

Diseño de prototipo de molde multiparametrizable para manufactura rápida

Martha Angélica Cano Figueroa*, Raúl Pérez Bustamante, Maribel Moreno Alta
*angeli_cano@hotmail.com
Posgrado CIATEQ A.C. Sede Hidalgo, México.
Centro de Tecnología Avanzada, A. C., Cd. Sahagún, Hidalgo, México

Resumen

Los moldes permanentes son parte importante en la industria de fundición para la producción de componentes metalmecánicos hoy en día. Esto se debe a que poseen la suficiente indeformabilidad, detalle de la huella, elevada resistencia, estable dimensionamiento, diversidad de piezas en fabricación masiva o con repetitividad. Su uso, en un proceso de manufactura rápida, garantiza la obtención de un producto. Las herramientas de diseño asistido (CAD), el prototipado (PR) y la fabricación rápida (RM) dentro de la presente investigación, permitieron la construcción aditiva tridimensional de los componentes de prueba, así como los algoritmos de concurrencia al ensamble para un complejo prototipo del sistema matricial multiparametrizable de manufactura rápida convencional de dispositivos mecánicos de tracción. Los resultados obtenidos demuestran que el prototipado y fabricación rápida son una herramienta eficiente de evaluación geométrica, la cual permite medir el éxito de los efectos paramétricos en los componentes del molde previo al modelado funcional.

Palabras Clave: Fabricación rápida, molde parametrizado, parametrizado múltiple, prototipado rápido.

Abstract

Nowadays, permanent molds are an important part of the metal-mechanical production components in foundry industry. This is due they have sufficient non-deformity, footprint detail, high resistance, stable dimensioning and parts diversity in mass manufacturing or with repetitiveness. Their use, in a rapid manufacturing process, ensures product creation. Assisted design tools (CAD), prototyping (PR) and rapid manufacturing (RM), as part of this investigation, allowed additive three-dimensional test component's construction, as well as concurrent assembly algorithms for a complex prototype of the conventional manufacturing multi-parameter matrix assembly of mechanical traction devices. Obtained results show that prototyping and rapid manufacturing are efficient geometric evaluation tools, which allows to measure the success of the parametric effects on the mold's components prior to functional modeling.

Keywords: Rapid manufacturing, parameterized molds, multiple parameterized, rapid prototyping

Artículo arbitrado

Recibido:
15 de octubre de 2020

Aceptado:
15 de noviembre de 2020

Introducción

En los procesos de fundición de metales, durante la etapa de vaciado se utilizan diversas técnicas de manufactura para la obtención de piezas, por ejemplo, mediante moldes de diversos tipos para la rápida conformación de estas (López, Gómez, Sánchez 2019). La fundición por gravedad utiliza moldes metálicos permanentes, entre los más demandados. Éstos se utilizan varias veces y su diseño permite extraer las piezas fácilmente. Por lo regular, se usan para fundir piezas de bajo punto de fusión como aluminio, zinc y aleaciones de cobre. Para obtener una pieza fundida se requiere vaciar el material fundido en la cavidad de alimentación, después de la solidificación se abre el molde para extraer la pieza (Contreras, Vargas, Ríos 2018).

El molde permanente debe tener algunas consideraciones como: estabilidad dimensional, resistencia a altas temperaturas, resistencia al choque térmico y resistencia a la fatiga. No debe deformarse o cambiar de tamaño incontrolablemente durante el ciclo. Además, debe ser capaz de soportar ciclos térmicos prolongados y repetidos sin ablandamiento, agrietamiento u oxidación, (Ilochonwu, Nwonye, 2016).

La composición física de estos moldes regularmente es bipartida (Kalpalkjian y Schmid, 2014), es decir se conforma de dos ensambles con una huella definida, que permite libre desarrollo de formas para la obtención masiva de piezas (Contreras, Vargas, Ríos 2018). La definición geométrica de un molde radica en el control de los parámetros de diseño de éste, considerando todas las especificaciones mínimas que debe poseer: huella, tolerancias de cavidad, orificios de colada, canal de alimentación, juntas y partes superior e inferior (Nekrutov, Irshin, Reshetnikov, 2020).

En la actualidad, la industria de la fundición tiene deficiencias debido al constante desarrollo tecnológico a nivel global. En procesos de producción de piezas, la obtención se basa a prueba y error, lo cual

compromete la calidad y expone los defectos que en él se propician. Lo anterior tiene como consecuencia el desperdicio de material y el incremento de los costos de producción (Arkhipov, Matrosova, Volnov, 2020).

Las empresas, productoras de dispositivos provenientes de la fundición, utilizan en gran medida estos moldes permanentes, lo que equivale a fabricar un molde por modelo solicitado, de acuerdo a sus requerimientos.

Meyers y Graham (2015) afirman que las técnicas y las tecnologías para herramientas continúan avanzando. Por esa razón, aumenta el número de fabricantes de moldes que sacan provecho de estos desarrollos para optimizar las operaciones de mecanizado, lo cual reduce los tiempos de ciclo y hace que se produzcan acabados superficiales de mayor calidad. Los prototipos permiten “una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés” (Ulrich y Eppinger 2012, p. 286). Con base en la definición anterior, cualquier entidad, que exhiba al menos un aspecto del producto que es de interés para el equipo de desarrollo, puede considerarse como un prototipo ya sea geométrico, analítico o físico (Hanssen, Moe y Tan, 2015).

