

## EL MUNDO MODERNO Y LA PRECISIÓN

Historia de las Teorías Arquitectónicas. Universidad Rey Juan Carlos – 1er Curso- 21.04.2026



Fotograma de la película *Tiempos Modernos* de Charles Chaplin, 1936. Fuente: Hipertextual.

## LA PRECISIÓN – UNA HISTORIA SOBRE LA R.I.

Winchester, Simon (2021). *Los perfeccionistas: Cómo la precisión creó el mundo moderno*. Madrid, Turner.

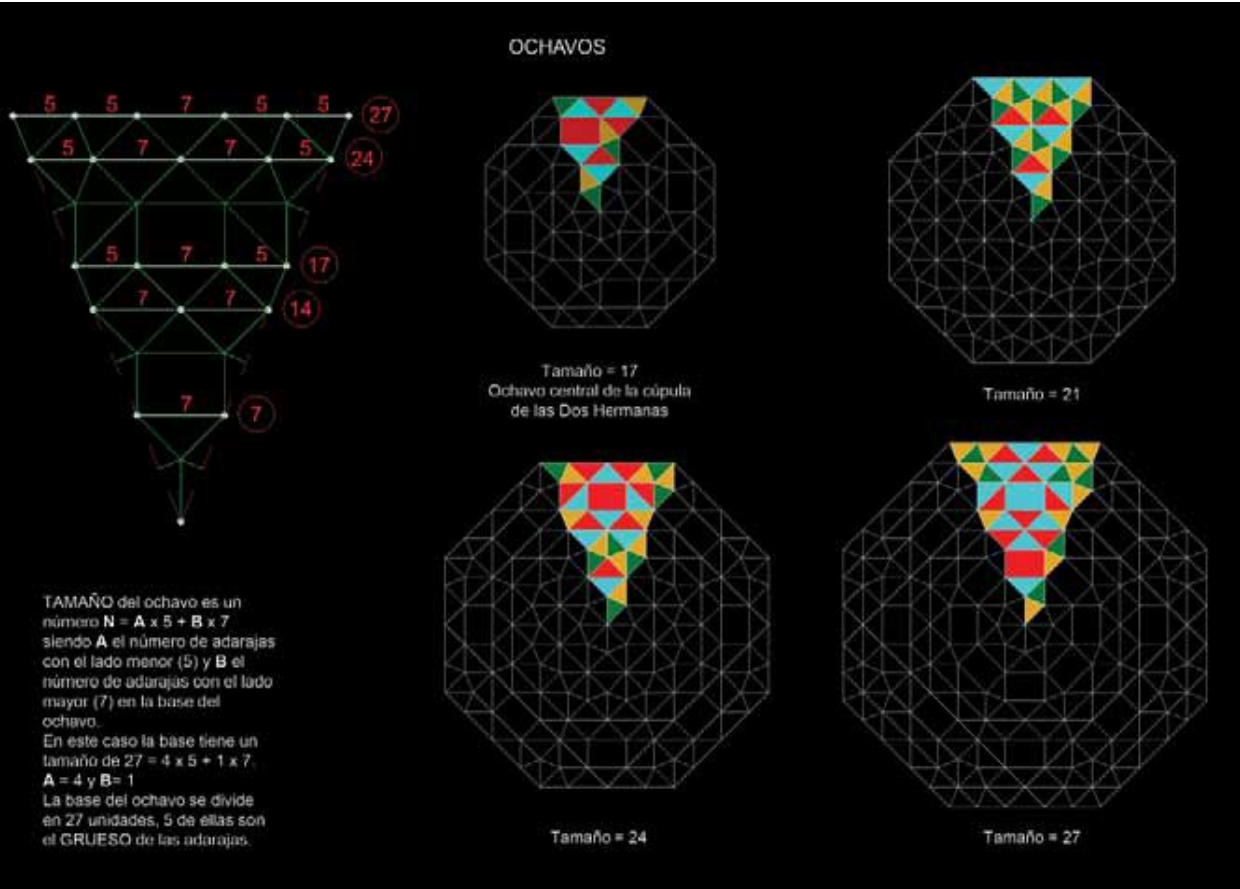
«Sabemos que todas las máquinas tienen que ser precisas; nos damos cuenta de que aparatos importantes para nosotros tienen partes que se acoplan con precisión y funcionan casi a la perfección, y probablemente todos damos por hecho que cuanto más precisas son las cosas, mejores son. Al mismo tiempo es algo que damos por sentado, que pasa casi siempre desapercibido, sobre el que raras veces reflexionamos, al menos nosotros los legos. Y, sin embargo, allí está siempre, **es un aspecto esencial de la modernidad que hace la modernidad posible**.

No siempre ha sido así. La precisión tuvo un comienzo. La precisión tiene una fecha de nacimiento establecida e incontrovertible. La precisión es algo que se desarrolló con el tiempo, aumentó, cambió, evolucionó y tiene un futuro para algunos muy obvio y, extrañamente, para otros más bien incierto» (Winchester, 2021, p. 17).

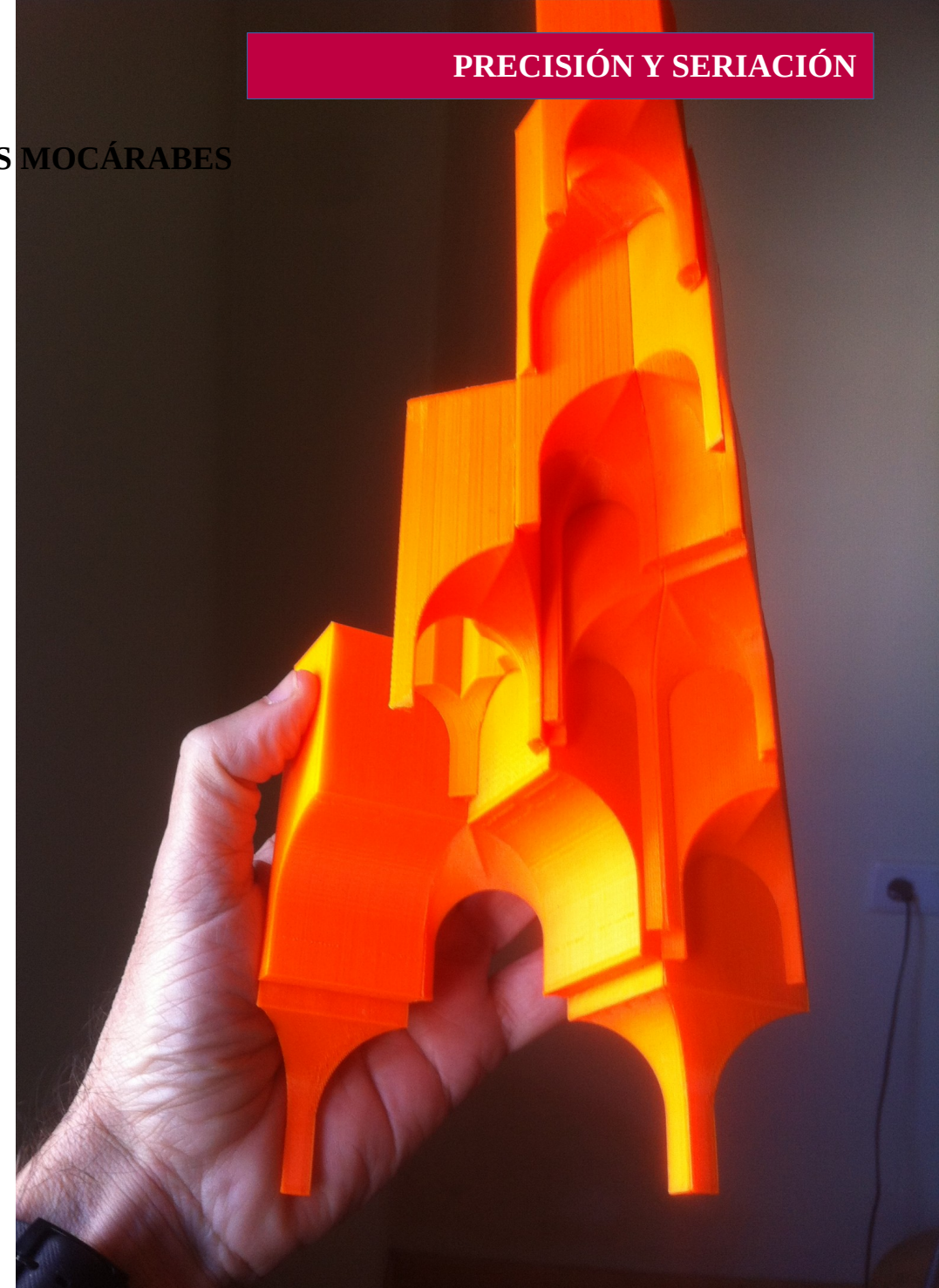
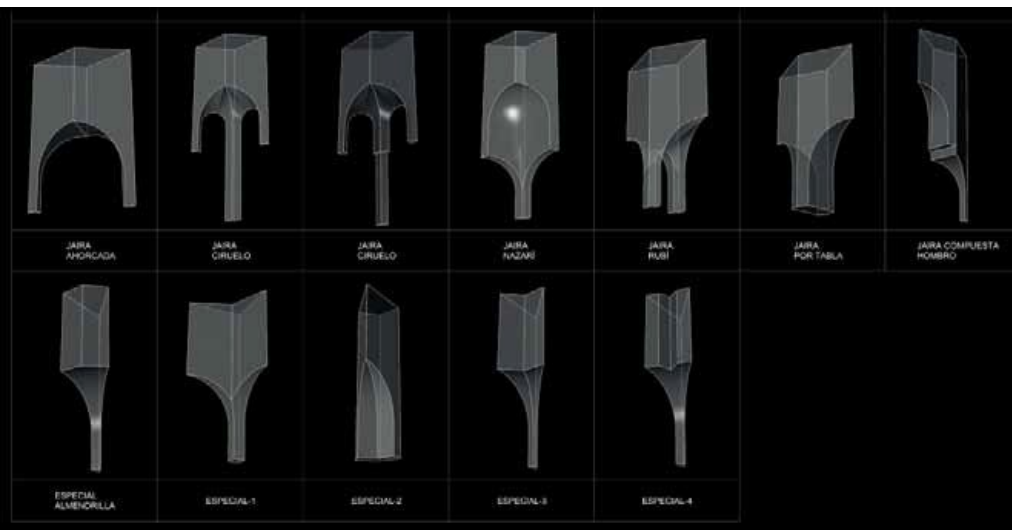
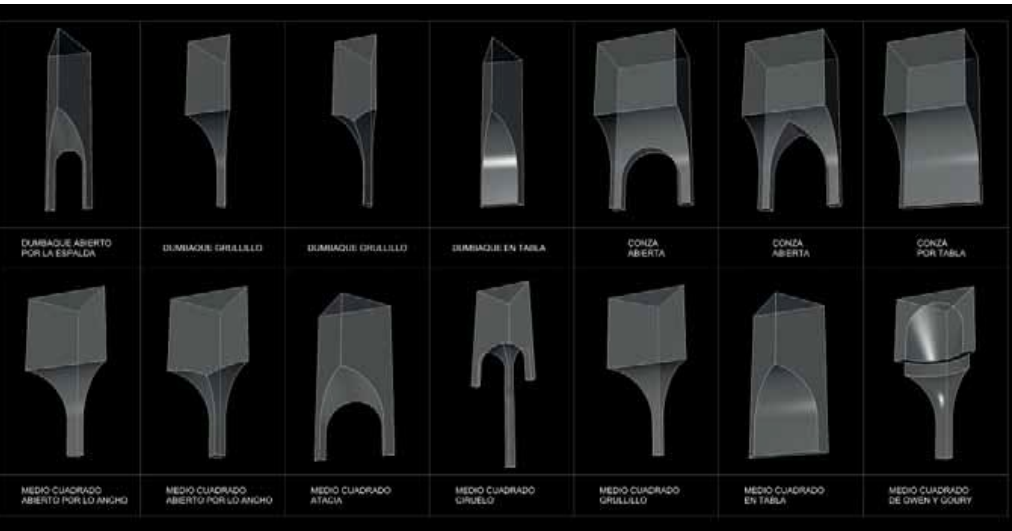
«Hay dos aspectos particulares de la precisión que quisiera abordar. En primer lugar, **su ubicuidad en la conversación contemporánea**: la precisión es un componente integral, indiscutible y aparentemente esencial de nuestro moderno horizonte social, mercantil, científico, mecánico e intelectual. Permea completamente nuestras vidas. Y, sin embargo – y esta es la segunda cosa que quiero destacar, una ironía muy sencilla –, la mayor parte de nosotros, cuyas vidas están sazonadas y perfumadas por la precisión, **no estamos enteramente seguros, cuando nos detenemos a pensar en ello, de qué es, qué significa y cómo se distingue de conceptos semejantes** como la exactitud, que es lo más obvio de ellos, o sus primos hermanos léxicos: la perfección y el cuidado y de ¡*justo ahí!*!» (Winchester, 2021, p. 21).

