

Diseño MEMS de una rueda de Ginebra realizado mediante manufactura aditiva FDM

Andrés Holguín Restrepo
Ingeniería Mecatrónica
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
aholguinr@unal.edu.co

I. RESUMEN

En este laboratorio de Fabricación Digital por Deposición de Material (FDM), se utilizó la metodología de diseño DIPP para desarrollar una rueda de ginebra de 6 posiciones MEMS. Se evaluó la manufacturabilidad del diseño utilizando la escala de Purdue, que considera aspectos como la complejidad del diseño y la capacidad de fabricación. Los resultados muestran que el diseño es altamente manufacturable mediante la tecnología de Fabricación Digital por Deposición de Material, lo que lo convierte en una solución viable para aplicaciones MEMS que requieren una precisión y posicionamiento mejorados.

II. INTRODUCCIÓN

El mecanismo de la rueda de ginebra es un dispositivo mecánico utilizado para convertir el movimiento de rotación continuo en movimiento intermitente. El mecanismo se compone de un disco dentado circular (la rueda) y un brazo que se mueve en un patrón de vaivén llamado "ginebra". La rueda de ginebra se utiliza comúnmente en relojería, juguetes y maquinaria industrial.

El mecanismo de 6 posiciones es una variante del mecanismo de la rueda de ginebra. En este mecanismo, la rueda tiene seis dientes en lugar de los típicos cuatro, lo que permite que la rueda se detenga en seis posiciones diferentes. El brazo de ginebra se mueve en un patrón que coincide con las seis posiciones, permitiendo que el mecanismo convierta el movimiento de rotación continuo en un movimiento intermitente en uno de los seis pasos.

El mecanismo de 6 posiciones se utiliza a menudo en juguetes y dispositivos mecánicos que requieren un movimiento intermitente preciso. Por ejemplo, se puede utilizar para controlar la apertura y cierre de una compuerta o una puerta en una maqueta de ferrocarril. También se puede utilizar para controlar el movimiento de una mano en un reloj mecánico o en el cambio de herramienta en una máquina CNC con intercambiador de herramienta automático.

El mecanismo de la rueda de ginebra y su variante de 6 posiciones son ejemplos de cómo la ingeniería mecánica puede ser utilizada para convertir y controlar el movimiento en diversas aplicaciones. Estos mecanismos han sido fundamentales en el desarrollo de dispositivos mecánicos a lo largo de la historia,

y continúan siendo utilizados en la actualidad. De este modo, es de esperarse que con la llegada de la tecnología MEMS (Microelectromechanical Systems), este mecanismo también sea adaptado a dicha tecnología.

Los mecanismos de ginebra pueden ser adaptados a la tecnología MEMS para su uso en aplicaciones de micro-actuación y micro-posicionamiento. Por ejemplo, se han desarrollado mecanismos de ginebra MEMS para su uso en dispositivos de ajuste de fase óptica, sensores de inclinación, y sistemas de posicionamiento de micromirrors.

La ventaja de utilizar tecnología MEMS en la fabricación de mecanismos de ginebra es que permite la integración de componentes mecánicos con circuitos electrónicos en un solo dispositivo, lo que permite un mayor grado de funcionalidad y miniaturización. Además, los mecanismos de ginebra MEMS son capaces de proporcionar movimientos precisos y controlados en escalas micrométricas, lo que los hace ideales para aplicaciones donde se requiere una alta precisión y repetibilidad.

La impresión FDM (Fused Deposition Modeling) es una técnica de fabricación aditiva que se utiliza ampliamente en la producción de componentes mecánicos, incluyendo componentes MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Los sistemas MEMS son dispositivos que integran componentes mecánicos, electrónicos y microfluidos en un solo chip, lo que permite la producción de dispositivos muy pequeños con funciones avanzadas.

La impresión FDM es una técnica de fabricación aditiva en la que se construyen objetos mediante la deposición de filamentos de material termoplástico fundido capa por capa. Esta técnica se ha utilizado en la producción de componentes MEMS debido a la facilidad de uso, la precisión y la capacidad de producir diseños complejos con geometrías precisas.

En particular, la impresión FDM se ha utilizado en la producción de componentes MEMS que requieren una gran precisión y un alto grado de personalización, como sensores y actuadores. La impresión FDM también se ha utilizado en la producción de dispositivos de microfluidos, como microreactores y microbombas.

Sin embargo, la impresión FDM presenta algunos desafíos en la producción de componentes MEMS. En particular, la precisión de la impresión FDM puede verse afectada por la deformación térmica del material durante el proceso de

deposición. Además, el tamaño de las boquillas de impresión puede limitar la precisión y la resolución de los detalles.

