⁴² (estampado de latón) aún no está desarrollado para que produzca la ganancia programada para una fábrica de producción.
- El costo de fabricación de un molde para pruebas de fundición es relativamente bajo respecto a otros procesos.

Para sustentar estos asertos, a continuación se comenta sobre datos obtenidos de sondeos de mercado que se han venido realizando desde el 2013 en Ecuador y Sudamérica. Así, un molde de pruebas para fundición por colado manual no llega a costar más de 300 dólares incluido el protocolo de pruebas hasta optimizar sus oportunidades de mejora y obtener el número de productos buenos para producción arriba de 90% por cada lote. Un molde ya optimizado y para el mismo proceso de producción puede llegar a costar máximo 500 dólares. En ambos casos se usa acero A36 y su manufactura se hace en una máquina CNC de 3 ejes.⁴³ Si se ha decidido usar el proceso de fundición automatizada, es decir, el movimiento de los moldes y su llenado de metal fundido se controla por automatización industrial (en este caso, el proceso de fundición a baja presión), llega a fabricarse el molde por un total de 3 000 dólares considerando el material utilizado: aleación de cobre-berilio, fabricación con CNC de 3 ejes y costo de hora/hombre para operaciones de matricería.

Simulación del proceso de inyección

Con el objetivo de comparar estos costos de fabricación de matricería para fundición respecto al costo de un molde para inyección de plástico⁴⁴ (para estas llaves se debe considerar como materia prima el ABS, acrílico-butadieno estireno, por las posibilidades de recubrimiento de cromo)⁴⁵ que en el país se puede llegar a fabricar por 20 000 dólares y en Portugal e Italia pueden llegar a costar 50 000 dólares para un molde de dos cavidades, considerando que la cavidad para el caso de esta grifería de plástico serían 300 gramos aproximadamente por cada llave.

Se debe comentar que en el caso del diseño y desarrollo de moldes para inyección de plástico no es posible hacer moldes de prueba con la tecnología disponible actualmente en el Ecuador, debido a que alcanzaría precios prohibitivos no acordes a su realidad macroeconómica. Por ello, si se hiciera un análisis de costos apropiado (análisis basado en costos o ABC, que implica un análisis metodológico de procesos), los costos involucrados en la validación digital de un producto, incluido el análisis de manufacturabilidad, son muchísimo más bajos que una validación de un proceso *in situ* o de campo, es decir, fabricando un molde de pruebas. Aun considerando los costos de curva de aprendizaje de un *software* y del proceso sometido a análisis, así como los honorarios profesionales de los expertos en producción y modelos digitales (precios internacionales entre 50 y 100 dólares la hora, dependiendo de la experticia buscada), el análisis digital sigue siendo más barato. Pero como se dijo anteriormente, para el caso de la inyección de plástico, su matricería (diseño, desarrollo, manufactura y validación) adquiere precios elevadísimos en relación con cualquier otra matricería debido a los activos involucrados: CNC (Computer Numerical Control) de 4 y 5 ejes, metrología con CMM (Coordinating Measurement Machine), aceros especiales (aleaciones de cromo, molibdeno, vanadio), herramientas de mecanizado (tungsteno), partes y piezas del moldeo, la máquina de inyección.

Por otra parte, existe la posibilidad de manera alternativa utilizar la simulación del llenado basada en elementos finitos. Por el lado de la simulación de procesos de manufactura, el producto con mayor cantidad de licencias en Ecuador es el *software* Moldflow de Autodesk. En el país no ha habido interés por parte de la empresa privada de adquirir un producto similar para algún proceso de fundición de metal.

Posibilidad de manufacturabilidad

Planteado el contexto de manufacturabilidad se puede realizar la comparación entre la llave No. 1 y la llave No. 2. La siguiente imagen muestra la llave No. 1:

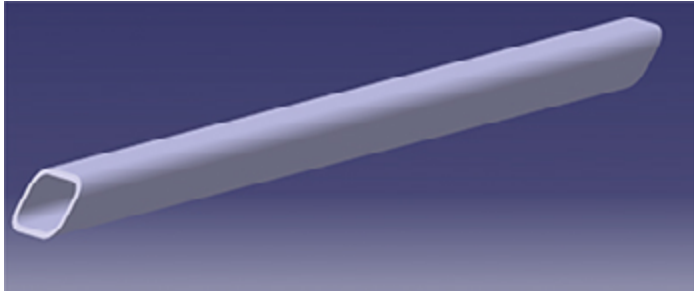


Figura 23. Llave No. 1.⁴⁶

Debido a que se ha decidido realizar la llave de grifería en molde es importante manifestar las siguientes condiciones:

- Se ha establecido el plano de partición considerando la simetría longitudinal del objeto.
- Para el análisis de desmolde sólo es necesaria su forma externa, por lo cual se desactiva la opción de *shell*.
- No se incluyen accesorios para lograr la fundición en el molde: canales de alimentación, mazarotas (puntos de absorción de rechupes, poros y gasificación), vertederos, salidas de gases.
- Por la hipótesis propuesta dentro de este proyecto de documentación, aquí no es relevante incorporar el factor de contracción en este caso del latón,⁴⁷ ni sobremedidas para desmolde ni para mecanizados de ensamble.
- Debido a las características del análisis (es decir, de análisis de forma), tampoco se consideran las dimensiones para transferencia de calor debido a la conducción de agua caliente.⁴⁸

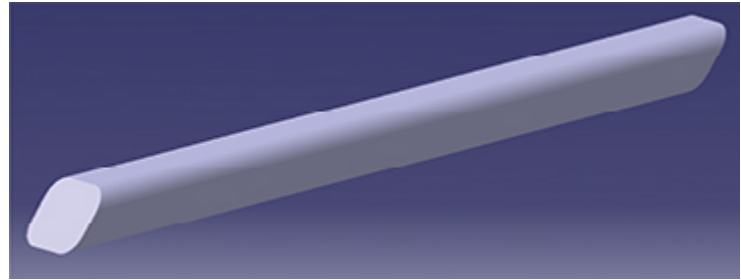


Figura 24. Simplificación de geometría.

Dada la forma del modelo que se obtiene luego de someter a una transformación paramétrica la llave, no es relevante para propósitos de análisis de desmolde la consideración de sus extremos. Es decir, aunque uno de sus extremos presenta retención en el molde, se analizará la retención en el resto de la superficie.

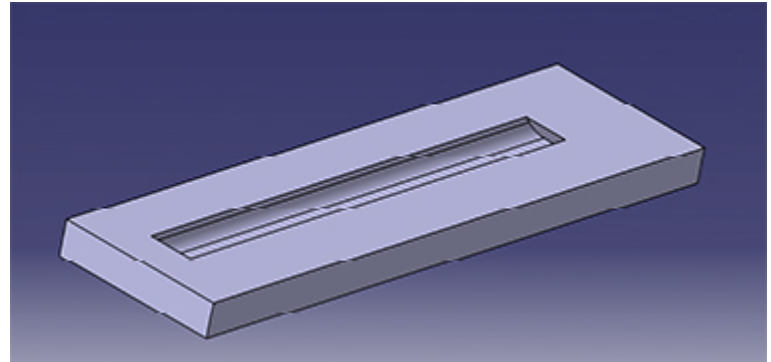


Figura 25. Molde de la llave No.1.⁴⁹

“En el país no ha habido interés por parte de la empresa privada de adquirir un producto similar para algún proceso de fundición de metal.”

En el *software* CATIA se aplica la herramienta *DRAFT*, es decir, de desmolde, la cual permite analizar de forma visual e intuitiva las zonas de retención o el ángulo negativo que impedirá el desmolde del objeto. Para la llave No. 1 se obtiene esta imagen:

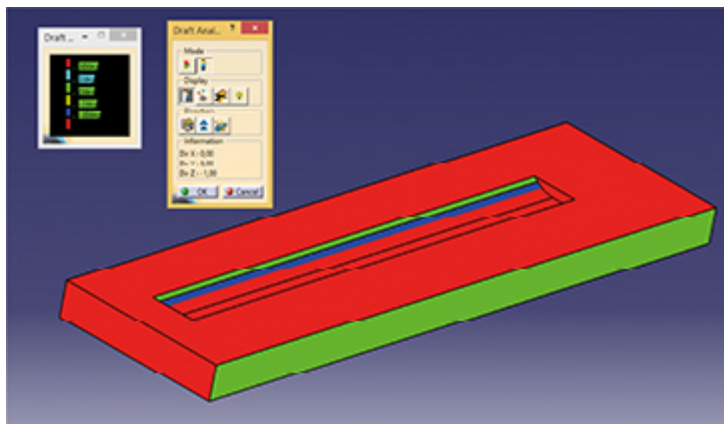


Figura 26. Análisis de retenciones en el molde de la llave No. 1.