Por lo anterior, se identificó un proceso de fabricación, con la necesidad de contar con un diseño de molde de parametrización múltiple, con diámetros específicos de control, que permitan cumplir con las expectativas de diversificación de producto de línea en contraposición a la incompatibilidad de los moldes permanentes existentes, lo cual implica la inflexibilidad para alterar un molde, que posteriormente sea incompatible con otros requerimientos del producto. La importancia de la presente investigación fue el logro de una metodología de diseño y utilización de las herramientas tecnológicas disponibles soportadas para la construcción de un prototipo físico, que permitió vislumbrar los requerimientos de los fabricantes de dispositivos mecánicos de tracción previo a la fabricación de moldes permanentes, propiciando un evolutivo avance tecnológico de estos para la obtención de uno o diversos dispositivos.

Método

Base del prototipo

La primicia de desarrollo se fundamentó en las necesidades específicas que debería de cumplir el prototipo del molde para los fines específicos esperados. Para tal, se consideró que un prototipo es una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés (Ulrich, Eppinger 2012).

Por ello, se detectó que los fabricantes disponen modelos de matrices para dispositivos mecánicos de tracción; sin embargo, existía incompatibilidad de éstos con los requerimientos de los clientes, derivado de la vertiginosa evolución de los dispositivos en el mercado. Ya que la satisfacción del cliente es sumamente importante dentro del sector de transformación, para garantizar la sobrevivencia y objetivo de creación de éstas, el cumplimiento de las expectativas y apego a los requerimientos específicos —por mínimos que éstos sean por parte algún proveedor—, permite que permanezcan dentro del umbral competitivo de las empresas manufactureras (Acosta, 2015).

Se identificó y seleccionó un grupo de dispositivos de tracción como objeto de estudio, éstos fueron quienes aportaron la huella interna del molde y los parámetros de control de todo el proceso, unidades de amplia demanda, baja compatibilidad con los moldes convencionales. Pertenecen a la familia dimensional de seis pulgadas en los cuatro diferentes modelos (una a cuatro ranuras), con sus respectivos tipos disponibles (A y B) y se proyectó el alcance de las posibles combinaciones de los arquetipos de dispositivos (P, D y P/C). Éstos se sometieron a la innovación del prototipado, como se muestran en la Tabla 1.

Familia: dispositivos mecánicos de tracción de 6"					
	Parametrización	Producto final A		Parametrización	Producto final B
Molde 1			Molde 5		
Molde 2			Molde 6		
Molde 3			Molde 7		
Molde 4			Molde 8		
Total	4	4	8	4	8

Tabla 1. Relación característica del objeto de estudio por tipo de dispositivo, parámetros, diseño y molde requerido. Fuente: elaboración propia.

Definición de las especificaciones de diseño

Identificados los requerimientos previos para dar pauta a la construcción analítica del prototipo, se logró proyectar de forma integral cada una de las perspectivas de las diferentes funciones del producto representadas por el equipo de desarrollo (Nages, Adwernat y Wolf, 2019).

La práctica de crear prototipos integrales aseguró que el trabajo de los creadores fuese siempre sincronizado e integrado. Cualquier conflicto se detectó de inmediato y el equipo desarrollador nunca se apartó más de un día de una versión funcional del producto. Para lo antes mencionado, se muestra en la Figura 1 las diferentes vertientes para la creación de un prototipo.

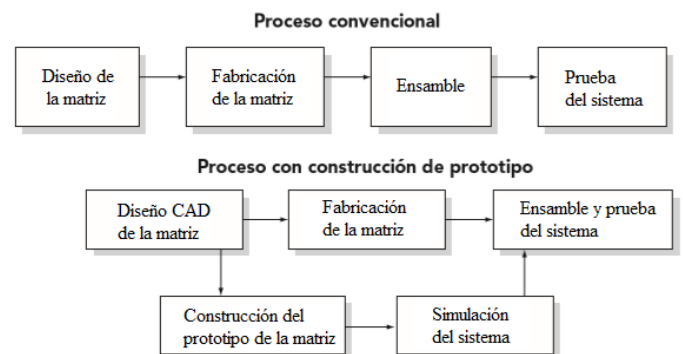


Figura 1. Trayectorias del proceso de construcción de un prototipo. Fuente: elaboración propia.

Con la selección de la familia de dispositivos que se llevaría al prototipado, se definió la primera fase de

diseño del mismo. Para ello, se inició con los requerimientos para un prototipo geométrico funcional, que haría referencia al uso espacial y puramente geométrico, es decir, se utilizarían analíticamente para la comprobación de los acoples y la concordancia de los dispositivos dentro del molde, así como la forma de esta última (Silveira, 2015). Considerando que actualmente los sectores de manufactura se apoyan en entornos CAD, es decir realizan una fabricación digital durante la fase de diseño (Jorquera, 2016), se utilizó esta herramienta para el aporte de la solución que pretendía ir más allá del mismo diseño, lo cual permitió simular el ensamble y la coincidencia entre los componentes, así como el tener control sobre la parametrización.