III. DESARROLLO INTEGRADO DE PRODUCTO Y PROCESO

Ya hecho mención del mecanismo de ginebra, se puede continuar a la etapa de diseño, donde es importante tener en cuenta tanto el producto como el proceso, ya que la unión de ambos, mediante la metodología DIPP, generan procesos de diseño y manufactura considerablemente superiores a estilos convencionales de etapas de diseño y manufactura de tipo secuencial.

Para empezar, se va a realizar un prototipo inicial de una cruz de malta, el mecanismo de Ginebra más conocido que hay, esto con el fin de tener un primer acercamiento al mecanismo de 6 posiciones. Además, también servirá como guía para el análisis de calidad de impresión FDM y con esto determinar los limitantes que pueden existir con este tipo de proceso de manufactura, así como sus ventajas. De este modo, se realiza el diseño en el Software OnShape, visto en la figura [3]. Este diseño está compuesto por una cruz de malta de 40mm de diámetro, lo cual implica desde un inicio que no es un MEMS, sin embargo es una buena aproximación [3].

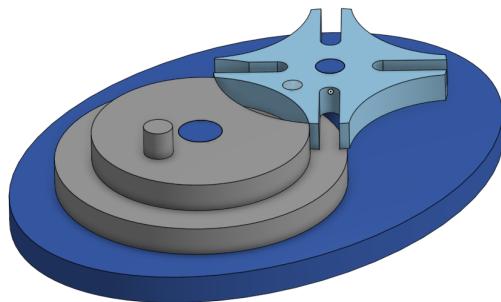


Figura 1.



Figura 2.

Como se puede evidenciar en estas figuras, se logra realizar un mecanismo de ginebra a escala pequeña de carácter funcional, donde las tres piezas fueron impresas bajo la misma configuración y tecnología FDM. Ahora bien, ya estando familiarizado con este mecanismo y el proceso FDM, es



Figura 3.

possible diseñar el mecanismo MEMS. De este modo, los requisitos que se tienen para imprimir en la impresora 3D del laboratorio son los siguientes:

- Volumen menor a 512 mm^3 .
- Dimensiones inferiores a $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$.
- Tiempo de impresión menor a 15 min .
- Mecanismo funcional.

Ahora bien, a pesar de intentar realizar que todo el mecanismo cumpliera con estos requerimientos. Teniendo en cuenta una metodología DIPP, es necesario pensar en el proceso de manufactura desde la etapa de diseño, por lo tanto, es necesario establecer que la precisión de las impresora no le permitiría manufacturar el mecanismo si la base cumpliera este requisito dimensional, ya que tiene un cabezal de 0.4 mm , lo cual limita bastante la precisión de un mecanismo que se planea para cumplir todos estos requisitos. Dicho esto, se establece que la rueda y la palanca cumplen las condiciones, sin embargo, la base no lo cumple. De este modo, solo estas dos piezas son impresas en el laboratorio de la universidad. La base se imprime de forma autónoma al hacer uso de la impresora de FDM que se utilizó para el primer prototipo. Hecha esta aclaración, en la figura [4] se puede evidenciar el nuevo modelado del mecanismo de ginebra MEMS a imprimir [1].

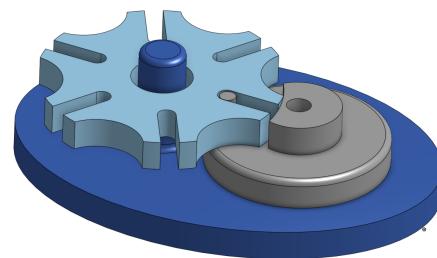


Figura 4.

Las propiedades de cada pieza se dan a continuación:

Pieza	Volumen (mm^3)	Dimensiones (mm)	Tiempo de impresión
Rueda conductora	501.03	20×2.5	4m17s
Rueda conducida	496.12	11.4×5	5m9s
Base	1839.60	$35 \times 25 \times 10$	11m17s

III-A. Evaluación de diseño con escala de Purdue

Una vez realizado este modelo CAD, es posible, mediante el acople de metodologías DIPP y DAC, hacer uso de la evaluación de manufacturabilidad de las piezas mediante la escala de Purdue. Los resultados de esta se encuentran en anexos de este informe [2].