«La precisión es un concepto que se inventó, con toda deliberación, para atender una única y bien identificada necesidad histórica. Fue concebida atendiendo a razones rigurosamente prácticas, que muy poco tuvieron que ver con un sueño del siglo XXI de poder confirmar (o no) la existencia de vibraciones procedentes del choque de estrellas lejanas. Tuvo más bien que ver con el muy pragmático descubrimiento de principios del siglo XVIII, de que había un asunto urgente para la física relacionado con el poder potencialmente increíble de esa forma de agua de temperatura elevada que desde el siglo anterior se conocía y había definido con la palabra *vapor*. **El origen de la precisión se deriva de la posibilidad que entonces se imaginó de contener, manejar y dirigir ese vapor**, esa invisible forma gaseosa de agua hirviendo, para generar fuerza y pensar que esta podría ponerse a trabajar en beneficio (quizá, con algo de suerte) de toda la humanidad» (Winchester, 2021, p. 31).

LA PRECISIÓN – PRECEDENTES- ARTESONADOS MOCÁRABES



LA PRECISIÓN – PRECEDENTES- ARTESONADOS MOCÁRABES



## LA PRECISIÓN – PRECEDENTES

Una historia con **precedentes**: el reloj descubierto en 1901 cerca de Anticitera y que había sido construido en el siglo II AC y que seguía el calendario lunar griego.

En 1714 se creó en Londres un Consejo de la Longitud y se ofreció un premio de veinte mil libras esterlinas a aquel que lograra determinar la longitud con una diferencia no mayor a treinta millas náuticas. Fue John Harrison quien consiguió la recompensa realizando tres relojes fijos y dos relojes marinos de bolsillo. p.40

El hecho de que los relojes de Harrison se hubiesen inventado en Gran Bretaña, y sus réplicas también, permitieron al país convertirse en dueño indiscutible de los mares y océanos del mundo. **La relojería precisa propició la navegación precisa; a navegación precisa trajo consigo el conocimiento y el control de los mares**, así como el poder imperial. p.41



Reconstrucción que muestra cómo pudo ser el mecanismo de Anticitera. Fuente: National Geographic.

## LA PRECISIÓN – WILKINSON Y WATT

John “Iron-Mad” Wilkinson: Para comienzos de 1760 ya era dueño de una fundición considerable en la villa de Bersham. En enero de 1774, donde John Wilkinson, cuya fundición de hornos alimentados con carbón producía semanalmente la nada despreciable cantidad de veinte toneladas de hierro de buena calidad, inventó una técnica para la manufactura de armas. Wilkinson registró una patente, la 1.063 – estamos aún en los comienzos de la historia de las patentes en Gran Bretaña, que se expidieron por primera vez en 1617 – con el título *A New Method of Casting and Boring Iron Guns or Cannon*.

Antes de Wilkinson, los cañones navales -muy especialmente el cañón largo de 32 libras se fundían huecos, con el ánima, a través de la cual se cargaba la pólvora y el proyectil para luego disparar el cañón, preformada mientras el hierro se enfriaba en un molde. El problema con esta técnica es que la herramienta de corte seguía naturalmente el interior del tubo, que para empezar podía no haber sido fundido perfectamente recto. Este procedimiento de terminado y pulido causaba excentricidades en el tubo y el adelgazamiento en las partes de la pared interior del cañón donde la herramienta de corte se desviaba del eje del tubo. Y esos adelgazamientos eran peligrosos: implicaban explosiones, tubos reventados, cañones destruidos y lesiones a los marineros que tripulaban las probadamente peligrosas cubiertas de artillería.

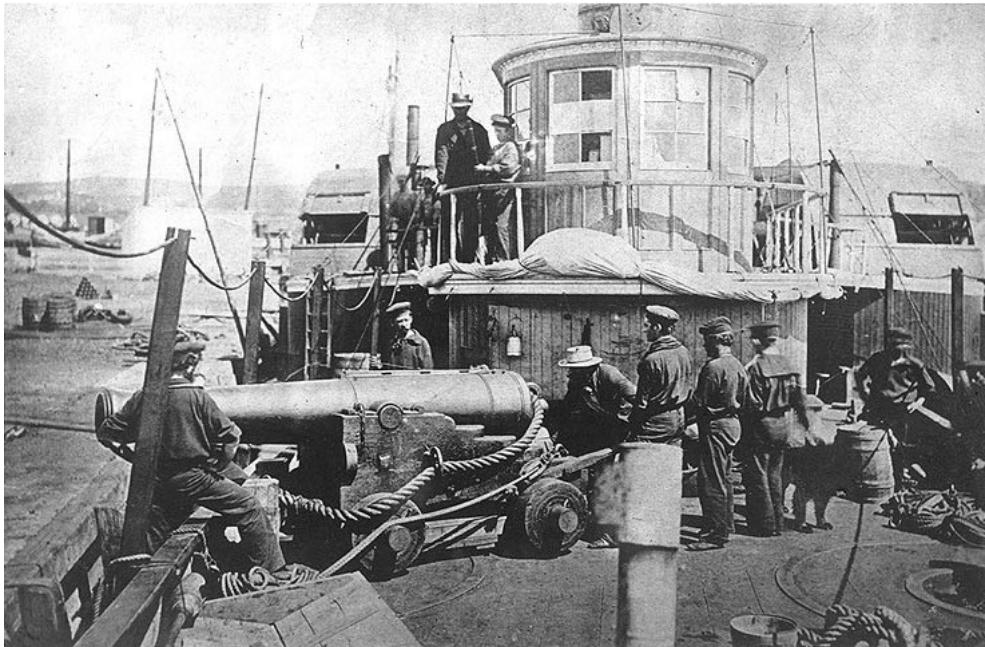


Imagen de un cañón de 32 libras del ejército estadounidense antes de la Guerra Civil, 1861. Fuente: Wikipedia.