Por lo anterior, se extrajeron y utilizaron los datos de fabricación de los componentes identificados para integrarlos en un nuevo conjunto. Se requirió de la gestión del conocimiento a detalle de nuevas consideraciones en cuanto a dimensiones, tolerancias y nuevas adecuaciones no disponibles al modelo existente, con la finalidad de evolucionarlo a un nuevo prototipo geométrico, mediante el uso de las herramientas *Knowledge* del CAD se utilizó el software: *SolidWorks*. En él se parametrizaron inicialmente los sólidos de los dispositivos que de este molde en diseño resultarían, según la especificación. Se respetaron las reglas de los posibles comportamientos durante el diseño, respaldándose en 2D un total de 14 de estos dispositivos. Ello garantizó que las tareas repetitivas de diseño permanezcan, no cambien o bien se modifiquen, la relación del tipo de dispositivo y las diversas designaciones que se respaldaron se resumen en la tabla 2, que se muestra a continuación:

Designación		Modelado de superficies
6°1RA	6°1RB	
Maciza tipo P		
6°2RA	6°2RB	
Maciza tipo P y P/C		
6°3RA	6°3RB	
Maciza tipo P y P/C		
6°4RA	6°4RB	
Maciza tipo P y P/C		

Tabla 2. Modelado de superficies en CAD de los tipos y designaciones de dispositivos mecánicos de tracción como objeto de estudio. Fuente: elaboración propia.

El proceso en el que se desarrolló el total de las geometrías mínimas y correctas dentro del CAD, tuvo especial cuidado en: el número de posibles errores al momento de parametrizar el modelo. Por esa razón, se eliminaron las posibilidades de error humano, por medio de mallas de coincidencia, se propició una serie de verificaciones de diseño libre que redujo los costos de potenciales errores y disminución en tiempo de desarrollo de las primeras fases de diseño. A continuación, se muestran un par de ellas en la Tabla 3:

Modelado de superficies	Geometrías mínimas
Tipo: 6°1RA y 6°1RB	
Tipo: 6°2RA y 6°2RB	

Tabla 3. Visualización mínima requerida del modelado de las superficies por tipo de dispositivo geometrías internas del prototipo. Fuente: elaboración propia.

Parametrización múltiple del prototipo del molde

La parametrización es la base que contiene los datos significativos o bien, la organización y estandarización de la información que se pretende ingresar al sistema del molde (Hunt, 2015). Contar con un proceso de diseño mal definido o parametrizado puede generar complicaciones diversas que limiten la funcionalidad del prototipo (López, 2010). El diseño paramétrico asignó medidas controlables por el requerimiento de cada característica del modelo, permitió que existiera relación entre dichos parámetros y el diseño variacional. Este último controló las dimensiones de diseño desde las propias piezas dentro del ensamble, se basó en la asignación de relaciones entre las geometrías contenidas y el prototipo (Franke, 2019), con ello imperó la certeza del cumplimiento de las características matemático visuales en 3D siguientes: visibilidad del estado del sistema, correspondencia entre lo requerido y lo esperado, formalización de un diseño adecuado para prevención de errores, flexibilidad y eficiencia de ensamble simulado (Klochkov, Nikolaev, Kiselyova, 2017).

Puesto que la mayoría de las consideraciones paramétricas tienen la finalidad de que, al ser conocidas, sea posible manejar las formas, dimensiones y tolerancias en fases bipartidas desde el CAD como es el caso del prototipo de molde en cuestión, su correcta aplicación se basó en las

siguientes atenciones: curvas no representadas paraméricamente, curvas paramétricas, figuras geométricas simples, mallas poligonales, parches paramétricos, superficies de revolución, superficies de barrido y subdivisiones (Hosseini, Moetakef-Imani, Hadidi-Moud, 2016).

Ahora bien, la parametrización para el molde, consideró en su desarrollo las dimensiones del CAD que anteriormente se enunciaron, con especial detalle en el dimensionado de los componentes del prototipo geométrico del molde: espesores de base y cubierta, paredes, ranuras, cubos, insertos y guías, como ejemplo se muestra una coincidencia de uno de los modelos en la figura 2, misma que aplicó de forma similar para todos y cada uno de los identificados en la correlación característica de objeto de estudio de la tabla 1:

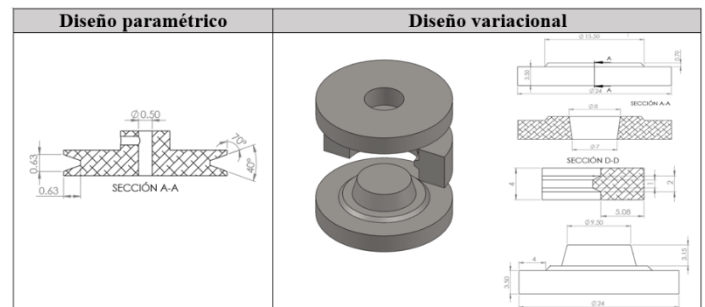


Figura 2. Relación de diseño dispositivo-molde. Fuente: elaboración propia.

