



Las matemáticas que nos rodean:
“*las figuras de sección constante*”

Una moneda, una tapa de alcantarilla y las secciones del cohete acelerador del Challenger

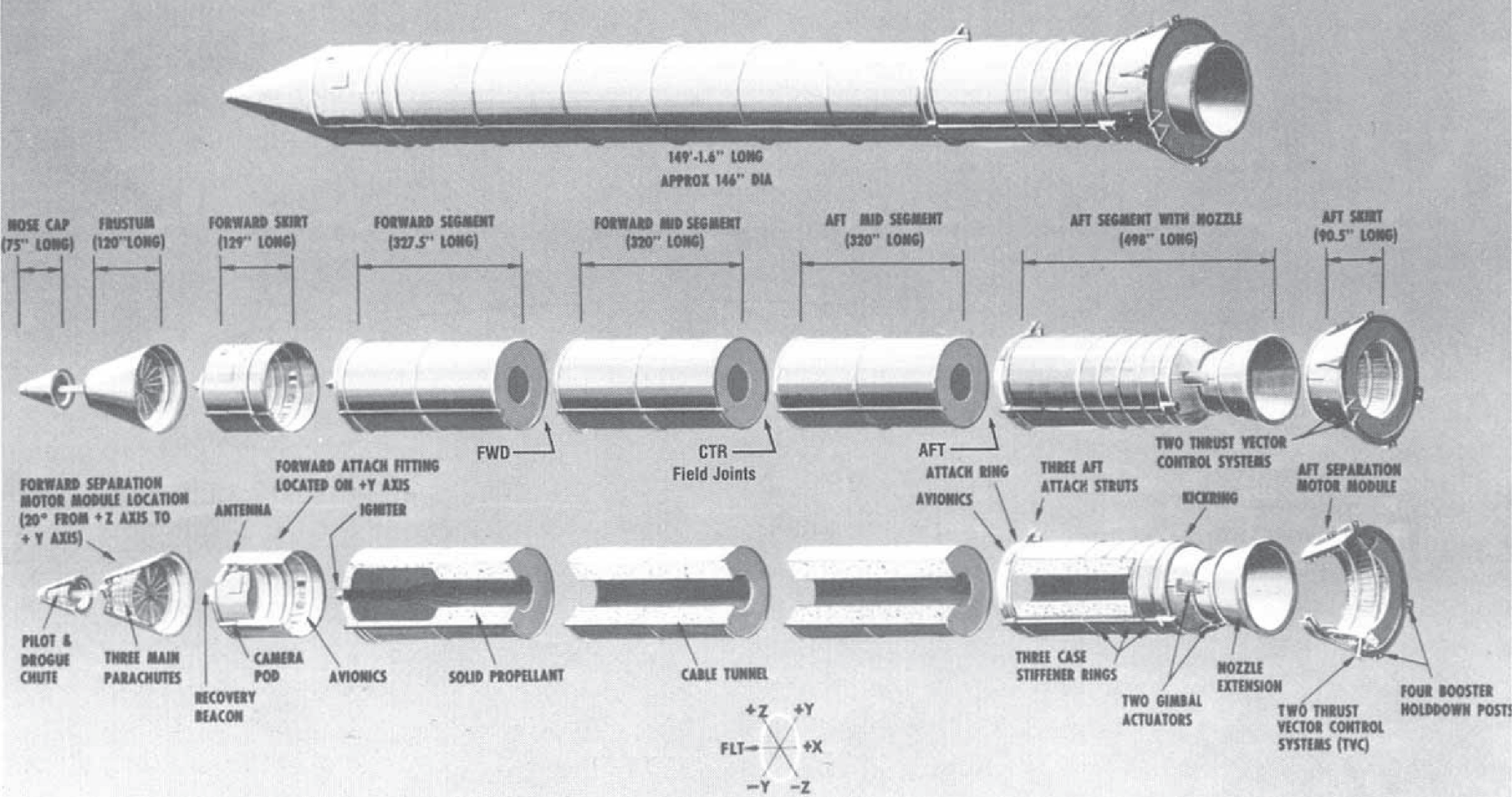
ESTIBALIZ DURAND CARTAGENA

Dpto.. MATEMÁTICA APLICADA I

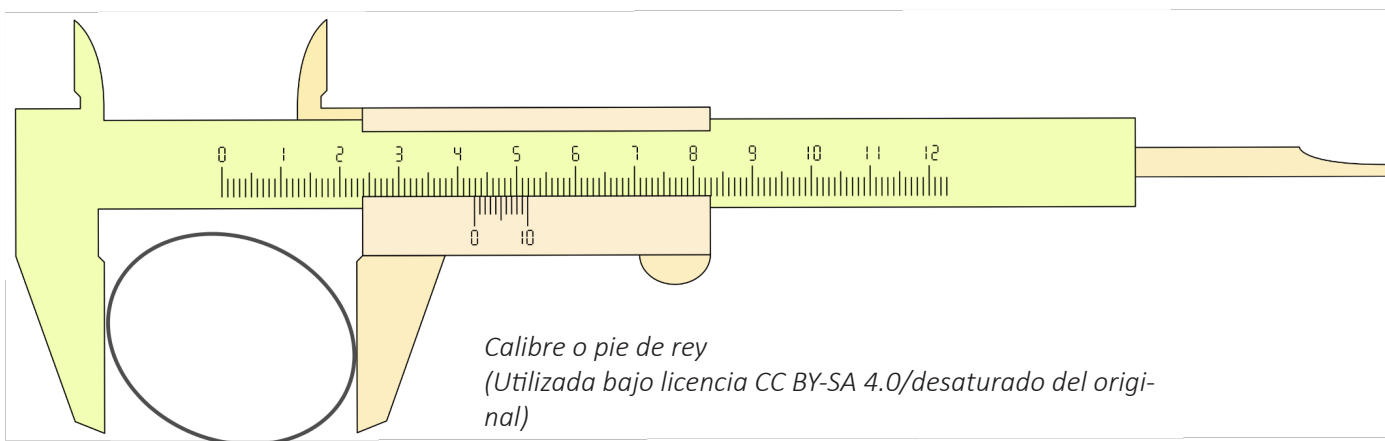
El 28 de enero de 1986, el transbordador espacial Challenger se desintegró pocos segundos después de su lanzamiento, hecho que provocó la muerte de sus siete tripulantes. Tras el accidente, Ronald Reagan nombró una comisión presidida por W. P. Rogers, antiguo secretario de estado de Estados Unidos, para determinar las posibles causas del fatídico episodio. De dicha comisión formaban parte, entre otros, astronautas, ingenieros y astrónomos cercanos a la NASA, pero también el Premio Nobel de Física, Richard

Feynman. En el informe elaborado por la comisión Rogers, se señaló, como principal causa del accidente, el fallo de una de las juntas tóricas del cohete acelerador sólido derecho.

Para su despegue, el Challenger contaba con dos cohetes aceleradores sólidos (SRB, *Solid Rocket Boosters*) que, una vez acabado su combustible, salían expulsados del transbordador para después ser recuperados en el océano. Tras detectar posibles desgastes por el impacto, los cohetes se reutilizaban en posteriores misiones.



Arriba: Imagen tomada del Informe de la comisión Rogers [1].



Calibre o pie de rey
(Utilizada bajo licencia CC BY-SA 4.0/desaturado del original)

chura en tres direcciones diferentes y asegurarse de que el valor era siempre el mismo.

Y aquí llegamos al quid de la cuestión.

Imaginemos que nos dan una figura que aparentemente parece un círculo, pero queremos estar seguros de que realmente lo es. Medimos su anchura en diferentes direcciones, en una, en dos, en tres, en mil direcciones, y siempre nos da lo mismo: ¿Podemos concluir que se trata de un círculo?