Sobre este, cabe aclarar ciertas evaluaciones y argumentarlas. A pesar de que según el resultado del criterio de complejidad y de funcionalidad establecen que sería adecuado repensar si la manufactura aditiva es la solución correcta para el proceso de producción de las piezas, cabe aclarar que realizar dichas piezas mediante manufactura sustractiva resultaría en procesos más costos, más longevos, y habría una gran dificultad en el agarre de la base de la pieza debido a su carácter radial, pero que no se realizaría su manufactura mediante procesos de torneado. De esto se derivan serias complicaciones en manufacturar la pieza mediante maquinado CNC y motivo por el cual se justifica el resultado de utilizar la manufactura aditiva como mejor opción.

Ahora bien, respecto a los resultados generales de esta evaluación, se tiene un total de 23 puntos, el cual entra en el rango de *probabilidad moderada de éxito*, lo cual se considera suficiente teniendo en cuenta que en etapas posteriores se puede entrar en una fase de rediseño y replantear el tipo de manufactura aditiva que podrían mejorar estos parámetros de la rúbrica.

III-B. Uso de FDM-UN

Ya teniendo el modelo CAD del sistema MEMS y las dos piezas correspondientes al proceso de impresión, lo siguiente es realizar el debido proceso para utilizar la impresora 3D FDM-UN que se encuentra en el LabFabEx, vista en la Figura 5. Para esto, se hace uso del software Ultimaker Cura para generar el Código G con base en una impresora Prusa I3, la cual es el modelo que más se asemeja a la impresora real. De este modo, se ajustan capas de 0.2 mm de espesor. Además, cabe resaltar que al código G es necesario agregar el comando G29 de forma manual, ya que este permite realizar el movimiento desde el punto de referencia, con el fin de no tener conflictos de impresión [1].

Al exportar el código G del computador nativo, se exporta y carga sobre el computador del laboratorio donde se accede al servicio OctoPrint y se carga el código G. Cabe destacar que debido a los tiempos de impresión, junto a las dos piezas de impresión del mecanismo de ginebra, también se agregaron tres piezas de un compañero de curso para poder imprimir ambos conjuntos en un mismo proceso. Esto generó que el tiempo de impresión aumentara de 14 minutos a 25 minutos, lo cual es aceptable si se considera que fueron un total de cinco piezas y dos personas.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Una vez impresas las dos piezas principales del mecanismo mediante la FDM-UN, y la base del mecanismo mediante la segunda impresora, es posible generar el ensamblaje general del mecanismo de Ginebra, el cual se evidencia en la figura 6.

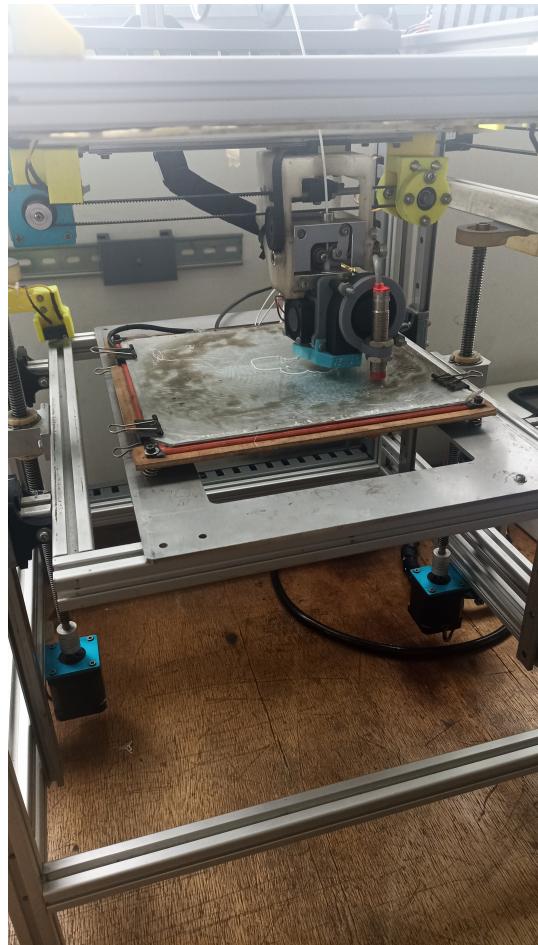


Figura 5.

Como se puede evidenciar, se agregaron ciertos componentes. Puntualmente, se agrega una rosca M5 y dos arandelas M5 a la rueda conductora, esto con el fin de poder contar con un movimiento más suave y continuo. Además, debido al pequeño tamaño, es difícil generar el giro en la rueda conductora, debido a esto, se utiliza un mini-destornillador que entra a presión en el agujero de la rueda, con el fin de poder generar el giro con mayor facilidad.