## LA PRECISIÓN – WILKINSON Y WATT

Fue entonces cuando apareció John Wilkinson con su novedosa idea. Decidió que no fundiría cañones huecos, sino sólidos. Con ello, para empezar, se aseguraba la integridad de la pieza de hierro. Con el debido cuidado, de los hornos de Bersham podía salir un cilindro macizo de hierro, aun cuando fuera muy pesado, sin las burbujas de aire y las secciones esponjosas ("problemas de panal" se las llamaba) que eran comunes en los cañones de fundición hueca. Pero el verdadero secreto yacía en la horadación del ánima del cañón. **Los dos extremos de la operación, la parte que taladraba y la iba a ser horadada tenían que mantenerse rígidos e inmóviles.** Esto es que una verdad establecida, tan cierta hoy como lo era en el siglo XVIII: para cortar o pulir un objeto con medidas de entera precisión, tanto este como la herramienta tienen que estar tan sujetos y fijos como sea posible para asegurar su inmovilidad.

En la primera instalación del proceso patentado por Wilkinson, el cilindro sólido del cañón se ponía a girar (se rodeaba de una cadena y esta se conectaba a una rueda hidráulica) y un barreno muy afilado para perforar el hierro, fijo en el extremo de una base rígida, se hincaba directamente en la cara de la pieza cilíndrica mientras esta giraba. Esto creaba un agujero, recto y preciso, a medida que la herramienta se iba adentrando en la pieza de hierro. "**Con un barreno rígido y un soporte seguro** -escribió un biógrafo reciente de Wilkinson, tomándose una licencia poética- **tenía que lograrse la exactitud**". En versiones posteriores era el cañón lo que permanecía fijo y el barreno conectado a la rueda hidráulica lo que giraba. En teoría, si el fuste del barreno giratorio era rígido, si estaba soportado en los extremos para mantener su rigidez y, si al adentrarse en el agujero que estaba perforando, la cara del cilindro no se torcía ni giraba ni trastabillaba ni se pandeaba, podía conseguirse un agujero de gran exactitud.

Fue esto efectivamente lo que se obtuvo. Un cañón tras otro rodaba de la máquina, cada cual con las medidas exactas solicitadas por la armada, cada uno, una vez desmontado de la máquina, idéntico al anterior, cada uno con la certeza de ser igual al que enseguida iba a montarse en la máquina. Wilkinson prosperó mucho, su reputación aumentó y se vio inundado de pedidos. Pronto su fundición daba abasto para producir la octava parte de todo el hierro fabricado en el país [...] Sin embargo, **lo que impulsó el nuevo método de Wilkinson al rango de invención transformadora del mundo** y, consecuentemente, plantó a Bersham en el escenario mundial, vendría al año siguiente, en 1775, **cuando empezó a emprender negocios importantes con James Watt.** p.50-51

LA PRECISIÓN – WILKINSON Y WATT

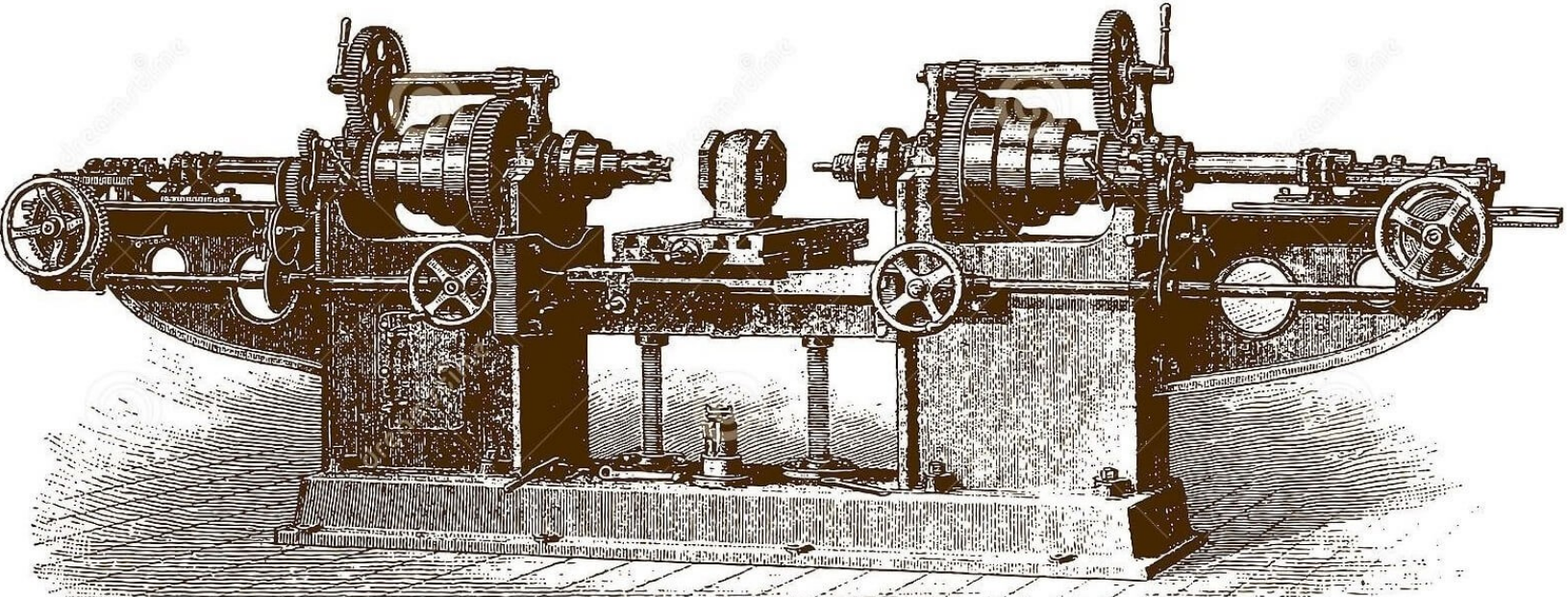
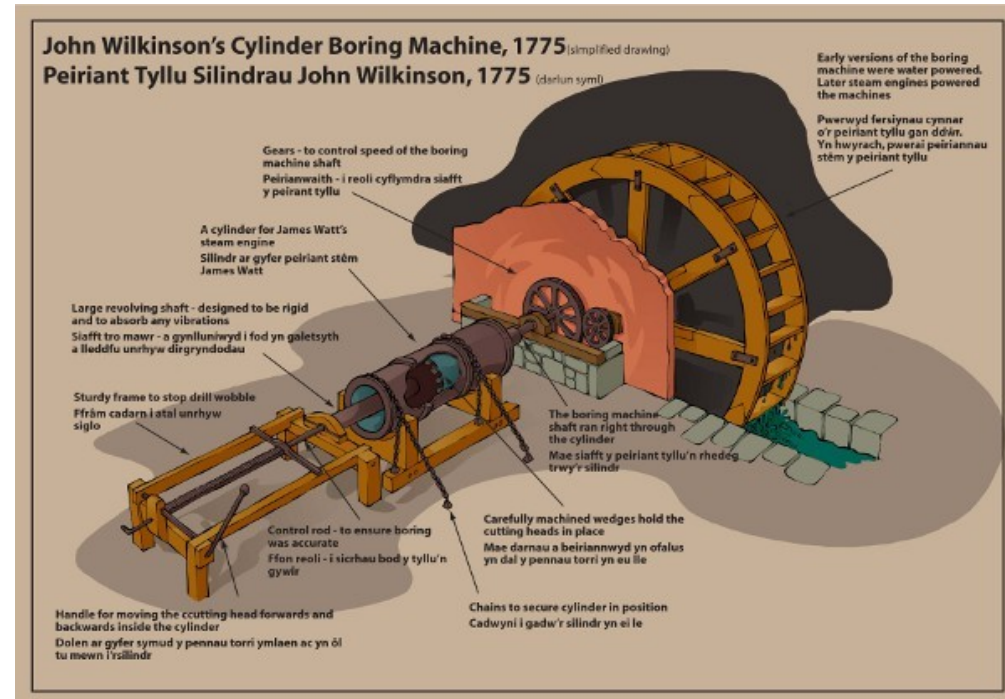


Diagrama con las diferentes partes de la máquina de horadación de Wilkinson e ilustración de una patente. Fuente: PremierEquipment.

## LA PRECISIÓN – WILKINSON Y WATT

El principio de la máquina de vapor es conocido y se basa en el simple hecho físico de que cuando se calienta agua hasta su punto ebullición esta se convierte en gas. Pero **como el gas llena un volumen 1.700 veces mayor al ocupado originalmente por el agua, puede extraérsele trabajo**. Muchos experimentaron con esta posibilidad. Thomas Newcomen, un ferretero de Cornualles, fue el primero en concebir un producto a partir de ese principio

Watt pasó semanas encerrado en sus aposentos estudiando intrigado un modelo de la máquina de Newcomen, famosa por inoperante e ineficiente, por derrochar todo el calor y la energía que se le suministraba. Un domingo de 1765, durante un paseo para reponer energías por un parque del centro de Glasgow, cayó en la cuenta de que la principal ineficiencia de la máquina que había estado estudiando era que el agua fría que se inyectaba al cilindro para lograr la condensación del vapor y producir un vacío también enfriaba al cilindro mismo. Pero para mantener la máquina funcionando eficientemente era preciso mantener todo el tiempo el cilindro lo más caliente posible. ¿Y si la inyección del agua fría para condensar el vapor tenía lugar no en el cilindro, sino en un recipiente por separado, manteniendo el vacío en el cilindro? Así, el cilindro conservaría el calor y admitiría de inmediato un nuevo flujo de vapor. Más aún: para hacer el proceso todavía más eficiente, el vapor nuevo podría ingresar al pistón por la cabeza, en lugar de hacerlo por la parte inferior, asegurándose de colocar alguna suerte de empaque alrededor del émbolo del pistón que impidiera fugas de vapor.