Si queremos medir la anchura de una figura plana en una dirección concreta, dibujamos dos rectas paralelas entre sí y perpendiculares a la dirección escogida, para moverlas hasta que *encierren* a la figura o, dicho de otra manera, hasta que las rectas sean tangentes a los dos bordes opuestos de la figura. Bueno, eso si eres matemático. Si eres ingeniero, probablemente uses un calibre o pie de rey. La anchura se define entonces como la distancia entre las dos rectas paralelas o, lo que es lo mismo, la medida que me indique la escala principal del calibre. Notemos que, de manera análoga, para un sólido en el espacio se usarían planos en vez de rectas.

Los cohetes se componían de diferentes segmentos en forma de tubo cilíndrico y ensamblados con ayuda de juntas tóricas. Después del impacto, se determinaba si los segmentos seguían siendo cilindros *perfectos* o bien se habían deformado. Una vez se les devolvía su forma cilíndrica, se volvían a ensamblar.

Según los técnicos, el procedimiento para determinar si las secciones de estos tubos cilíndricos seguían siendo realmente circulares, era medir su an-

Feynman apuntó que no era válido el método que estaban usando los técnicos para determinar si las secciones

del cohete acelerador eran realmente circulares. Para ello, dibujó esta simple figura:

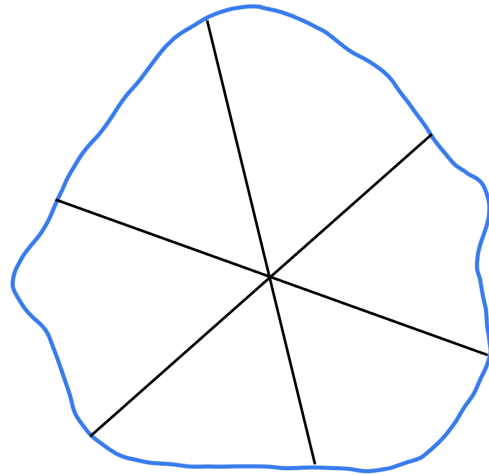


Figura dibujada por Feynman (Imagen reproducida del libro [2])

Observemos que la anchura es constante en tres direcciones y, sin embargo, la figura no es, ni de lejos, un círculo. En uno de los puntos del informe final de la comisión Rogers se resalta lo siguiente [1]:

“Los registros del lanzamiento muestran que los segmentos del cohete acelerador sólido derecho fueron ensamblados siguiendo procedimientos válidos, pero, sin embargo, se detectó que había secciones de los segmentos que no eran del todo circulares.”

Este tipo de figuras eran viejas conocidas en geometría, usadas por Leonardo Da Vinci o Euler en distintos estudios.

Incluso habían aparecido anteriormente como elementos decorativos en la arquitectura gótica.