Para tener un punto de comparación del tamaño de este mecanismo MEMS, en la figura 7 se muestra el mecanismo final junto con la cruz de malta que se había impreso en el modelo inicial del que se había mencionado en secciones anteriores. A partir de esta comparación, se puede evidenciar la clara diferencia de tamaño, y con si, las diferentes aplicaciones que se pueden generar a partir de la escala de un mecanismo. Con este MEMS, ya se puede estar hablando de un mecanismo de ginebra que permita un intercambiador de herramientas en una máquina de micro CNC, por nombrar algún ejemplo.

Ahora bien, cabe resaltar que este resultado no es del todo perfecto. En realidad debido a la alta rugosidad de la pieza después de su proceso de manufactura aditiva, el contacto entre piezas no era nada suave y muy conflictivo, por lo que mediante papel lija y bisturí fue necesario mejorar este



Figura 6.



Figura 7.

acabado para generar superficies más lisas que permitieran el accionamiento sencillo del mecanismo.

V. CONCLUSIONES

El artículo presentó un enfoque innovador para la fabricación de un mecanismo de ginebra MEMS utilizando la tecnología de impresión FDM y siguiendo la metodología de diseño DIPP. La evaluación de la manufacturabilidad de la impresión FDM fue realizada utilizando la escala de evaluación de procesos de manufactura aditiva de la Universidad de Purdue.

Los resultados demostraron que el proceso de impresión FDM es adecuado para la fabricación de mecanismos de ginebra MEMS con alta precisión y calidad de superficie. El uso de la metodología de diseño DIPP también permitió la optimización del diseño del mecanismo para la impresión FDM.

Además, la evaluación de manufacturabilidad mediante la escala de Purdue proporcionó información valiosa sobre las características del proceso de impresión FDM y su impacto en la calidad del producto final.

En general, el estudio mostró que la tecnología de impresión FDM y la metodología de diseño DIPP son herramientas valiosas para la fabricación de mecanismos de ginebra MEMS

con alta precisión y calidad de superficie, lo que puede tener aplicaciones en una amplia gama de campos, incluyendo la robótica y la microelectrónica.

REFERENCIAS

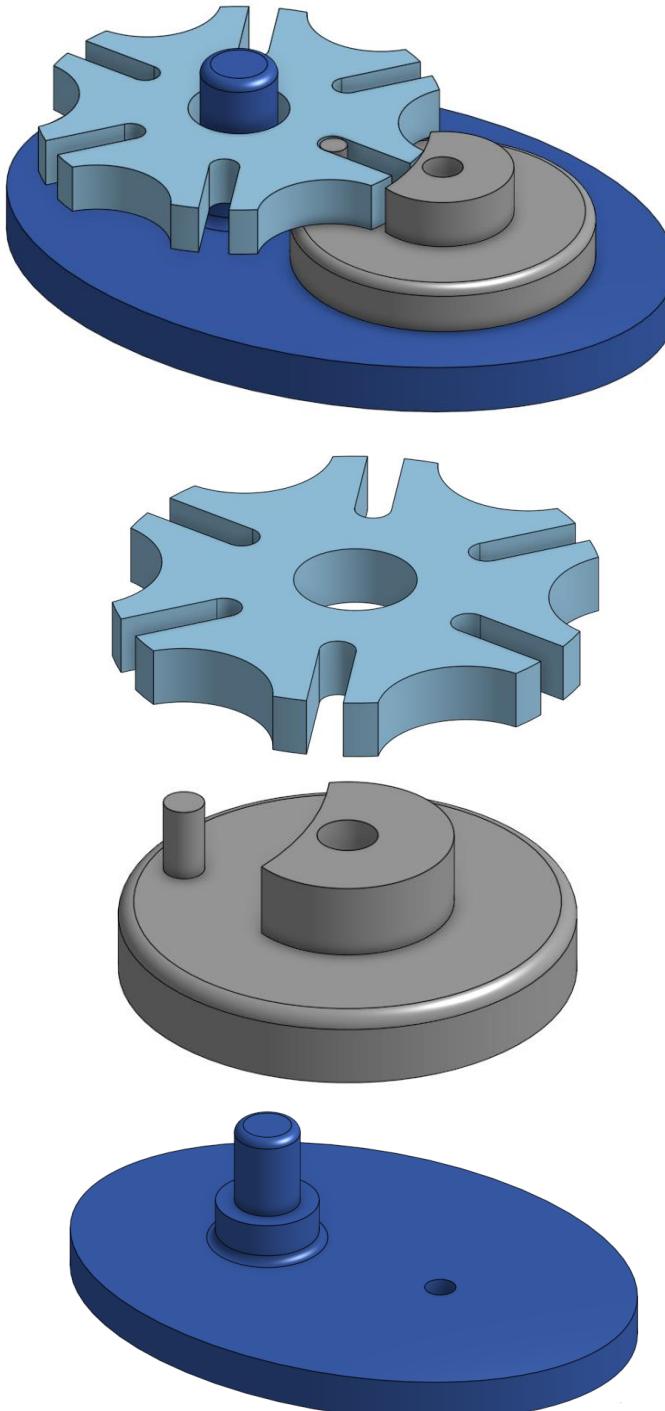
- [1] Tutorial Proceso de Impresión FDM-UN, DIMA UN, Ernesto Córdoba Nieto, David Sebastian Matamoros Buitrago Juan Camilo Gómez Robayo, S.F.
- [2] The Design for Additive Manufacturing Worksheet by Joran WI Booth, 2015
- [3] Krupp, Tony. "Make Geneva Wheels of Any Size in a Easier Way". Instructables, 20 de enero de 2016, <https://www.instructables.com/Make-Geneva-Wheels-of-Any-Size-in-a-Easier-Way/>