Se habla de presentación intuitiva puesto que a través de una métrica acompañada de una escala de colores se analiza el desmolde de un objeto. En este caso los datos presentan valores positivos y negativos para indicar las retenciones positivas y negativas respectivamente.

La franja azul y la verde adyacente (dentro de la forma de la llave) indican una zona de retención, la cual es previsible a partir del diseño de la llave, puesto que es perpendicular al plano de partición. Esta situación se resuelve a partir de las recomendaciones de ingeniería de manufactura, lo cual lleva a agregar un bisel con una inclinación a decidir entre 3 y 5 grados en las dos caras laterales de la llave. Una vez fundido el objeto, éste es mecanizado en una máquina de revolución normal a estas caras con el fin de extraer el material extra y lograr la perpendicularidad entre las cuatro caras del mismo.

Hasta aquí se ha realizado el análisis de desmolde de la llave No. 1. La segunda opción se enmarca también dentro del criterio de búsqueda de forma, y como se vio en párrafos anteriores, si de manera digital a la llave No. 1 se le somete a un sistema externo que incluya una carga de torsión en uno de sus extremos, mientras el otro permanece fijo, es decir, con un anclaje de grado de libertad cero, se obtiene la llave torsionada

que presenta su estrangulamiento mayor en el plano transversal ubicado en el medio de su eje longitudinal.

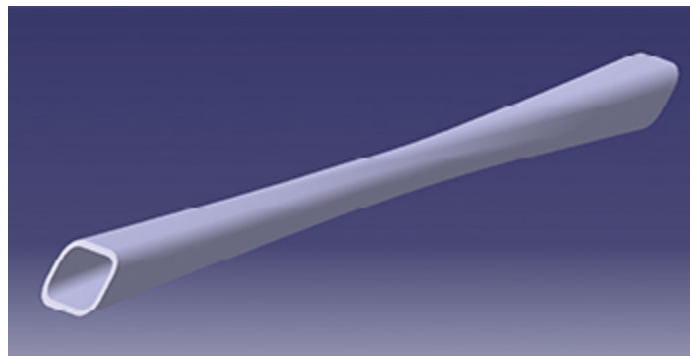


Figura 27. Prototipo digital de la llave No. 2 obtenido a partir de una torsión.

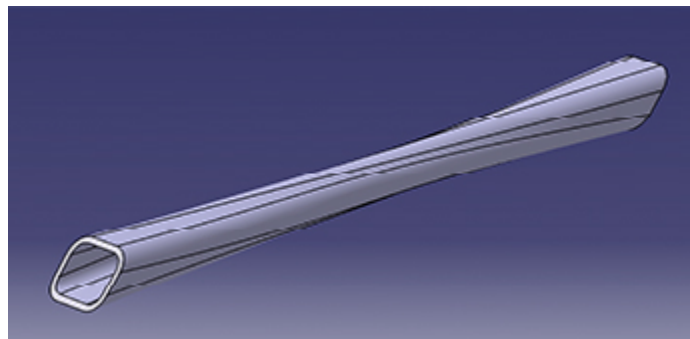


Figura 28. Prototipo digital de la llave No. 2 con isoparamétricas.

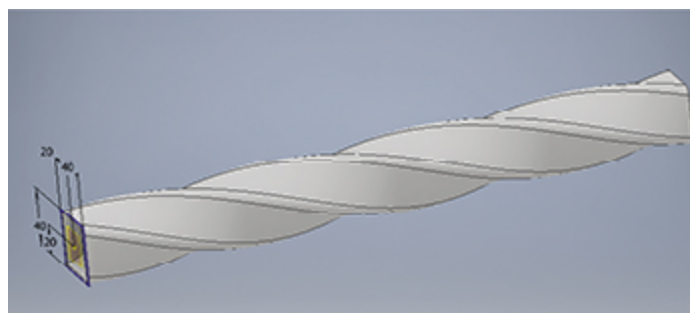


Figura 29. Prototipo digital de la llave No. 2 con isoparamétricas.

El resultado obtenido en la forma de la llave de grifería es la misma que si se le aplicara una carga de torsión al objeto físico.