**Estas dos mejoras** - que desde nuestra perspectiva actual parecen obvias, aun cuando para James Watt no lo fuesen en modo alguno-, transformaron la llamada máquina de fuego de Newcomen en una auténtica y funcional máquina propulsada por vapor. Instantáneamente **se convirtió en un ingenio que podía producir cantidades casi ilimitadas de fuerza motriz**. p. 53-54

James Watt vivía obsesionado por lograr que sus máquinas fuesen lo más correctas posibles. Sus primeros prototipos eran leviatanes espectaculares: diez metros de altura, con un cilindro principal de más de un metro de diámetro y dos de largo, una caldera alimentada con carbón y aparte el condensador de vapor, todas piezas inmensas. [...] Y, sin embargo, por todas partes, permanentemente envolviendo su máquina en una opaca niebla gris húmeda y caliente, había enormes nubes de vapor. Era este manto de miasma abrasador lo que sacaba de sus casillas al escrupuloso y pedante James Watt. Probara lo que probara, hiciera lo que hiciera, **el vapor parecía fugarse siempre**, no sigilosamente, sino en chorros prodigiosos y, lo más descarado de todo, se fugaba del cilindro principal de la máquina. p. 57

## LA PRECISIÓN – WILKINSON Y WATT

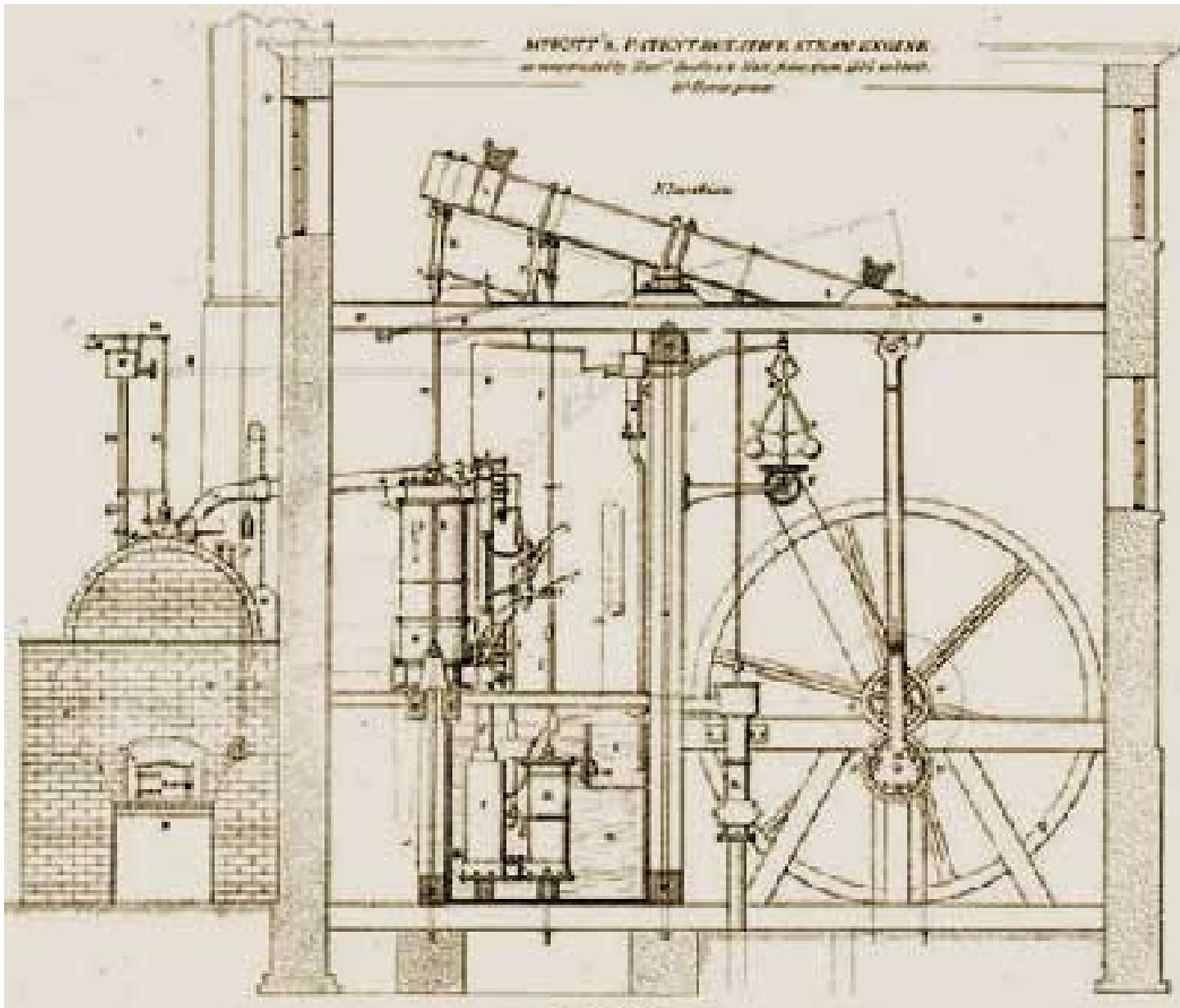


Ilustración de la patente del motor de vapor de James Watt, 1769. Fuente: Scotclans.

## LA PRECISIÓN – WILKINSON Y WATT

Wilkinson pidió a Watt que le fabricaran una máquina para mover el fuelle de una de sus forjas. De inmediato advirtió y reconoció el problema de las fugas de vapor de Watt y de inmediato supo que tenía la solución: **aplicaría su técnica para la horadación de cañones a la fabricación de los cilindros de las máquinas de vapor.**

Puso a los obreros de Watt a acarrear un cilindro de hierro sólido los 120 kilómetros del trayecto hasta Bersham. Luego amarró el cilindro en una plataforma firmemente asentada y todavía lo aseguró con cadenas para tener la certeza de que no se movería ni una fracción de pulgada. Después fabricó una descomunal herramienta de corte del hierro más duro y tres pies de ancho (que en teoría habría producido un cilindro de 38 pulgadas de diámetro con pared de una pulgada de grueso) y la atornilló en el extremo de una barra rígida de hierro de dos metros y medio de longitud. Instaló la herramienta en un soporte que la sostenía por ambos extremos y lo montó todo en un pesado carro de hierro que podía proyectarse de manera gradual y sólida contra la enorme pieza de hierro.

En cuanto todo estuvo listo para empezar a cortar, Wilkinson mojó con una manguera la superficie de contacto con una mezcla de agua y aceite vegetal para enfriar los metales en choque y apartar los restos del metal cortado, abrió la compuerta del caz para la rueda hidráulica que haría girar la barra y la herramienta de corte en el extremo y, despacio pero sin detenerse, milímetro a milímetro, fue acercando la herramienta hasta que las cuchillas empezaron a morder la cara del cilindro de hierro. Solo media hora después de empezados el calor al rojo vivo y el estrépito del frotamiento, el cilindro quedó cortado. Se extrajo la herramienta, caliente pero apenas mellada. **La horadación de tres pies de diámetro lucía limpia y pulida, recta y alineada.** Con ayuda de cadenas y de un polispasto, Wilkinson colocó el pesado cilindro en posición vertical, apoyado en el extremo cerrado. **El pistón, con un diámetro apenas un ápice menor que los tres pies y embadurnado con grasa lubricante, fue alzado con cautela sobre el borde del cilindro y luego dejado caer hasta el fondo.** Me gusta imaginar que se oyó una ovación, porque el pistón se deslizó sin ruido alguno y ajustadamente dentro del cilindro y podía ser movido fácilmente de arriba abajo y sin fugas aparentes de aire, grasa u otra cosa. **A Watt le llevó apenas unos días montar el cilindro en el lugar preferente de lo que ahora sería el primer motor funcional de acción simple a escala real en el mundo: su motor.** p. 58-59

**Nacía un nuevo mundo. Ya había máquinas que harían otras máquinas, y las harían con exactitud y precisión.** De pronto surgió un interés por la tolerancia, por la holgura con la que una parte ajustaba con o dentro de otra. Eso era algo enteramente nuevo y comenzó, en esencia, con la entrega de aquella máquina, el 4 de mayo de 1776. La pieza móvil fundamental de la máquina de vapor encerraba una tolerancia mecánica nunca imaginada ni alcanzada, una tolerancia de 0,1 pulgadas. p. 60

LA PRECISIÓN – BRAMAH Y MAUDSLAY

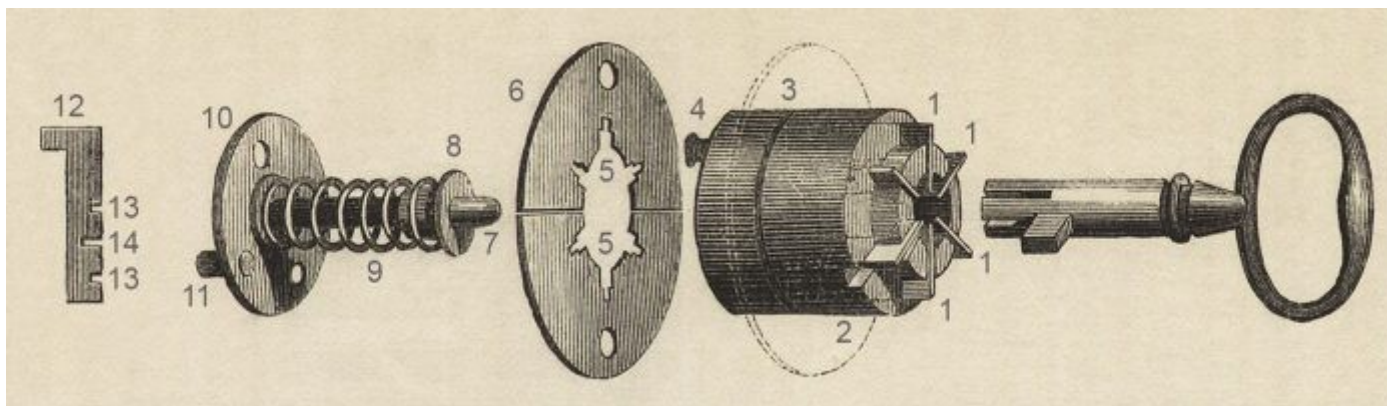


Fotografía de inodoro de 1880 con el sistema de tapón con flotador ideado por Joseph Bramah. Fuente: National Geographic.