Design for Additive Manufacturing

A quick method for reducing the number of printing and prototyping failures, by Joran Booth

Instructions: Mark one for each category for the part you plan to print. Check daggers and stars first, then scores

Mark One	Complexity Simple parts are inefficient for AM	Mark One	Functionality AM parts are light and medium duty	Mark One	Material Removal Support structures ruin surface finish	Mark One	Unsupported Features Unsupported features will drop	Sum Across Rows	Totals
+ ●	The part is the same shape as common stock materials, or is completely 2D 	* ○	Mating surfaces are bearing surfaces, or are expected to endure for 1000+ of cycles 	○	The part is smaller than or the same size as the required support structure 	○	There are long, unsupported features 	x5 =	5
* ○	The part is mostly 2D and can be made in a mill or lathe without repositioning it in the clamp 	* ●	Mating surfaces move significantly, experience large forces, or must endure 100-1000 cycles. 	○	There are small gaps that will require support structures 	○	There are short, unsupported features 	x4 =	4
○	The part can be made in a mill or lathe, but only after repositioning it in the clamp at least once 	○	Mating surfaces move somewhat, experience moderate forces, or are expected to last 10-100 cycles 	○	Internal cavities, channels, or holes do not have openings for removing materials 	○	Overhang features have a sloped support 	x3 =	0
○	The part curvature is complex (splines or arcs) for a machining operation such as a mill or lathe 	○	Mating surfaces will move minimally, experience low forces, or are intended to endure 2-10 cycles 	○	Material can be easily removed from internal cavities, channels, or holes 	○	Overhanging features have a minimum of 45deg support 	x2 =	0
○	There are interior features or surface curvature is too complex to be machined 	○	Surfaces are purely non-functional or experience virtually no cycles 	●	There are no internal cavities, channels, or holes 	●	Part is oriented so there are no overhanging features 	x1 =	2
Mark One	Thin Features Thin features will almost always break	Mark One	Stress Concentration Interior corners must transition gradually	Mark One	Tolerances Mating parts should not be the same size	Mark One	Geometric Exactness Large, flat areas tend to warp	+	
○	Some walls are less than 1/16" (1.5mm) thick 	○	Interior corners have no chamfer, fillet, or rib 	○	Hole or length dimensions are nominal 	●	The part has large, flat surfaces or has a form that is important to be exact 	x5 =	5
●	Walls are between 1/16" (1.5mm) and 1/8" (3mm) thick 	○	Interior corners have chamfers, fillets, and/or ribs 	●	Hole or length tolerances are adjusted for shrinkage or fit 	○	The part has medium-sized, flat surfaces, or forms that are should be close to exact 	x3 =	6
○	Walls are more than 1/8" (3mm) thick 	●	Interior corners have generous chamfers, fillets, and/or ribs 	○	Hole and length tolerances are considered or are not important 	○	The part has small or no flat surfaces, or forms that need to be exact 	x1 =	1



Citation: The Design for Additive Manufacturing Worksheet, by Joran W. Booth, 2015. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NoDerivatives



© DESIGN LAB

REID

Standard Ratios

- Consider a different manufacturing process
 - Strongly consider a different manufacturing process

Total 8

- | Total Score | |
|-------------|--------------------------------|
| 33-40 | Needs redesign |
| 24-32 | Consider redesign |
| 16-23 | Moderate likelihood of success |
| 8-15 | Higher likelihood of success |

Overall Total

De
onial