Lo anterior muestra la forma en que se logró parametrizar la geometría de un dispositivo mecánico de tracción en el molde. Ahora bien, la complejidad del prototipo radicó en el logro de la multiparametrización, es decir, que los 14 dispositivos identificados en correlación de la Tabla 1, fuesen parametrizados en el mismo arreglo del molde que se diseñó, abatiendo el desarrollo tradicional de construcción, que constaba de un diseño, igual a un molde, igual a un dispositivo.

Para la multiparametrización se desarrollaron todos los componentes de coincidencia en 2D y 3D, se consideraron los atributos mínimos estandarizados y los máximos permisibles para la correcta definición del molde. Todo ello en función del tipo de colada e imperante atención de las siguientes particularidades:

ángulos de salida, detalles de las huellas, disposición de aristas vivas por componente, tolerancias de dilatación, juntas de enclave, salidas de aire, placas porta moldes, insertos, expulsores y estimación de la duración del prototipo del molde previo a la fase funcional (Klochkov, Nikolaev, Kiselyova, 2017). A continuación, se muestra en la Tabla 4 como se resumió el diseño 3D de los componentes del sistema matricial, los arreglos de concordancia, así como las geometrías de multiparametrización libres y de contacto.

correcta orientación de los ángulos de salida, complejidad conocida de las huellas, tolerancias de dilatación, número de juntas enclave, cantidad de placas, correderas, insertos, secuencia y complejidad de ensamble por pieza en el proceso de colada y correspondencia por tipos, así como los métodos de sujeción y apertura (Puerres, 2008). Lo anterior conllevó a la multiparametrización de los componentes en el dispositivo 3D final hacia el prototipo funcional.

Componentes del sistema matricial		

Tabla 4. Arreglos componentes multiparametrizables permisibles por el sistema CAD del molde Atributos permisibles del sistema. Fuente: elaboración propia.

Los antes expuesto pretendió garantizar que el prototipo del molde tuviera una eficaz geometría mínima para el ensamble, ahora bien, los parámetros que permitieron que el molde alcance un máximo desempeño para múltiples y complejas piezas de extracción en un solo sistema, consideró lo siguiente:

Técnicas de fabricación

Una vez que se contó con el desarrollo del prototipo geométrico y analítico, se procedió a la fabricación del prototipo físico, con el objeto de exhibir fenómenos imprevistos en la parte geométrica y analítica (Hanssen, Moe, Tan, 2015), que no estaban relacionados por completo con el objetivo original del prototipo. Así, fue posible reducir los riesgos por medio de iteraciones que derivarían en costosas actividades de desarrollo (Ulrich y Eppinger, 2013) y que comprometieran el prototipo funcional, tal como se evidencia en la Figura 3:

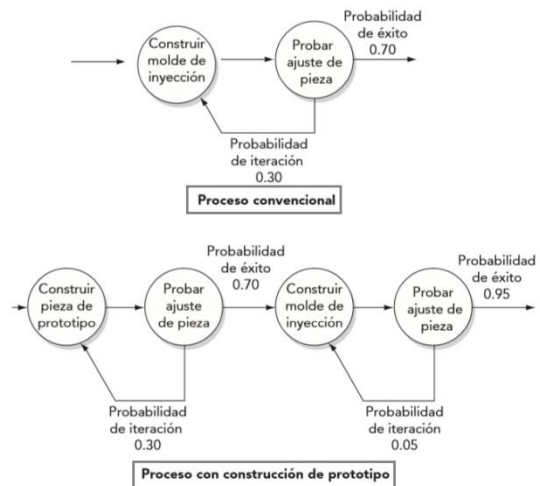


Figura 3. Reducción de riesgo por tipo de proceso. Fuente: Ulrich y Eppinger, 2013.

La fabricación rápida (RM) de acuerdo a Zaragoza (2014), fue el método utilizado para la manufactura de los componentes del sistema matricial multiparametrizable de manufactura rápida de dispositivos mecánicos de tracción de tipo

convencional, ya que es ideal para fabricar productos funcionales desde datos CAD, es excelente opción en la fabricación de productos de gran complejidad de forma, con estructuras internas y personalizadas (Chua, Leong, Liu, 2015). Esta metodología se complementó con tecnología de prototipado rápido o Rapid Prototyping (RP) (Wu, QX, Wu, MC, Hu, *et al* 2020), ello validó y verificó el nuevo diseño del molde, que en fases posteriores se llevará a la producción final, funcional y permanente. Los parámetros conocidos del diseño 3D, proporcionaron el control geométrico y dimensional.

La fabricación rápida (RM) se desarrolló por maquinado de alta velocidad, *High-speed milling* (HSM), es un método sustractivo muy conocido y utilizado actualmente. El material seleccionado para la fabricación del prototipo fue madera de pino, la remoción del material se realizó por medio del maquinado desde el archivo CAD desarrollado en la fase de diseño, el fresado y torneado de las 14 piezas del molde se lograron con excelente acabado superficial y precisión dimensional.