## LA PRECISIÓN – BRAMAH Y MAUDSLAY

Desde 1784 en la acera norte de la avenida Piccadilly, en Londres, se encontraba el hogar y el taller de un fabricante de muebles, motores y cerraduras de nombre Joseph Bramah. En la vidriera frontal del establecimiento había un único objeto a la vista, encima de un cojín de terciopelo, como si se tratara de una imagen religiosa. Era un candado de forma oval, no muy grande, y por fuera parecía de hechura simple y elegante. En el frente, escrito con letra pequeña, legible solo quien acercara el rostro casi hasta tocar el cristal, decía: "El artista fabrique un instrumento que consiga violar o abrir esta cerradura recibirá doscientas guineas en el momento en que lo presente". Las cerraduras eran en aquella época una obsesión para los británicos. **Los cambios sociales y legislativos que barrían el país a fines del siglo XVIII estaban teniendo el indeseable efecto de dividir a la sociedad con no poca brutalidad:** mientras que la aristocracia terrateniente se había puesto a resguardo desde hacía siglos en las grandes mansiones rodeadas de parques, muros y zanjas, y con personal de planta para mantener a raya a los maleantes, los acaudalados beneficiarios del nuevo clima de negocios eran mucho más accesibles para los infaltables pobres. Los robos eran frecuentes. Podía olerse el miedo. Había que atrancar puertas y ventanas. **Se necesitaban cerraduras, y de las buenas.** p.65

En el diseño de Bramah los pistones dentro de la cerradura ascendían o descendían al insertar y girar la llave para liberar el pestillo, pero una vez echada la llave, los pistones volvían a su posición original. Este mecanismo hacía la cerradura casi a prueba de ladrones. Una vez que se le ocurrió esta premisa mecánica básica, solo le faltó dar a la cerradura entera forma cilíndrica, de manera que los pistones no ascendían o descendían por la gravedad, sino que se movían a lo largo del radio del cilindro bajo la acción de los distintos dientes de la llave. La cerradura completa revestía la forma de un pequeño cilindro de bronce que encajaba fácilmente en una cavidad en forma de tubo, dentro de una puerta o una caja fuerte. p.66



1. Slider. 2. Cylinder. 3. Circular groove in which the circular locking plate (6) engages. 4. Securing screw. 5. Incised notches. 6. Circular locking plate. 7. Pin. 8. Small collet. 9. Spring. 10. Cylinder back plate. 11. Stud. 12. Slider. 13. False notches. 14. Notch.

Ilustración con las distintas partes que forman la cerradura Bramah. Fuente: Antique Box Guide.

## LA PRECISIÓN – BRAMAH Y MAUDSLAY

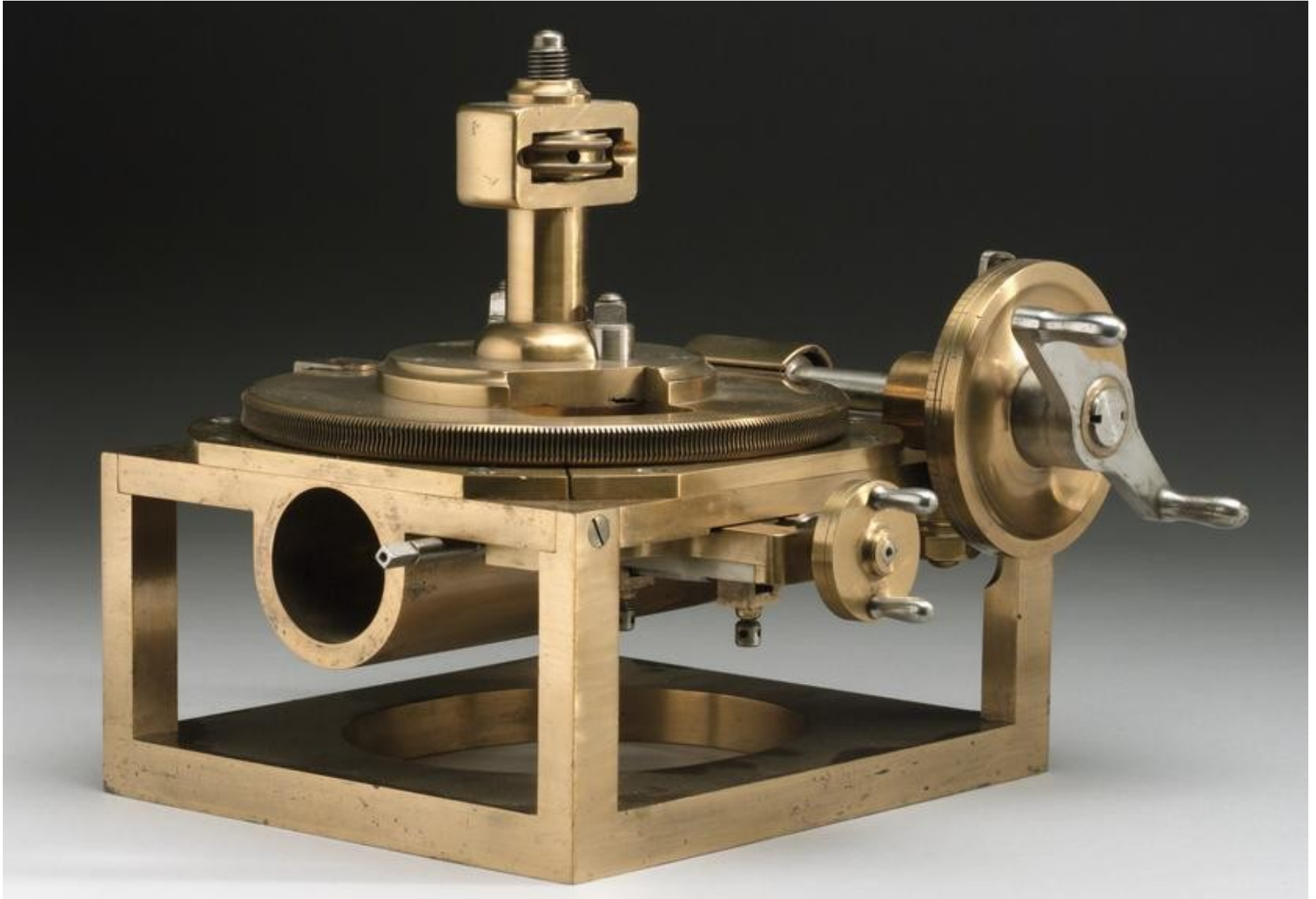
Más allá de su diseño, lo que hizo que esta cerradura tan fuera duraderamente buena era la precisión de su manufactura. Y eso fue menos mérito de su inventor que del hombre -un chico, en realidad- a quien Bramah contrató para fabricarlas bien, rápido y a bajo coste. Henry Maudslay, que tenía dieciocho años cuando Bramah lo fichó como aprendiz, crecería para convertirse en uno de los personajes más influyentes en los albores de la ingeniería de precisión y su influencia aún se deja sentir hoy día tanto en su Gran Bretaña nativa como en el resto del mundo.

Resolvió en un abrir y cerrar de ojos el problema de oferta de Bramah. Lo que hizo Maudslay fue **construir una máquina que hiciera las cerraduras**. Construyó una máquina-herramienta, es decir, una máquina para fabricar una máquina (o, en este caso, un mecanismo). De hecho, construyó una familia entera de fresadoras, cada una de las cuales fabricaría o ayudaría a fabricar las distintas piezas que requerían las fantásticamente complicadas cerraduras que Joseph Bramah había diseñado. Fabricarían las piezas, las harían rápido, bien, a bajo coste y sin los errores que el uso de herramientas manuales y manufactura inevitablemente acarrear. **Las máquinas que Maudslay construyó, en otras palabras, fabricarían las piezas necesarias con precisión.**

Tres de sus máquinas para fabricar cerraduras pueden admirarse hoy en el Science Museum de Londres. Una es una sierra que corta las muescas en el cilindro; otra -esta quizá no tanto una máquina- herramienta sino más bien un sistema para asegurar que la producción avanzara con rapidez y cada pieza fuese exactamente igual- es un tornillo de banco para sujetar y soltar una pieza rápidamente, un accesorio que mantenía firme el pestillo mientras una serie de herramientas de corte montadas en un torno lo trabajaban; la tercera es un dispositivo particularmente ingenioso, operado por un pedal, que torcía los resortes internos de la cerradura y los mantenía bajo tensión mientras eran colocados y sujetos en su lugar en tanto se atornillaba la placa exterior. p.69-70



## LA PRECISIÓN – BRAMAH Y MAUDSLAY



Herramienta para crear roscas de tornillos, fabricada por Henry Maudslay, 1800-1805. Fuente: Science Museum London.