Por motivos de visualización se le añaden algunas curvas isoparamétricas de tipo longitudinal (figuras 28 y 29).

Bajo las mismas consideraciones que la llave No. 1 se modela el molde de la llave No. 2 y el resultado se muestra en la siguiente imagen:

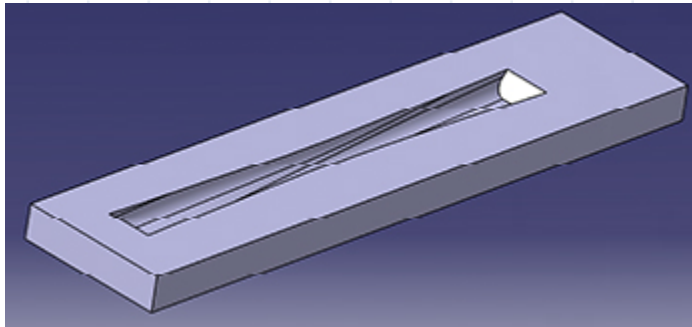


Figura 30. Molde para la llave No. 2.

Si al modelo anterior se le aplica el análisis *DRAFT* de CATIA se obtiene la siguiente imagen:

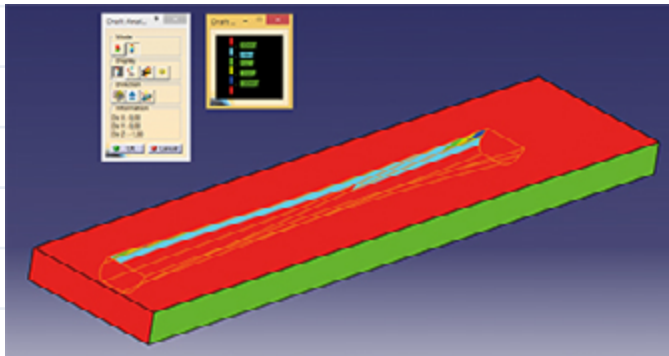


Figura 31. Análisis de retenciones de la llave en el molde.

En la figura 31, la zona de retención se presenta mucho menor y son las pequeñas zonas pintadas de amarillo y azul. Sin embargo, su incidencia es mayor porque son retenciones negativas. El valor más alto es para la pequeña franja azul que indica menos 20 grados, y a continuación una banda amarilla de menos dos grados y finalmente una retención neutra señalada con color verde. Igual que para la llave No. 2 se pueden agregar biseles para compensar estas retenciones y así lograr el desmolde usando un molde rígido. Desde el punto de vista de producción

en serie, la solución de agregar biseles para permitir el desmolde de la llave No. 1 es improcedente para la llave No. 2, puesto que no es funcional aplicar una sucesión de biseles en una llave sólo para lograr su desmolde. Esto por un lado y siempre basados en el análisis de manufacturabilidad.⁵⁰

Por el otro, eliminar esos biseles de desmolde a través del mecanizado implica usar máquinas CNC de 5 ejes o brazos robóticos, lo cual aumenta considerablemente los costos de producción por hora. Para ambos casos el problema más complicado y por ende más costoso se encuentra en la sujeción individual de las llaves con el fin de mecanizar con fresa los excesos de material. Dentro de la sujeción debe haber una operación de preparación extra para sujetar la llave por un extremo y luego por el otro. Aquí cabe señalar que la producción de llaves de estas características implica producciones individuales de alto costo, lo que ubica al producto en el mercado de clase media alta. Para tener una percepción visual de este aserto se hace referencia a la llave con forma de cisne que se muestra en la figura 32.



Figura 32.

En la producción de llaves de grifería de este tipología no sólo se encuentra el problema del mecanizado (la llave No. 2 incluye el problema de desmolde), sino también de pulido y del posterior recubrimiento. El proceso de manufactura de pulido sólo sería posible ser aplicado de manera manual, es decir, no sería posible usar algún sistema de automatización y menos de robotización.

Por otra parte, el recubrimiento no se puede hacer en tina de galvanoplastia, sino en forma individual, pues tiene zonas de sombra⁵¹ (las mismas retenciones que en el desmolde). Además, algo que normalmente no se toma en cuenta es el mantenimiento posterior y, una vez más, son complicadas las zonas de retención pues acumulan grasas, detergentes y agua, y por ende, bacterias y otros patógenos.