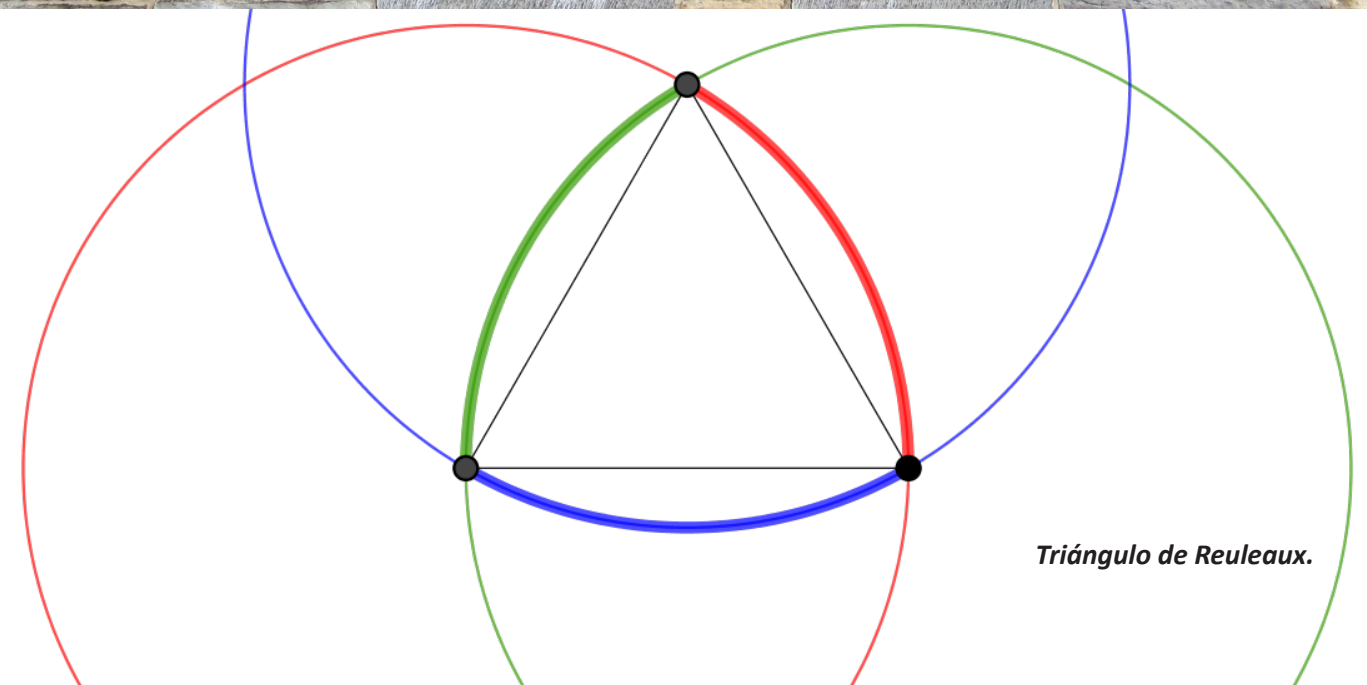
Las figuras de anchura constante son figuras convexas cuya anchura en cualquier dirección es siempre la misma. Después del círculo, la más conocida es el triángulo de Reuleaux. Para dibujar dicho triángulo, partimos de un triángulo equilátero y, centrándonos en cada uno de sus vértices, dibujamos un arco de circunferencia que pase por los dos vértices restantes. El espacio que delimitan los tres arcos se conoce como triángulo de Reuleaux.

Desde un punto de vista matemático, este triángulo es muy especial, ya que, de entre todas las figuras de anchura constante dada, el triángulo de Reuleaux es el que tiene la menor área (Teorema de Blaschke-Lebesgue). En contrapartida, no rueda igual de bien que un círculo, ya que su centro de rotación no es fijo.

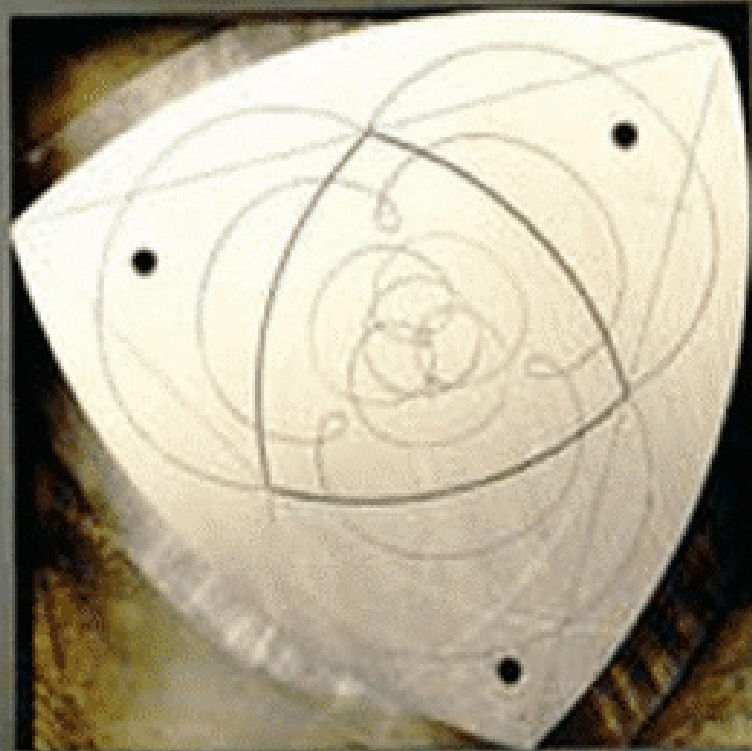
Franz Reuleaux, de profesión ingeniero, inventó en el siglo XIX una serie de polígonos de anchura constante (incluyendo al triángulo de Reuleaux) que usó en el diseño de diferentes mecanismos con la ayuda de la compañía *Gustav Voigt*. Aunque gran parte de estos mecanismos se han perdido, la Universidad de Cornell tiene un catálogo muy completo que se puede consultar en línea (ver [4]).