Concluido el maquinado de todas las piezas y considerando que la fase de prueba del prototipo requería similitud y acabado al metal, fue contratado un proveedor para aplicación de una técnica complementaria de prototipado rápido con procesado directo por luz, *Direct light processing* (DLP), éste utilizó resinas foto curables sobre las piezas de madera previamente maquinadas, donde dentro del proceso se proyectó el modelo 3D en formato STL a cada una de las piezas para curar cada capa de resina. El proceso DLP representó ventajas de prototipado rápido, puesto que permitió el uso de modelos, por lo tanto, la aproximación de las características deseadas por medio de las resinas y medios controlados a las geometrías diseñadas adecuó perfectamente el requerimiento, ya que el sistema construyó el modelo de arriba hacia abajo, formando las diferentes capas con un elevado espesor de la resina a través de la acción capilar, sin la necesidad de planarización o de nivelación para cada capa, lo anterior se muestra esquemáticamente en la figura 4.

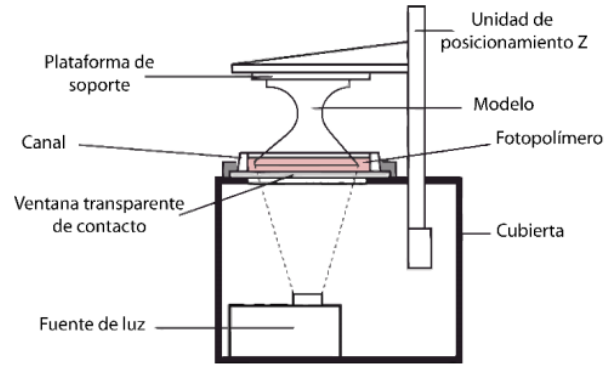


Figura 4. Esquema del proceso DLP. Fuente: Zaragoza, 2014.

Resultados y discusión

De acuerdo a la metodología de Goncalves y Chavez (2000), quienes hacen referencia al desarrollo de proyectos para fundición de piezas en moldes permanentes conforme a tópicos, así como la fabricación de moldes permanentes de López y Gómez (2019), la presente investigación fundamentó e incrementó el alcance de la metodología desarrollada antes mencionada, puesto que —de forma cualitativa y cuantitativa—, se soportó el prototipado físico de acuerdo a Ulrich (2013) y Silveira (2015). Para ello, en la Figura 5 se muestran los prototipos físicos obtenidos de la fabricación y prototipado rápido de este proyecto, en concordancia geométrica a la fase diseño:

	Base de cavidad y porta núcleo	Cubierta de alimentación	Inserto de cubo
Componentes del sistema			
	Dados 1R	Dados 2R	Dados 2R

Figura 5. Elementos prototipados del molde. Fuente: elaboración propia.

Los componentes antes mostrados debieron obedecer a una coherente correspondencia por tipo, número de ranuras por dispositivo y designación geométrica, que por medio de la equiparación de los elementos se

logró la mutiparametrización del prototipo para cada uno de los modelos requeridos en la Tabla 2, tal como es posible observar en la Tabla 5, con su correcta tipificación:


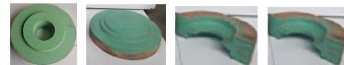










Tipo	Designación	Multiparametrización del prototipo
6°1RA	Maciza tipo P 	
6°1RB		
6°2RA	Maciza tipo P y P/C 	
6°2RB		
6°3RA	Maciza tipo P y P/C 	
6°3RB		
6°4RA	Maciza tipo P y P/C 	
6°4RB		

Tabla 5. Correspondencia multiparametrizada del prototipo. Fuente: elaboración propia.

Los modelos prototipados requerían tener un nombramiento que colaborará con el algoritmo de ensamble, mismo que por medio de la nomenclatura asignada, fuese posible la comprensión de armado. Esto se asignó y se expone en la Figura 6.

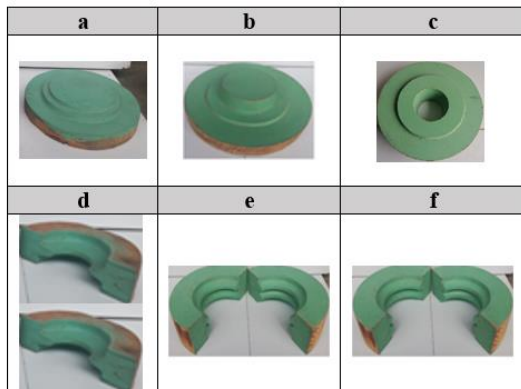


Figura 6. Designación individual de los componentes. Fuente: elaboración propia.