Discusión final

En este artículo se han planteado operaciones de validación del diseño de producto, así como dentro del propio desarrollo del producto. A futuro se las puede utilizar para ir creando una metodología sistémica del diseño de producto.

Como estudio de caso se analiza una llave de grifería con el fin de mostrar que la interacción entre actividades creativas y las operaciones de manufactura, estructura una metodología de validación del diseño de producto que ahorra recursos, entre ellos: tiempo de diseño, tiempo de desarrollo, materiales para prototipado físico, cantidad de energía para producir cambios en los materiales.

Es decir, se plantea ejecutar de manera transversalizada cualquier metodología de diseño que se escoja, una filosofía de ingeniería concurrente multidisciplinaria que permita detectar en fases tempranas la factibilidad técnica, y a través de ella la factibilidad económica de la ejecución de un proyecto de diseño.

Con el planteamiento anterior es posible incluir dentro de los equipos de diseño a expertos en procesos de manufactura y con ellos, criterios muy propios de la manufactura y de una complejidad elevada. Esa visión transdisciplinaria acorta los tiempos de diseño y desarrollo, por un lado, y como ya se dijo, permite la optimización de recursos en forma de materia prima, energía, tiempo y conocimiento de mano de obra. Finalmente, estas mejoras se traducen en la disminución del tiempo de lanzamiento al mercado de los nuevos productos y, sobre todo, en la creación de productos que cumplan con los cada vez más exigentes criterios de calidad de clientes y usuarios.

Por otra parte, se muestra la necesidad de implantar de manera sistémica la transferencia tecnológica, que para el caso tratado aquí incluye: la adquisición de *software*, la selección de materiales especiales para moldes, la selección de materiales del producto final, la determinación de acabados y revestimientos para el producto, la experticia desarrollada para procesos de manufactura, la selección de normas de estandarización, la definición del segmento de mercado, el incremento de la pendiente de la curva de aprendizaje de los profesionales respecto a la tecnología de la Industria 4.0.

Además, una llave de grifería como la que en este artículo se llama No. 2, que es resultado de un nivel básico de parametrización, sólo es posible de manufacturar bajo los preceptos de la producción individual o *craftmanship*, es decir, con procesos de manufactura aditiva. Con esto se quiere manifestar que si se tuviera que diseñar productos de tipo paramétrico lo más probable es que la única opción pueda ser un proceso de manufactura aditiva, como por ejemplo: la impresión 3D o la electrodeposición por láser.⁵² En este caso se debe a que ciertas curvaturas de superficie tienen ángulos de trabamamiento que no pueden desmoldarse.

Finalmente, se demuestra que en el estadio del diseño de producto se pueden hacer previsiones para no incurrir en la realización de prototipos, de moldes, de maquetas y demás ítems que aumentan costos y desperdicio de material.