## LA PRECISIÓN – BRAMAH Y MAUDSLAY

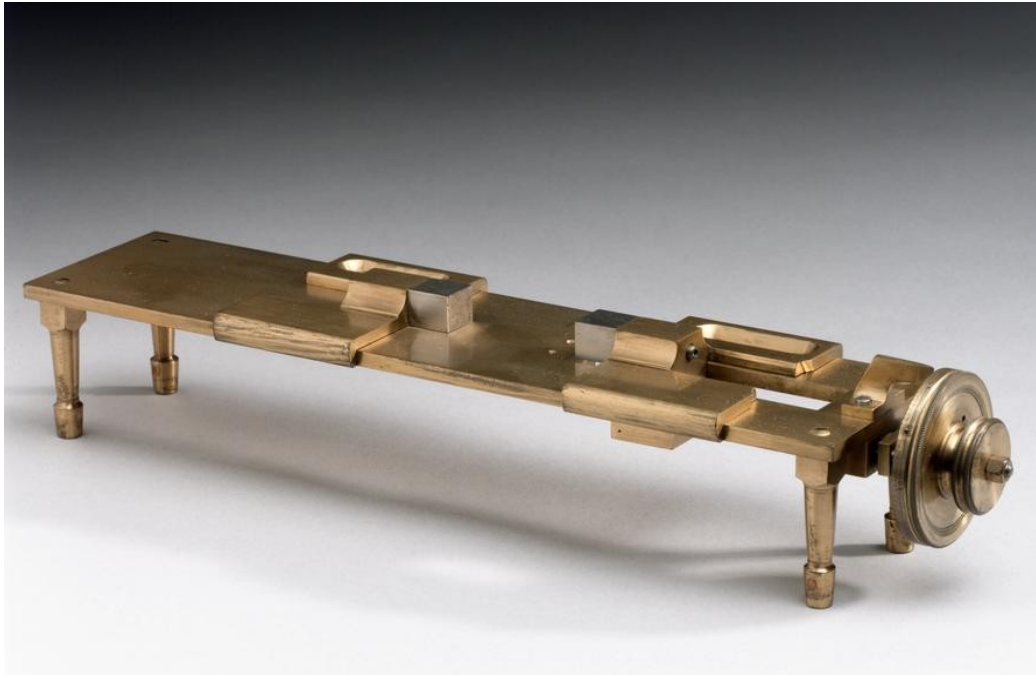
Henry Maudslay intervino entonces para **mejorar el torno en varios órdenes de magnitud**. En primer lugar, al hacerlo de hierro, dándole en la forja una estructura robusta y maciza lo habilitaba para maquinar no solamente objetos de madera, sino también crear piezas simétricas a partir de barras amorfas de metal, lo que para los endebles tornos existentes hasta entonces era imposible. Además le incorporó el carro portaherramientas, una pieza pesada, de construcción robusta y firmemente montada, pero que puede moverse con ayuda de tornillos y cuya función es sostener una o varias herramientas de corte en una torre portaherramientas montada sobre el carro. Está repleto de engranajes que permiten desplazar la o las herramientas distancias de fracciones de pulgada, para el maquinado exacto de las piezas que van a ser trabajadas.

Las piezas de metal pueden maquinarse en una variedad de formas, tamaños y configuraciones, pero siempre que las posiciones del carro sobre el husillo y de la torre sean las mismas en cada operación, y que el operador del torno pueda anotarlas y asegurarse de que sean las mismas todas las veces; entonces cada pieza maquinada será igual (si la densidad del metal es la misma) a todas las demás. **Las piezas son replicables; son -y esto es crucial- intercambiables**. Si las piezas maquinadas serán parte a su vez de otra máquina -si son engranajes, gatillos, mangos o cilindros- serán entonces partes intercambiables, los componentes elementales, las piedras angulares de la manufactura moderna.

De importancia igualmente fundamental, un torno tan prolijamente equipado como el de Maudslay también podía fabricar ese componente indispensable del mundo industrializado: **el tornillo**. [...] Con un tornillo fabricado con ayuda de su técnica y su carro y con un torno hecho de hierro, y no como el que él mismo y Bramah emplearan en un principio construido de madera, podía maquinar piezas dentro de un **estándar de tolerancia de uno en una diezmilésima de pulgada**. Ante los ojos de Londres nacía la precisión. p.71-73

Las cosas hechas medidas serían cada vez más precisas, a un grado tal que Maudslay (cuya más grande invención fue quizá una abstracción: **el ideal de precisión**) y sus colegas no habrían podido imaginar. Pero hubo cierta reticencia. Una efímera hostilidad hacia las máquinas, que es al menos en parte lo que representó el movimiento ludita; un talante sospechoso, escéptico, que atoró brevemente a los ingenieros y a su clientela. p.86

LA PRECISIÓN – BRAMAH Y MAUDSLAY



Varias máquinas, y productos obtenidos con ellas, realizadas por Henry Maudslay. Fuente: Science Museum London y Wikipedia.

## LA PRECISIÓN – DE HONORÉ LEBLANC A BLANCHARD

Replicabilidad: «A nadie se le había ocurrido pensar en un arma hecha de partes tan precisamente fabricadas que resultaran idénticas unas a otras. Si así hubiera sido, cualquier pieza rota podría haberse sustituido, remplazado por otra igual, pues gracias a la precisión de su hechura habría sido *intercambiable*» p. 90.

Honoré Le Blanc incorporaría los sistemas de producción de las grandes armas seriadas de Grebeauval (y Wilkinson) en el mosquete. Razones, no solo de seguridad, también de costes. La producción artesanal de armas era cara.

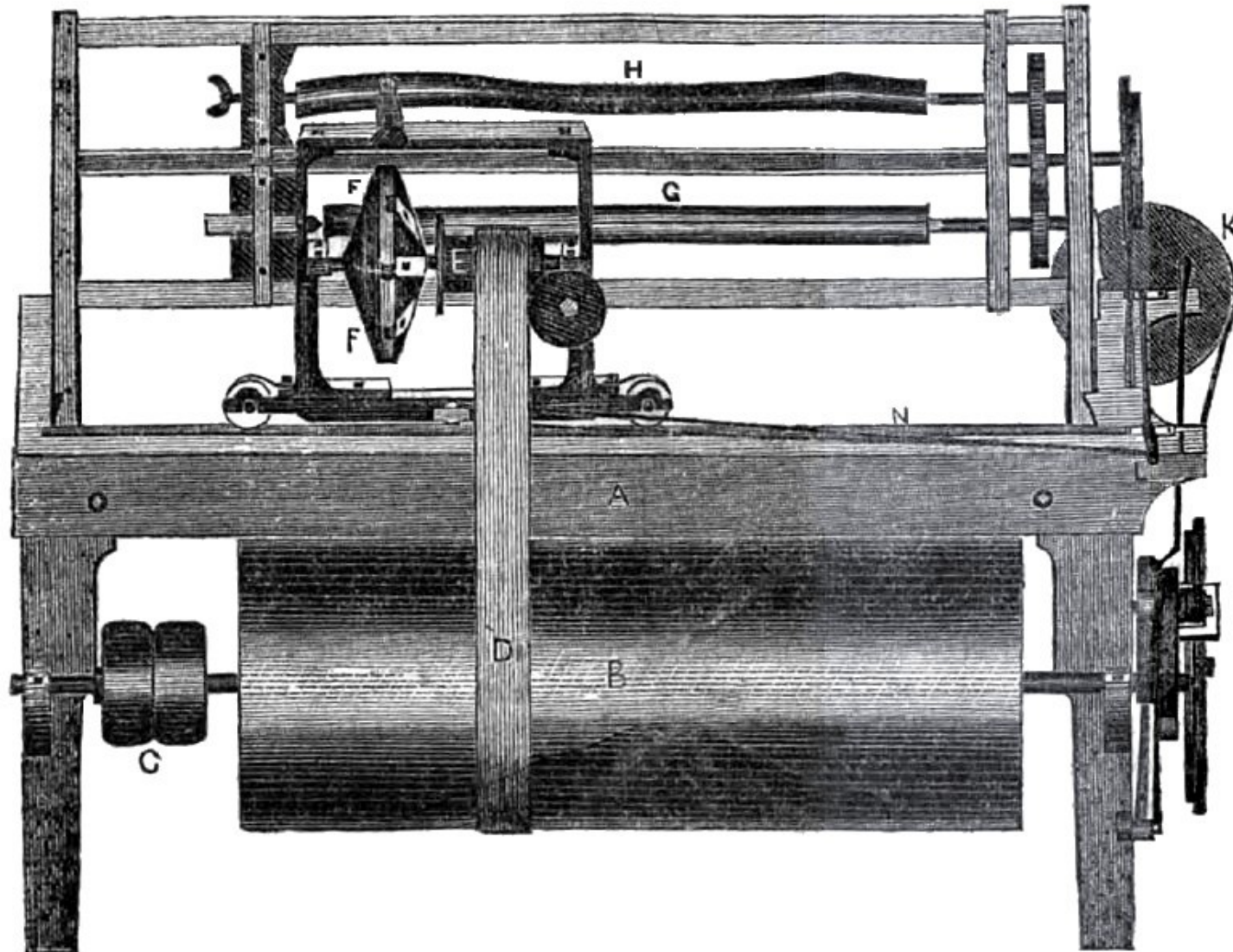
Él mismo fabricaría la pieza maestra documentándola con todo el detalle posible, con tolerancia aproximada de «0,02 milímetros. Luego **fabricó una serie de guías y calibradores** para asegurarse de que todas las llaves creadas después fuesen fieles a esta pieza maestra perfecta, con el empleo concienzudo de las limas y los tornos que entonces podían conseguirse. Los armeros contratados por Le Blanc para encargarse de la fabricación -todavía manual- hicieron cada llave exactamente igual a la original. Siempre que lo hicieran así, con toda exactitud, las piezas empalmarían perfectamente y la llave de chispa completa encajaría con la misma perfección en cada mosquete terminado.