“Iglesia de Nuestra Señora, Brujas (siglos XIII-XV). Utilizada bajo licencia CC BY-SA 3.0



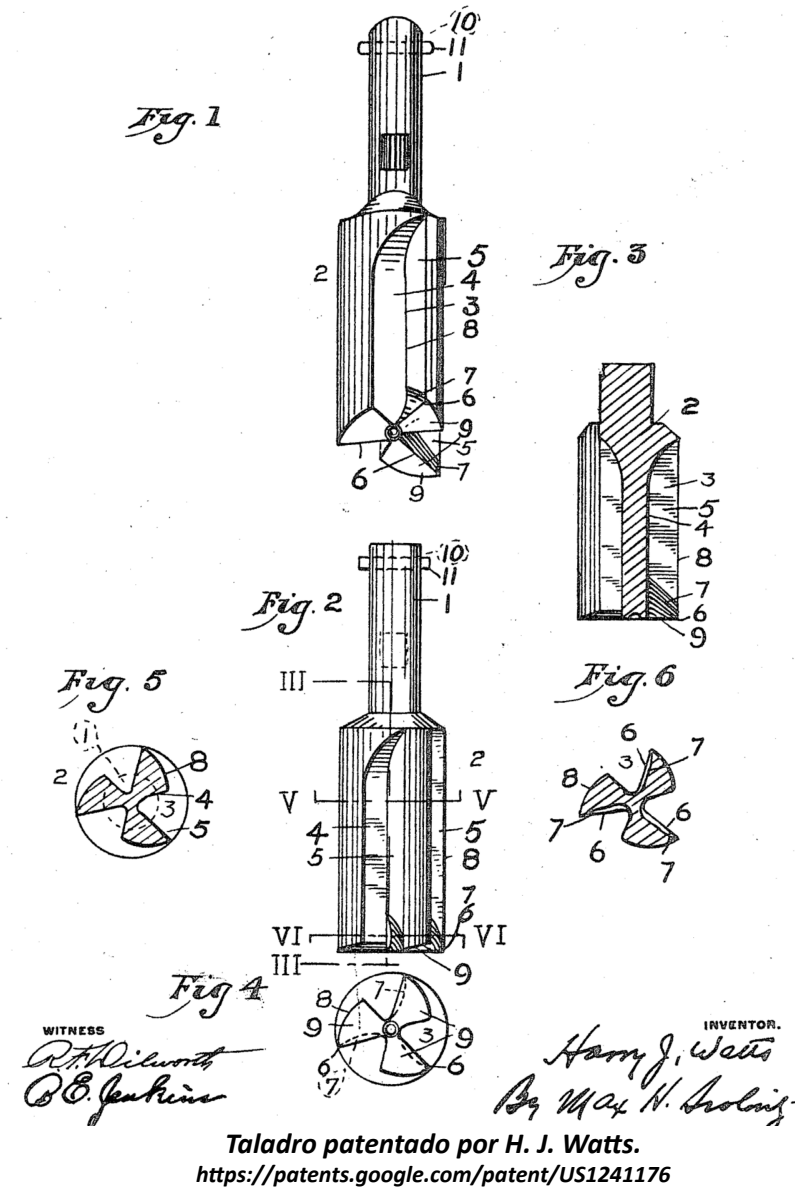
Mecanismo diseñado por Franz Reuleaux [4]