Notas bibliográficas

- 1 Salvador Capuz Rizo (1999). *Introducción al Proyecto de Producción. Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto*. España: Universidad Politécnica de Valencia/Alfaomega.
- 2 Lluís Cuatrecasas (2017). *Ingeniería de procesos y de planta, Ingeniería Lean*. España: Profit Editorial.
- 3 V. León, M. Meneses y P. Jácome (2018). *Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos*. Ecuador, Quito: Universidad de Las Américas.
- 4 Ulrich, K., Tung K. *Fundamentals of Product Modularity Proceedings of American Society of Mechanical Engineers*.
- 5 Tomado de: P. Jácome y C. Valverde. “La Autopoiesis de la Arquitectura como marco teórico para sustentar el uso eficaz de la tecnología en el Diseño de Producto”, en Revista *Latindex Tecnología & Diseño*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- 6 UNESCO. *Áreas y Subáreas de conocimiento de acuerdo a la UNESCO*.
- 7 P. Senge (2010). *La Quinta Disciplina*. Argentina, Buenos Aires: Ediciones Granica.
- 8 Salvador Capuz Rizo (1999). *Introducción al Proyecto de Producción. Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto*. Universidad Politécnica de Valencia/Alfaomega.
- 9 Ulrich (2012). *Product Design and Development*. Nueva York: McGraw-Hill.
- 10 Tomado de: Salvador Capuz Rizo, op. cit.
- 11 <<https://www.youtube.com/watch?v=cWUB-eXis4U>>. EL PRODUCTO Grifería.
- 12 ASM HANDBOOK (2000). ASM International, Estados Unidos, vol. 20, Materials Selection and Design.
- 13 *Ibid.* (1997). International. Estados Unidos, vol. 17: Nondestructive Evaluation and Quality Control.
- 14 ASME A112.18.1-2005/CSA B125.1-05. Plumbing supply fittings. Estados Unidos: ASME, CSA.
- 15 Tomado de: ASME A112.18.1-2005/CSA B125.1-05. Plumbing supply fittings. Estados Unidos: ASME, CSA.
- 16 Disponible en <<https://www.piazzagriferia.com/uploads/c094c77759aa804d97ae78768795ea6b.pdf>>.
- 17 Eduardo Torrecilla Insagurbe (2013). *El gran libro de CATIA*. España: Editorial Marcombo.
- 18 Wasim Younis (2012). *Inventor y su simulación con ejercicios prácticos*. Marcombo.
- 19 M. Michaud (2012). *CATIA Core Tools: Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application*. EUA: McGraw-Hill Professional.
- 20 Tomado de: V. León, M. Meneses y P. Jácome (2018). *Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos*. Quito, Ecuador: Universidad de Las Américas..
- 21 P. Schumacher (2012). *The Autopoiesis of Architecture*, vol. 1 y 2. UK, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- 22 María Gloria de Río Cidoncha (2011). *El libro de CATIA*, vol. 6. Madrid, España: Tébar, S.L.
- 23 V. León, M. Meneses y P. Jácome, op. cit..
- 24 S. Tickoo (2011). *catia V5R21 for Designers*. EUA: CAD/CIM Technologies.

- 25 *Ibid.*, 20.
- 26 Wucius Wong (2011). *Fundamentos del Diseño*. Barcelona: Gustavo Gili.
- 27 V. León, M. Meneses y P. Jácome, *op. cit.*
- 28 *Idem.*
- 29 *Idem.*
- 30 *Idem.*
- 31 *Idem.*
- 32 *Idem.*
- 33 *Idem.*
- 34 *Idem.*
- 35 *Idem.*
- 36 *Idem.*
- 37 *Idem.*
- 38 H. M. Cundy, Rollet (1961). *Mathematical Models*. 2a ed. EUA: Oxford University Press.
- 39 V. León, M. Meneses y P. Jácome, *op. cit.*
- 40 Valeria León, Michelle Meneses y Patricio Jácome (2018). *Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos*. Quito, Ecuador: Universidad de Las Américas. Tesina. .
- 41 ASM HANDBOOK (2000). *ASM International*. Estados Unidos, vol. 20, Materials Selection and Design.
- 42 American Foundry Society. *Casting Copper-Base Alloys*, 2a ed. American Foundry Society.
- 43 R. Thompson (2007). *Manufacturing Processes for Design Professionals*. Londres, Reino Unido: Thames & Hudson. J. Rodríguez M., L. Castro M. y J. C. Del Real R. (2006). *Procesos industriales para materiales metálicos*. España: Visión Libros.
- 44 M. Groover (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: McGraw-Hill Education.
- 45 J. Peña (2009). *Selección de Materiales en el Proceso de Diseño*. Barcelona, España: Ediciones CPG.
- 46 V. León, M. Meneses y P. Jácome, *op. cit.*
- 47 ASM HANDBOOK, *op. cit.*
- 48 J. A. Vásquez A. (2013). vol. 5. España: Marcombo.
- 49 V. León, M. Meneses y P. Jácome, *op. cit.*
- 50 Flores, M. y Jácome P. (2020). "Diseño paramétrico: Aplicación conceptual de la autopoiesis y diagramas de Voronoi a partir de la implementación del método adaptado de función de calidad." *Revista Latindex Tecnología & Diseño*, de la Universidad Autónoma Metropolitana de México.
- 51 Mikell P. Groover (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. 3a Ed. México: McGraw-Hill.
- 52 Douglas Bryden (2014). *CAD y Prototipado Rápido en el Diseño de Producto*. Londres, Inglaterra: Promopress.