Con la designación anterior, se logró ordenar la configuración del algoritmo que sistematizó las operaciones conjuntas pertinentes para el ensamble de prueba y coincidencia, ya que para comprobar cada una de las correspondencias en el prototipo integral, se denotó que estas deben ejecutarse una a una de forma no simultanea, lo que permitió que cada uno de los elementos de la Figura 6 se encuentren disponibles para cada tipificación. De esa forma, se permitió todas las combinaciones de la multiparametrización, es decir, la forma en que las piezas matriciales son intercambiables, compatibles e insertadas en el arreglo que consienta varias líneas de fabricación en la futura fase funcional, como se muestra en la siguiente relación de la Tabla 6:

Tipología	Maciza tipo P	Maciza tipo P	Maciza tipo P/C	Maciza tipo P	Maciza tipo P/C	Maciza tipo P	Maciza tipo P/C
6°1RA	a+c+d						
6°1RB	a+c+d						
6°2RA		a+c+e	b+c+e				
6°2RB		a+c+e	b+c+e				
6°3RA				a+c+d+e	b+c+d+e		
6°3RB				a+c+d+e	b+c+d+e		
6°4RA						a+c+e+f	b+c+e+f
6°4RB						a+c+e+f	b+c+e+f
Σ	2	4	6	8	10	12	14

Tabla 6. Algoritmo de configuración de ensamble para manufactura rápida. Fuente: elaboración propia.

El algoritmo comprobó las múltiples combinaciones de los elementos diseñados, se alcanzó un total de 14 arreglos matriciales, por tanto, 14 diferentes modelos de dispositivos mecánicos de tracción que serán posibles configurarse del prototipo físico al funcional, lo cual permite que se alcance la fase integral del mismo.

Con los arreglos matriciales de los elementos del prototipo, se procedió a la prueba de ensamble y coincidencia, a fin de contrastar los resultados de lo planeado contra lo fabricado, de ello se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Figura 7:

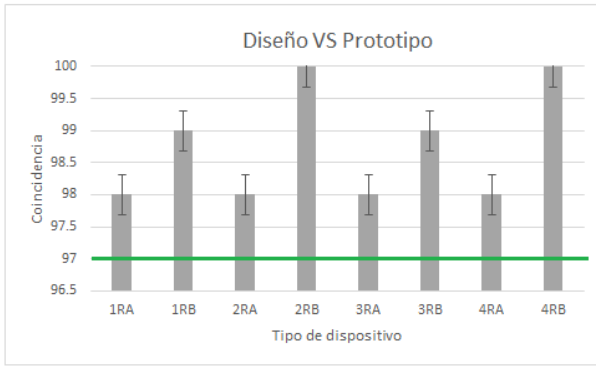


Figura 7. Coincidencia del diseño contra el prototipo. Fuente: elaboración propia.

Se comprobó estar dentro de los parámetros de diseño, donde el mínimo de coincidencia es el 97 %, lo anterior derivado de la tolerancia requerida de +/- 3 % para expansión y contracción, definida en la fase fabricación funcional posterior a la construcción del prototipo. Esta misma fue proyectada y comprobada en la fase de ensamble. Adicionalmente, se consideró +/-1 % como margen de error con respecto a la coincidencia obtenida como parámetros de ajuste en la instalación de elementos de cierre y apertura, comportándose dentro de este cada uno del grupo de ensamble.

Una vez medidos los resultados del prototipo, se relacionaron los factores involucrados en el presente estudio, lo cual mostró la importancia, el alcance y la relación que entre ellos existe, como se muestra en la Figura 8:

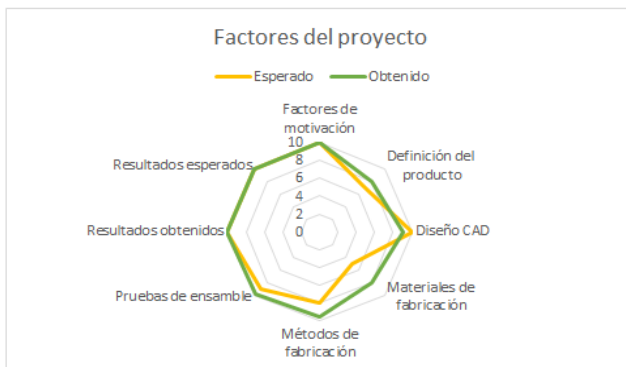


Figura 8. Relación y resultados de los factores del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Lo anterior evidenció que el desarrollo del prototipo se destacó sobre las valoraciones de origen del molde.

Se evaluaron de forma integral cada uno de ellos y se observó una importante superioridad desde los materiales hasta la fase de fabricación y pruebas de ensamble del mismo, es decir, conforme el proyecto avanzaba en las diferentes etapas, mejor relación y resultado correspondió con respecto a lo esperado.

Posteriormente, se realizó un balance entre las implicaciones del desarrollo de un prototipo de molde multiparametrizable contra el desarrollo convencional de un conjunto de matrices independientes para cada uno de los modelos seleccionados, se incluyeron parámetros importantes que permitieron medir el impacto de la construcción del prototipo para el molde y diferenciadores de métodos convencionales, como se observa en la Figura 9.