Harry J. Watts, ingeniero británico, que algunas fuentes relacionan con James Watts, el inventor de la máquina de vapor, creó una serie de patentes para realizar agujeros con formas poligonales. En concreto, en 1917, patentó un taladro para realizar agujeros cuadra-

dos basado en el triángulo de Reuleaux. En uno de los panfletos de la compañía que fundó, *Watts Brothers Tool Works* (con sede en Pensilvania, EE. UU.), se podía leer [5]:
"Todos hemos oído hablar de llaves inglesas para zurdos, bañeras forradas de

H. J. WATTS.
 DRILL OR BORING MEMBER.
 APPLICATION FILED NOV. 1, 1916.
 1,241,176.
 Patented Sept. 25, 1917.



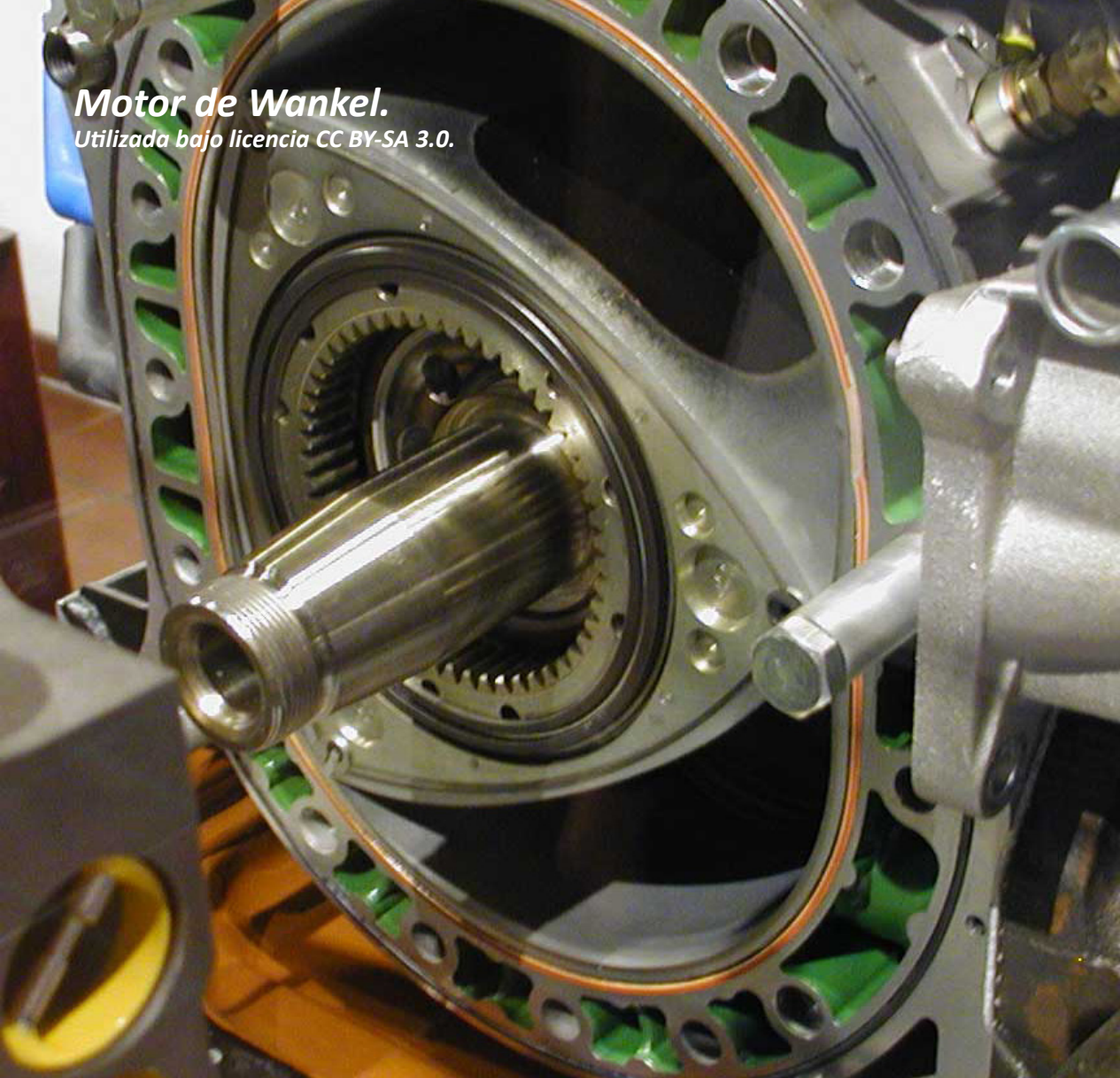
piel o plátanos de hierro fundido. Todos hemos tachado esos objetos de ridículos y nos resistimos a creer que puedan existir, hasta que ahora aparece una herramienta que taladra agujeros cuadrados."

