

ANÁLISIS DE LA LÍNEA TEMPORAL

DISEÑO, DESARROLLO E IMPRESIÓN 3D DE UN RELOJ DE AGUA



Jaime López Estrada, Daniel Rodes Morales
Tutores: Miguel López Espejo*, María Muñoz Guillermo**, Dolores Ojados González**
Instituciones participantes: *IES Domingo Valdivieso y **Universidad Politécnica de Cartagena.



Introducción

El tiempo es algo inherente al ser humano, algo que ha quedado de manifiesto tras el descubrimiento de los estadounidenses Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash y Michael W. Young acerca de los mecanismos moleculares que controlan el ritmo circadiano, y por el que obtuvieron el Nobel de Medicina en 2017, Las células tienen “relojes internos” que se sincronizan con el movimiento de la Tierra. Medir el tiempo ha sido siempre una necesidad.

En este trabajo estudiaremos uno de los primeros métodos de medida del tiempo, la clepsidra (del griego “ladrón de agua”) o reloj de agua. Este utensilio consta de dos recipientes, el superior lleno de agua, con un orificio en su base se va vaciando, de forma que la variación de la altura respecto al tiempo es constante, llenando el recipiente inferior. Este sistema aparece como alternativa al reloj de sol ya que este último dependía de las condiciones climáticas y el ser humano comenzó a usarla sobre el 1400 a. C. La invención de este artefacto se atribuye al egipcio Amenemhet, s. XVI a. C., (Berlev, 1997) y la clepsidra más antigua se ha encontrado en la tumba del faraón Amenhotep I (1525-1504 a. C.). Además, se tiene constancia de que Pompeya decretó su uso para limitar el discurso de los oradores romanos, así como que Julio César la utilizó en Gran Bretaña para verificar que las noches eran más cortas en Roma. Se usaba además para limitar las vigilancias nocturnas y las jornadas de esclavos.



Figura 1.- De izquierda a derecha, Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash y Michael W. Young



Figura 2.- La clepsidra o reloj de agua

Objetivos

- Comprender el funcionamiento de un reloj de agua
- Realizar el diseño y desarrollo matemático de la geometría de un reloj de agua

- Usar herramientas CAD para comprobación del diseño matemático
- Realizar la simulación de funcionamiento de la clepsidra antes de su fabricación
- Obtener el objeto físico mediante impresión 3D
- Conocer y emplear aplicaciones informáticas y nuevas tecnologías en el cálculo y aprendizaje

Planteamiento del problema

Para el diseño de la clepsidra se requiere una función $y(x)$ tal que al girarla alrededor del eje OY permita obtener un sólido de revolución con las condiciones requeridas. La clepsidra tiene una forma tal que la variación del nivel del fluido respecto al tiempo es constante, es decir, $\frac{dy}{dt} = k(\text{cm/s})$. Por otra parte, al ser un volumen de revolución,

$$\frac{dV}{dt} = \pi x^2 \frac{dy}{dt},$$

siendo $\frac{dV}{dt}$, la variación del volumen respecto del tiempo. Sustituyendo, obtenemos que

$$\frac{dV}{dt} = \pi x^2 k.$$

Por otra parte, utilizando la Ley de Torricelli,

$$\pi x^2 k = C \pi a^2 \sqrt{2g y(x)},$$

siendo a el radio del orificio de salida (en cm), $g \approx 980 \text{ cm/s}^2$ la gravedad terrestre, y C , una constante que depende del fluido. Despejando se obtiene la solución general

$$y(x) = \frac{k^2}{2a^4 g C^2} x^4$$

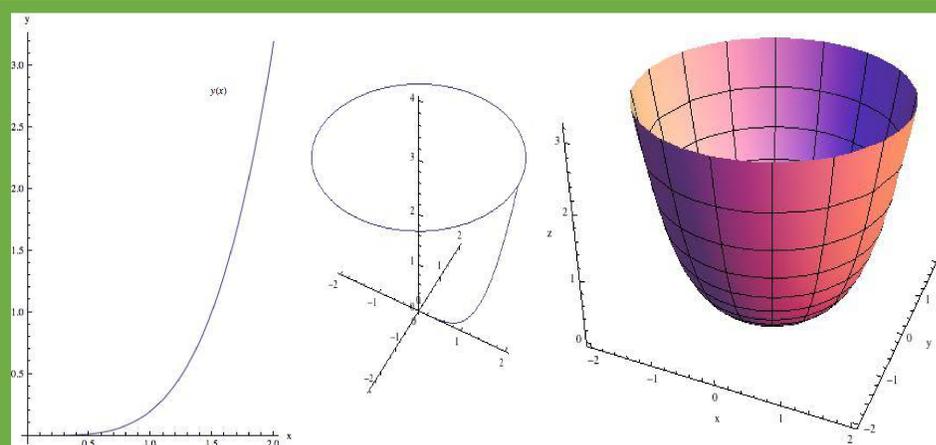


Figura 3.- Superficie resultante al revolucionar la función obtenida alrededor del eje OY