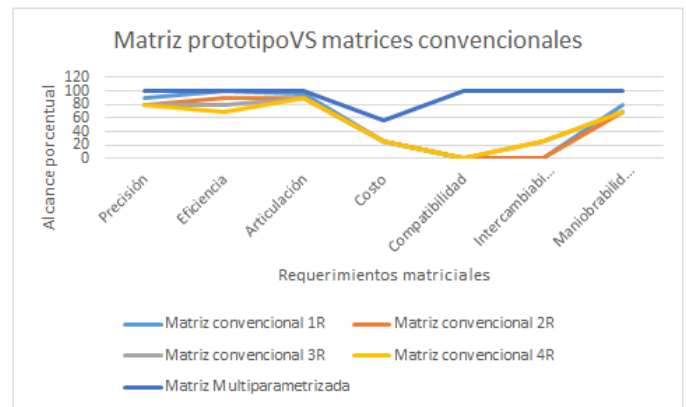


Figura 9. Comparativo de unidad y tipos de desarrollo del prototipo. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 10, los resultados permitieron comparar el número de elementos y modelos de cada sistema matricial, con ello la implicación que conlleva la elección de alguna de las tipologías; entre los convencionales, quienes operan de forma independiente y elegir el prototipo del molde multiparametrizable con un menor requerimiento de componentes, por lo que se contrasta la notable diferencia de elementos involucrados.

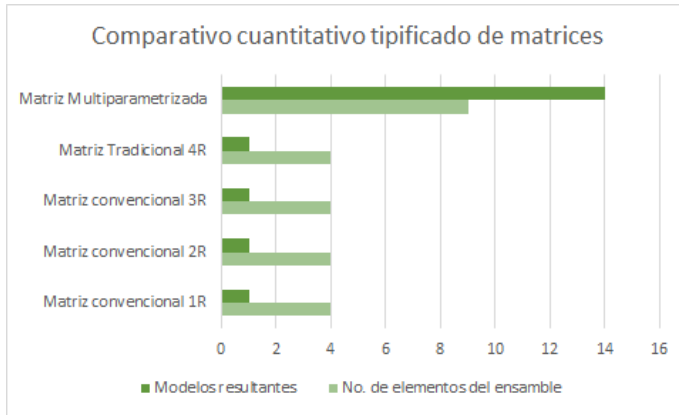


Figura 10. Comparativo por tipo de matrices. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En este trabajo se demostró la importancia de contar con componentes parametrizables de ensamble múltiple, para la obtención de dispositivos mecánicos de tracción con disímiles tipologías por unidad, manteniendo el modelo de línea de manufactura rápida *ad hoc*, por medio de un mismo molde, con un alto desempeño para los requerimientos y necesidades identificadas.

Se comprobó que la creación rápida de un prototipo tuvo los siguientes alcances:

-El prototipo analítico precedió y permitió la aproximación matemática del molde, los parámetros fueron más fáciles de cambiar por atributo mediante el CAD incluyendo simulaciones por computadora.

-El prototipo físico fue tangible, semejante a lo estimado, siendo sumamente factible para validar la funcionalidad del molde en la fase de prueba y experimentación.

-La integración del prototipo ejecutó la mayoría de los atributos del molde, correspondió cercanamente a la real operación de este.

-La fabricación del prototipo redujo el riesgo de costosas iteraciones.

-El prototipado del molde previamente a la fabricación funcional evadió comprometer con un alto riesgo o incertidumbre de falla con sus respectivos costos.

-El prototipo del molde fue una fase corta de construcción que permitió completar la actividad subsecuente con más rapidez que si no se construyera el prototipo.

-El modelo físico del molde geoméricamente complejo permitió visualizar y diseñar con más rapidez los herramientas del mismo.

- La reducción del tiempo del ciclo de diseño, permitió realizar múltiples pruebas en el diseño a bajo costo.

-La creación rápida del prototipo, permitió que las pruebas se pudieran realizar mucho antes de comenzar la producción funcional del molde.

- Las pruebas rápidas del prototipo del molde permitieron detectar fenómenos imprevistos y reestructurar dependencias de trabajo.

-La operación y maniobra del prototipo demostró que el molde alcanzará el nivel deseado de funcionalidad.

-La fabricación rápida (RM) personalizada permitió el viable modelado tridimensional de las geometrías, por medio de la manufactura económica de prueba. El prototipado rápido (PR) aportó la técnica aditiva de procesado directo por luz, *direct light processing* (DLP), así como el uso de resinas fotocurables sobre las piezas de madera previamente maquinadas, quienes coadyuvaron integralmente a la obtención de un producto de magníficas similitudes al CAD.

-Los algoritmos de configuración para el ensamble permitieron adicionalmente de la secuencia operativa, ser un importante factor de comprobación en la fase de prueba, ya que evidenció el emplazamiento de los componentes por tipos, dimensiones, arreglos, sustitutos y equivalencias, de acuerdo proyecto multiparametrizable.

- La medición de los resultados valoró el éxito de los algoritmos obtenidos del molde y comprobó la compatibilidad, intercambiabilidad, coincidencia y la correcta parametrización de los componentes en el sistema.