Pero **muy pocos armeros estuvieron dispuestos a trabajar bajo condiciones tan estrictas**. En su mayoría se negaron; argüían que fabricar un arma limitándose a copiar partes previamente hechas disminuía el valor del oficio del armero hasta hacerlo insignificante. De ese trabajo podría hacerse cargo cualquier vago inexperto. Esta discrepancia de los armeros franceses expresaba objeciones muy parecidas a las que los luditas habían esgrimido en Inglaterra: que la precisión estaba despojando a sus oficios de todo valor». p. 95

El crédito de adoptar el sistema de Le Blanc y trasladarlo a Estados Unidos corresponde a Simeon North, John Hall y Thomas Blanchard. Los dos primeros crearon máquinas-herramienta que permitían la intercambiabilidad de las piezas con certeza. En 1817 Blanchard inventó una máquina, una especie de pantógrafo, para crear hormas para zapatos: «Una consecuencia simple de aquella máquina persiste entre nosotros en las tallas de zapatos. Ahora que Blanchard oídía transformar un bloque amorfo de madera en un objeto con forma de zapato de dimensiones específicas podía ofrecer al zapatero hormas de tamaños diferentes y medidas exactas» p. 105.

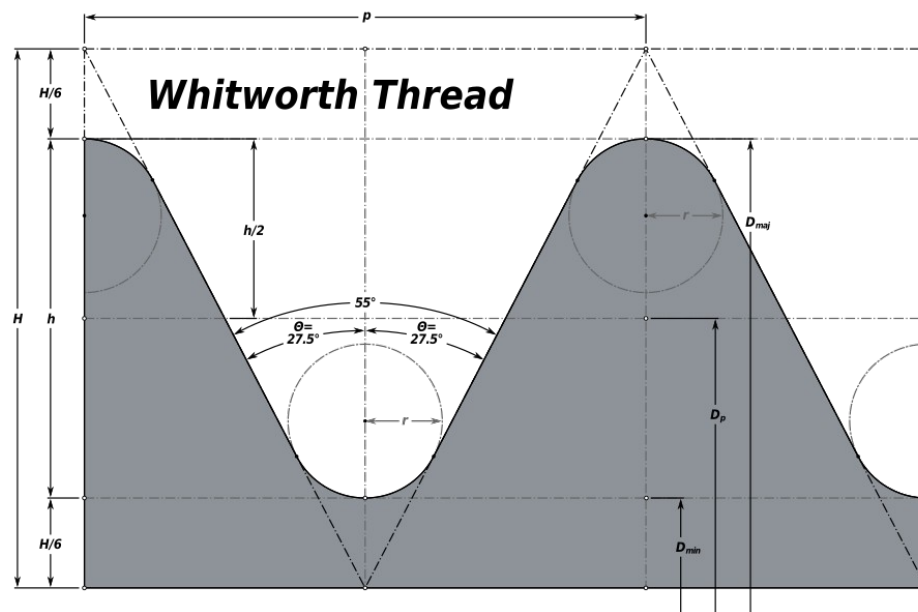
En paralelo Olivier Evans fabricaba un molino mecánico de harina; Isaac Singer llevó la precisión a la manufactura de máquinas de coser o Cyrus McCormik estaba construyendo segadoras, trilladoras y, más tarde, construiría cosechadoras.

## LA PRECISIÓN – DE HONORÉ LEBLANC A BLANCHARD



Blanchard's machine for turning irregular forms, from 1848. Fuente: Vintage Machinery.

## LA PRECISIÓN – WHITWORTH



Perfil transversal del BSW, diseñado por Joseph Whitworth en 1841 y dos tornillos de  $\frac{5}{8}$  pulgadas. Fuente: Wikipedia

## LA PRECISIÓN – WHITWORTH

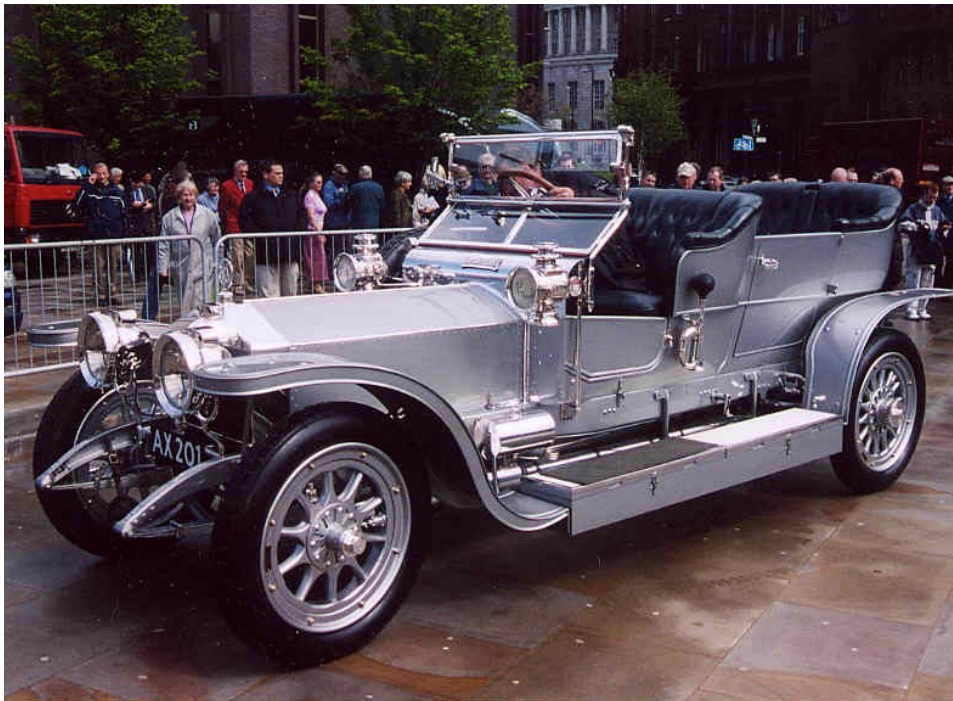
Joseph Whitworth fue aprendiz de Maudslay. Allí le fascinó la idea de buscar el plano perfecto. Una superficie exactamente plana confiere precisión a otras cosas que pueden tomarla como patrón de medida como una regla, una escuadra, un bloque de calibración... «Joseph Whitworth era el campeón absoluto de la exactitud, un devoto insobornable de la precisión y el creador de un instrumentos sin precedentes que auténticamente podía medir diferencias inimaginables de una millonésima de una pulgada» p.121

Si Maudslay había dado origen a la noción, Whitworth desarrolló y extendió esta noción y le dio aplicación: «en ese recorrido consiguió dar al mundo la impresión de que la base de toda medición, **el punto de partida de todo lo que aspirara a la precisión eran las herramientas e instrumentos de metal que fabricaba Joseph Whitworth**». p.122

«El artefacto para medir del propio Whitworth era algo fenomenal para su época, un objeto pequeño de la mayor elegancia y belleza. [...] El principio básico de este artefacto no podía ser más sencillo. La mayoría de los instrumentos de medición anteriores recurrían a marcas. La forma de saber la longitud de un objeto es colocarlo junto a una regla y ver, de las líneas marcadas, en cuál comienza y en cuál acaba. [...] Whitworth pensaba que el procedimiento de medir en una escala graduada era torpe, estaba plagado de problemas y sujeto a errores. Prefirió en lugar de ello o que se denomina medida de extremo a extremo, que no dependía de la vista, sino de la percepción de la presión del instrumento de medición contra los dos extremos planos del objeto que va a medirse. El instrumento que él creó emplea dos placas de acero planas que pueden acercarse o alejarse una de otra haciendo girar un tornillo largo de bronce. [...] En 1859 creó un micrómetro que desplazaba el tornillo 1/4000 de pulgada, una cantidad ínfima. Luego grabó 250 subdivisiones sobre la circunferencia del volante que manejaba el mecanismo, lo que significaba que el operador del instrumento, al hacer girar el volante el espacio de una sola división, **podía hacer avanzar o retroceder la placa 1/1000000 de pulgada.**» p.123-124

«Antes de Whitworth, cada tornillo y cada tuerca eran únicos y a posibilidad de que un tornillo cualquiera entrara en una tuerca cualquiera era remota. Whitworth instauró la idea estandarizar todos los tornillos: el roscado debía tener siempre tener el mismo ángulo (55°) con relación al eje de tornillo y, además, el radio de tornillo y la profundidad del roscado debían tener una relación fija con el paso de la rosca. [...] Hacia mediados del siglo el estándar había sido aceptado en todo el imperio con la unidad BSW “British Standard Whitworth”.» p.125

LA PRECISIÓN – ROLLS-ROYCE Y FORD



Fotografía de un Rolls-Royce Silver Ghost en 2004. Fuente: Wikipedia; Ford Modelo T del año 2010. Fuente: Wikipedia

## LA PRECISIÓN – ROLLS-ROYCE Y FORD

La compañía Rolls-Royce se fundó en Manchester en 1904, como la unión de Royce Ltd (de Henry Royce) con el inversor Charles Rolls. Royce, con experiencia con mecánica y electricidad adquirió primero un cuadriciclo De Dion, básicamente dos bicilietas atornilladas una junto a la otra, con un pequeño motor de combustión interna en el espacio entre las dos. [...] Pronto se tomó su interés más en serio y se compró un Decauville de segunda mano. Apenas unas semanas después, Royce tomó una decisión trascendental: desarmaría el coche y lo rediseñaría.