Referencias Bibliográficas

- American Foundry Society. *Casting Copper-Base Alloys*, 2a ed. American Foundry Society.
- ASM HANDBOOK (2000). *ASM International*, vol. 20. EUA: Materials Selection and Design.
- _____ (1997). *ASM International*, vol. 8. EUA: Mechanical Testing and Evaluation.
- _____ (1997). *ASM International*, vol. 17. EUA: Nondestructive Evaluation and Quality Control.
- ASME A112.18.1-2005/CSA B125.1-05. (2005). *Plumbing supply fittings*. EUA: ASME (The American Society of Mechanical Engineers) / CSA (Canadian Standards Association).
- Bryden, Douglas (2014). *CAD y Prototipado Rápido en el Diseño de Producto*. Londres, Inglaterra: Promopress.
- Capuz Rizo, Salvador (1999). *Introducción al Proyecto de Producción. Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto*. Universidad Politécnica de Valencia. Alfaomega.
- Cuatrecasas, Lluís (2017). *Ingeniería de procesos y de planta, Ingeniería Lean*. España: Profit Editorial.
- Cundy, H. M. y Rollet (1961). *Mathematical Models*, 2a ed. EUA: Oxford University Press.

Flores, M. y P. Jácome (2020). “Diseño paramétrico: Aplicación conceptual de la autopoiesis y diagramas de Voronoi a partir de la implementación del método adaptado de función de calidad”, en *Latindex Tecnología & Diseño*. México: uam-a. Disponible en <<http://revistatd.azc.uam.mx/index.php/rtd/article/view/86>>.

Harrington, H. James. (1993). *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.

Groover, Mikell P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*, 3ª ed. México: McGraw-Hill.

Jácome P. y C. Valverde (2020). “Tecnologías de Fabricación y su Influencia en el Diseño Industrial”, en *Revista Ingenio de la Facultad de Ingeniería*, núm. 1, vol. 3. Ecuador: Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador, enero.

_____ (2018). “La Autopoiesis de la Arquitectura como marco teórico para sustentar el uso eficaz de la tecnología en el Diseño de Producto”, en *Latindex Tecnología & Diseño*, Edición No. 9 enero-junio. México: UAM. Disponible en <<http://revistatd.azc.uam.mx/>>.

León, Valeria, Michelle Meneses y Patricio Jácome (2018). *Propuesta de una metodología de diseño paramétrico como aporte innovador para el proceso de diseño de productos*. Quito, Ecuador: Universidad de Las Américas. Tesina.

Michaud, M. (2012). *CATIA Core Tools: Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application*. EUA: McGraw-Hill Professional.

Peña, J. (2009). *Selección de Materiales en el Proceso de Diseño*. Barcelona, España: Ediciones CPG.

Rodríguez M., J., L. Castro M. y J. C. Del Real R. (2006). *Procesos industriales para materiales metálicos*. España: Visión Libros.

Río Cidoncha, María Gloria de (2011). *El libro de CATIA V6*. Madrid, España: Editorial Tébar, S.L.

Schumacher, P. (2012). *The Autopoiesis of Architecture*, vols. 1 y 2. West Sussex, RU: John Wiley & Sons Ltd.

Senge, Peter (2010). *La Quinta Disciplina. Cómo impulsar el aprendizaje en la organización inteligente*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Granica.

Thompson, R. (2007). *Manufacturing Processes for Design Professionals*. Londres, RU: Thames & Hudson.

Tickoo, S. (2011). *CATIA V5R21 for Designers*. EUA: CAD/CIM Technologies.

Torrecilla Insagurbe, Eduardo (2013). *El gran libro de CATIA*. España: Marcombo.

Ulrich, K. y S. Eppinger (2012). *Product Design and Development*. Nueva York: McGraw-Hill. Ulrich, K. y K. Tung (1991). “Fundamentals of Product Modularity Proceedings of American Society of Mechanical Engineers”, en *Winter Annual Meeting Symposium on Design and Manufacturing Integration*. Atlanta, pp. 73-79.

Vásquez A., J. A. (2013). *Análisis y Diseño de piezas de máquinas con CATIA V5*. España: Marcombo.

Wong, Wucius (2011). *Fundamentos del Diseño*. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Younis, Wasim (2012). *Inventor y su simulación con ejercicios prácticos*. España: Marcombo.

<<http://www2.mat.dtu.dk/publications/books/TopologyOptimizationTheoryMethodsAndApplications/CHANGES.PDF>>. Recuperado 25 de julio de 2017.

<<https://www.youtube.com/watch?v=cWUB-eXis4U>>. Recuperado el 19 de agosto de 2021. EL PRODUCTO Grifería.