El prototipo del molde de dispositivos mecánicos de tracción de este estudio, generó ventajas sobre las matrices actuales, ya que estas últimas solo permiten obtener un modelo por unidad, no son flexibles ni adaptables.

El diseño del molde mutiparametrizable permitió agregar atributos y variables al modelo de manufactura rápida ad hoc y diversificar la tipificación de dispositivos de tracción.

La fabricación de diseños matriciales multiparametrizables, incorporados a las líneas de fabricación de las empresas manufactureras, permitirá alcanzar cualidades únicas modificables, reproducibles y de adaptación reutilizable por un sinnúmero de piezas tipificadas, reduciendo los elevados costos de fabricación de moldes especiales.

Agradecimientos

A EBA y Fabricantes MAC por la oportunidad de realizar el trabajo de investigación con su maquinaria, equipo e instalaciones.

Al CONACyT por la beca otorgada para el estudio del posgrado de Doctorado en Manufactura Avanzada de la modalidad posgrado con la industria.

Al CIATEQ A.C. por el apoyo para el desarrollo de este proyecto.

A mi asesor, Raúl Pérez Bustamante, por su paciente dirección para el logro de este artículo de investigación.

Referencias

Acosta, C.F. (2015), *Diseño de un prototipo no funcional para la visualización y consulta de datos en la estructura organizacional de dos empresas*. (Tesis). Bogotá: Colombia, 48 pp.

Arkhipov M.V., Matrosova V.V., Volnov I.N. (2020) Automation in Foundry Industry: Modern Information and Cyber-Physical Systems. In: Radionov A., Karandaev A. (eds) *Advances in Automation. RusAutoCon 2019*. Lecture Notes in Electrical Engineering, 641. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_41

Chua C. K., Leong K.F., Lui Z. (2013) Rapid Tooling in Manufacturing. In: Nee A. (eds) *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer, London. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4976-7_39-1

Contreras B. L. E, Vargas T. L. F; Ríos, L. R. A, (2018); *Procesos de fabricación en metales*, Bogotá, Colombia, Ediciones de la U.

Franke, S., (2019), *Manual de Fundición. Alemania: Giesserei Praxis*, Lilienthal, Alemania, Nabertherm

Goncalves, E. V; Chaves A. S., (2000), *Una metodología para la elaboración de proyectos de fabricación de piezas fundidas*, Información tecnológica, 11.

Hanssen J., Moe Z.H., Tan D. Chien O.Y. (2015) Rapid Prototyping in Manufacturing. In: Nee A, (eds) *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer, London. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4470-4670-4_37

Illochonwu C.E. Nwonye E.I. (2016) Design and Development of a Permanent Mould for the Production of Motor-Cycle Piston in SEDI-Enugu. In: Sadler B.A. (eds) *Light Metals 2013. The Minerals Metals & Materials Series*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-65136-1_75

Jorquera, O. A. (2016), *Fabricación Digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Mentor, Malaga, España.

Klochkov, Y.V., Nikolaev, A.P. & Kiselyova, T. A. (2017). To the question on continuous parametrization of spatial figures having an ellipse in a section. *Russ Math.* 61, pp. 27-31. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1066369X17090031>

López, M. A; Gómez G. M; Sánchez S. S. y Martínez, L. J. A., (2019), *Tecnología de la Fabricación*, Apuntes de Teoría, Almería, España, Editorial Universidad de Almería.

López, S. J. (2010). *Metodología de optimización de modelado digital en el diseño paramétrico industrial*, Tesis doctoral E.T.S., Universidad del país Vasco.

Kalpalkjian, S.; Schmid, S.R. (2014), *Manufactura, ingeniería y tecnología*, D.F., México, Pearson. Nages M., Adwernat S., Wolf M. Abramovici M. (2019) 3D Geometry Recognition for a PMI-Based Mixed Reality Assistant System in Prototype Construction. In: Burduk a., Chlebus E., Nowakowski T., Tubis A. (eds) *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance. ISPEM 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 835. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_1

Nekrutov V. G., Irshin A.V., Reshetnikov B. A. (2020) Improvement of Equipment for Knocking Out castings from Molds. In: Radionov A., Kravchenko o., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*. ICEI 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering Springer, Champ. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_31

Puerres, R.G. (2008), *Construcción de un Molde de Acero por Mecanizado para Fundición de Poleas en Aleaciones de Aluminio*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Silveira O.E. (2015) A Structural Prototype for Planning and Controlling a Manufacturing System. In: Rocha A., Correira A., Costanzo

S., Reis L. (eds) New Contributions in Information Systems and Technologies. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 353. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16486-1_8

Ulrich, K.T., Eppinger, S. D. (2012), *Diseño y desarrollo de productos*. México, McGraw Hill

Villegas, J. (2015), *Metodología para el Aprendizaje de Inyección de Polímeros por Medio de una Inyectora Virtual*. Universidad EAFIT. Colombia: Medellín

Wu, QX., Wu., MC., Hu, CC. *et al* (2020). Study on the fabricated feasibility of electrodes in EDM using rapid prototyping (RP) and investment casting technology. In *j Adv Manuf Technol* 109, pp. 377-387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05666-3>