A nuestros compañeros de motores,

este tipo de diseños seguro que les recuerdan a un motor de Wankel. Sin embargo, los lados del triángulo usado en el rotor de dicho motor son ligeramente más planos que el de un triángulo de Reuleaux y, de hecho, no tiene anchura constante.

Motor de Wankel.

Utilizada bajo licencia CC BY-SA 3.0.



En nuestro día a día, las figuras de anchura constante también cobran importancia, sin que quizá lo sepamos nosotros mismos. Por ejemplo, la tapa de una alcantarilla tiene anchura constante ya que, si en alguna dirección tuviera una anchura menor a las demás, la tapa se podría caer por el hueco. De la misma manera, si introdujéramos una moneda de anchura no constante por una máquina expendedora, podría que-

darse encajada si no se lanza correctamente.

Si bien es cierto que la mayoría de estos objetos son redondos, encontramos, por ejemplo, diferentes monedas en Reino Unido con forma de polígonos de Reuleaux o alcantarillas *triangulares* en Estados Unidos. No debemos olvidar que, desde el punto de vista del coste de fabricación, la forma óptima de diseñar una moneda o una alcantarilla



Alcantarilla con forma de triángulo de Reuleaux y moneda de 50 peniques con forma de heptágono regular de Reuleaux.

de una anchura dada sería en forma de triángulo de Reuleaux, ya que es la forma que necesita menos material para ser fabricada.

Para terminar, hagamos un ejercicio de memoria. Apuesto una moneda de 50 peniques, con forma de heptágono regular de Reuleaux, a que en casa encontramos algún objeto de anchura constante distinto del círculo:

¿eres aficionado a la guitarra?

¿te gusta alguna marca en particular de caramelos de menta?

¿con qué tipo de lápiz escribes?

¡Envía tus fotos a [consejoeditorialindxl@ind.uned.es!](mailto:consejoeditorialindxl@ind.uned.es)

REFERENCIAS

[1] Report to the President: By the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident. June 6th,

1986. Washington, D.C.

<https://history.nasa.gov/rogersrep/v1ch4.htm>

[2] R. P. Feynman: ¿Qué te importa lo que piensen los demás? Alianza editorial, 2015.

[3] M. Parker. Humble Pi: A Comedy of Maths Errors. Editorial Penguin, 2020.

[4] Reuleaux Collection of Mechanisms and Machines. Kinematic Models for Design Digital Library developed at Cornell University. <https://digital.library.cornell.edu/collections/kmoddl>

[5] Watts Patented Full Floating Chucks and Drills for Drilling Square, Pentagon, Hexagon and Octagon Holes, Catalog No. 18, 1950-1951. ■