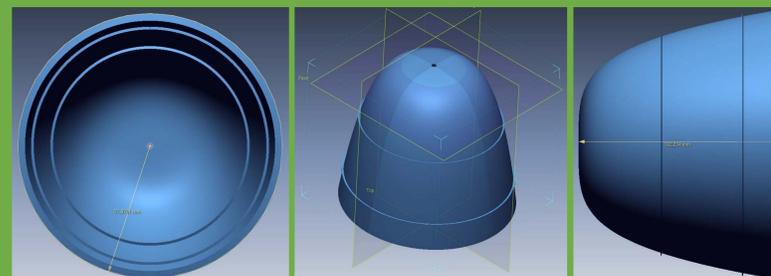


Figura 4.- Resultado del diseño CAD de la clepsidra

Procedimiento

La geometría se obtiene resolviendo la ecuación planteada para diferentes valores (x,y) mediante el software Mathematica, con el que también se lleva a cabo una simulación de funcionamiento para encontrar los parámetros más adecuados para el modelo.

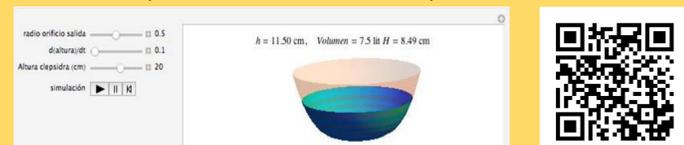


Figura 5.- Simulación en Mathematica. Código QR para visualizar simulación

El modelo sólido resultante al aplicar espesor a la superficie obtenida en Mathematica se exporta al lenguaje usado por las impresoras 3D, stl (esteriolitografía), este archivo se comprueba en un software CAD, SolidWorks en este caso, y se corrigen defectos detectados en triangulaciones mediante el software Rapidform específico para tratamiento de malla.

La clepsidra se obtiene por fabricación aditiva con la máquina OBJET30pro de tecnología Polyjet (micro-inyección de resina líquida fotopolimerizable por luz ultravioleta) y el software asociado ObjectStudio, disponibles en el SAIT de la UPCT. La impresión 3D tarda en total 71 horas y precisa 820 g de material soporte y 572 g de material modelo, el material empleado es VeroClear.

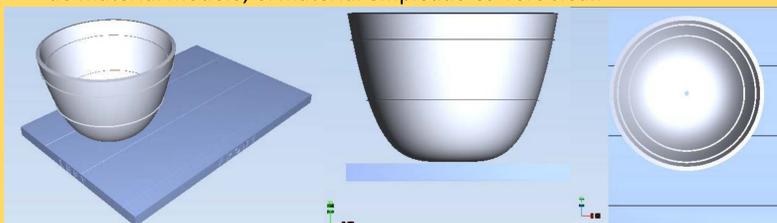


Figura 6.- Software ObjectStudio. Proceso de fabricación aditiva de la clepsidra

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos son:
 Altura = 100mm
 Anchura máxima = 140mm
 Espesor = 6mm
 Radio del orificio de salida = 4mm
 Volumen = 513cm³

Se ha podido comprobar sobre la clepsidra final su correcto funcionamiento mediante una prueba experimental.



Figura 7.- Clepsidra terminada



Código QR de acceso al vídeo de funcionamiento de la clepsidra fabricada

Bibliografía

- Anónimo. (28 de Febrero de 2012). Xataka ciencia. Obtenido de Xataka ciencia: <https://www.xatakaciencia.com/sabias-que/10-metodos-para-medir-el-tiempo-ii>
- Arróyave, T. R. (30 de Diciembre de 2007). alainet. Obtenido de alainet: <https://www.alainet.org/es/active/21420>
- Berlev, O. (1997). Bureaucrats. En S. Donadoni, The Egyptians (R. Bianchi, Trad., pág. 118). Chicago: The University of Chicago Press.
- Díaz, E. (14 de Mayo de 2014). Prezi. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/pa44pgvi01ee/la-necesidad-del-hombre-de-medir-el-tiempo/>
- Hawking, S. (1998). Historia del tiempo: Del Big bang a los agujeros negros. Grijalbo.
- McNown, J. S. (1976). When time flowed. History of the Clepsydra. La Houille Blance (5), 347-353.
- O'Grady, E. (31 de enero de 2018). demonstrations.wolfram.com. Recuperado el 2018, de Time to Drain a Tank Using Torricelli's Law: <http://demonstrations.wolfram.com/TimeToDrainATankUsingTorricellisLaw/>
- Oliveras, J. (29 de Enero de 2015). Hidrojing. Obtenido de Hidrojing: <http://www.hidrojing.com/clepsidra-o-como-medir-el-tiempo-con-agua/>

Agradecimientos

Queríamos dar las gracias a nuestras tutoras de la UPCT, María Muñoz y Dolores Ojados por guiarnos a través del trabajo de investigación. También dar las gracias a Miguel López por ser nuestro tutor en el IES, y a Esperanza Rodríguez y a María del Pilar Alcaraz por ser nuestras profesoras de investigación.