Los primeros coches fabricados en Cooke Street se dieron a conocer no tanto por su clase, velocidad, petulancia o aire mundano, sino por su marcha silenciosa y su confiabilidad. El primer modelo Silver Ghost fue pintado en plata por Claude Johnson con el objeto de causar impresión. Con ese objeto estuvo también cuarenta días consecutivos conduciéndolo. Excepto el cambio de neumáticos cada cierto tiempo que exigía el estado de las carreteras en aquel momento no tuvo que realizar ninguna parada por cuestiones mecánicas: «Las partes del motor, la caja de cambios y los frenos no mostraban el menor desgaste. No podía medirse una diferencia entre el estado del motor en abril y el del mismo en agosto; no había diferencia en los componentes fundamentales del automóvil nuevos y desgastados someterlos a una dura prueba de manejo y uso intensivo. Para dejar el coche en su condición original se requirió "cambiar dos pernos del pr vote de las ruedas delanteras, uno de la barra de dirección, la rótula de la palanca de dirección, el gozne del eje del magneto, una banda del ventilador y un filtro de gasolina. Hubo que reacondicionar la carcasa de la rótula de la dirección y pulir de nuevo las válvulas.» p.152

Charles Rolls: «En primer lugar, una persona con calificación aceptable para desempeñar un trabajo ingenieril normal sería muy nuestros estándares de trabajo inadecuada para nosotros [...]. Para fabricar los automóviles más perfectos, **se requieren los operarios más perfectos y una vez que se tienen, nuestro objetivo es educarlos para que cada uno de ellos sea capaz de hacer su parte del trabajo mejor que nadie en el mundo** [...]. Siempre hemos pensado que construir un automotor que, teniendo en grado supremo la rigidez y robustez necesarias, tenga menor peso que otros autos similares, es cuestión de los metales. Consideramos que el éxito del Rolls-Royce y su extraordinaria durabilidad y bajo coste de mantenimiento, como quedó demostrado en la prueba de 15.000 millas de hace un año, se debe enteramente a un diseño científico, a la investigación pionera y el cuidadoso estudio de los metales que llevaron a cabo el sr. Royce y sus asistentes en el laboratorio de física de su compañía. Para nosotros, este es quizá el departamento más importante de la planta». p.154

## LA PRECISIÓN – ROLLS-ROYCE Y FORD

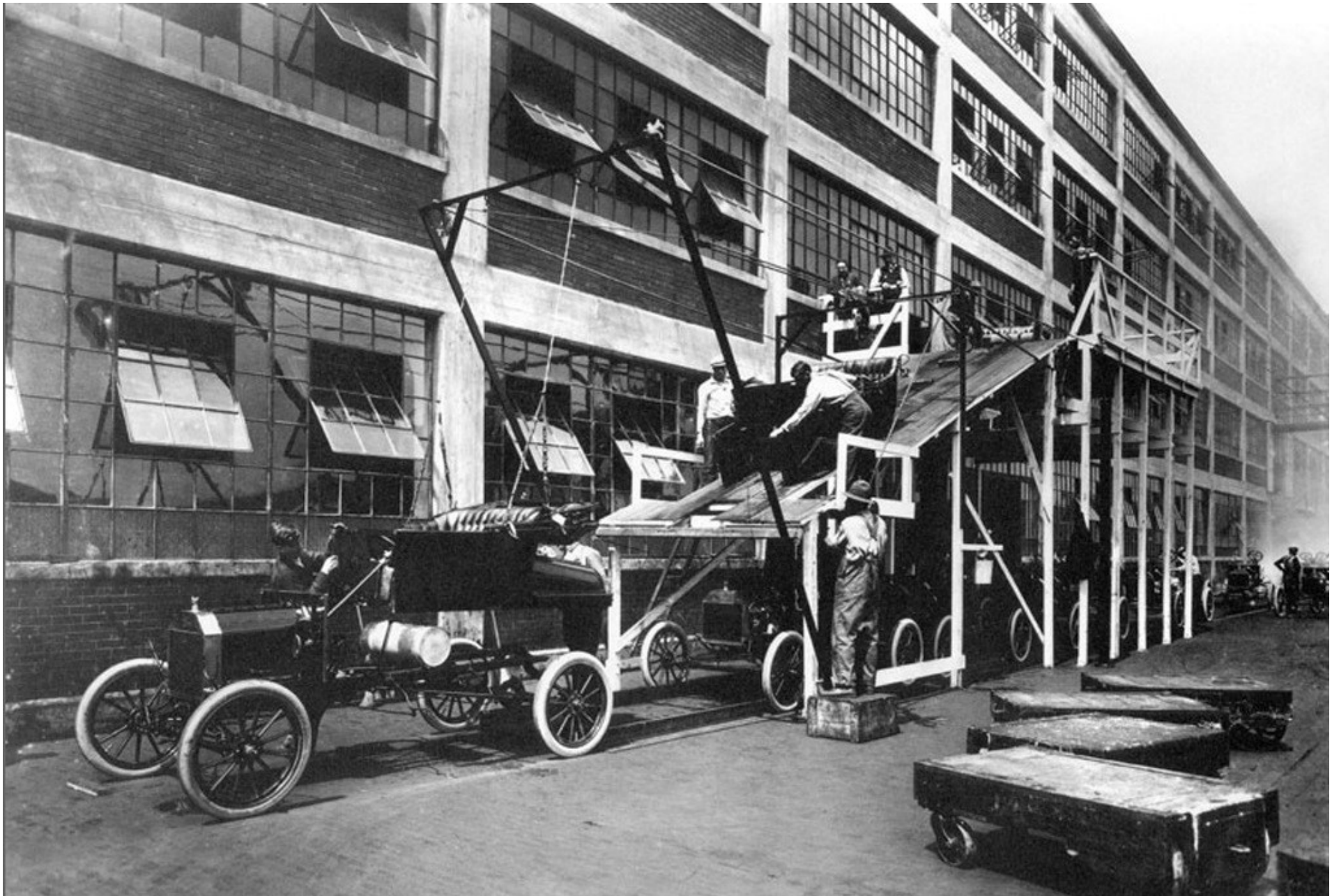
«La apuesta de Henry Royce fue la precisión para unos cuantos. Henry Ford quería ponerla al alcance de todos. "Fabricaré un automotor para la gran masa -declaró en 1907-. Será suficientemente grande para llevar a la familia, pero no tanto que impida que un individuo lo use y lo mantenga. Estará hecho con los mejores materiales, por los mejores hombres dispuestos a enrolarse, con los diseños más sencillos que pueda concebir la ingeniería moderna. Pero **su precio será tan bajo que nadie que gane un salario decoroso se verá privado de tener uno** y disfrutar con su familia la bendición de vivir horas de felicidad por los anchurosos paisajes de Dios".» p.157

«Para fabricar el Modelo T, Henry Ford lo cambió todo. Para empezar, insistió en que en sus fábricas de automotores **las limas no tenían cabida porque todas las partes, los componentes y las piezas requeridas para el auto llegarían a sus manos con un acabado preciso**, dentro de las tolerancias impuestas por estándares cruelmente rigurosos, de manera que cada cual empalmaría exactamente en su lugar sin necesitar siquiera del más fino ajuste posterior. [...] Para la fabricación del Modelo T Henry Ford creó, con todos sus elementos y ya claramente reconocible, la línea de montaje industrial. El Modelo T tenía menos de cien partes distintas (un auto moderno tiene más de treinta mil). Cómo hacer para ensamblar estas piezas en un automóvil que funcionara fue el reto permanente de Henry Ford durante las dos primeras décadas del siglo XX». p.161

«Fue en 1913 cuando tuvo a epifanía de que **lo que podía moverse para quedar colocado frente a los operarios era la pieza que estaba siendo armada, y entonces cada uno de ellos llevaría a cabo una única operación, sencilla y elemental**, cuando la tenía delante, y mientras iba pasando y deteniéndose brevemente frente a él, y mientras otros operarios llevaban a cabo otras tareas muy diferentes una y otra y otra vez cuando la parte en proceso se detenía delante de ellos, hasta completar una pieza nueva, un nuevo ensamblaje terminado, y manufacturado por la acumulación de cientos o miles de operaciones simples». p.162

«Poca preparación se requería para trabajar en una línea de montaje, mientras que un ingeniero que medía tolerancias, limaba una pieza para ajustarla, probaba el ajuste y lo volvía a probar con calibres pasa/no pasa requería destreza, capacitación y mayor salario. Henry Ford se encontró con que había resuelto un cúmulo de problemas de un plumazo. Con las líneas de montaje podía producir incontables coches más; podía hacerlo sin gastar mucho dinero; podía bajar cada vez más sus precios y hacer sus vehículos más baratos, más populares, más ubicuos; podía emplear gente con un mínimo de habilidades y podía prescindir de la destreza artesanal: dejarla para quienes fabricaban Rolls-Royces.» p.164

## LA PRECISIÓN – ROLLS-ROYCE Y FORD



Producción en cadena del «Ford Modelo T», 1913. Fuente: Wikipedia; Ford Modelo T del año 2010. Fuente: Wikipedia.

## LA PRECISIÓN – ROLLS-ROYCE Y FORD

«Una vez que sus respectivas ambiciones cuajaron, estos dos hombres mostraron tener objetivos muy distintos. Henry Royce perseguía simple y llanamente armar los automóviles más finos del mundo, para los pocos que sabrían apreciarlos, sin reparar en dificultades ni escatimar en costes. Henry Ford, en cambio, estaba decidido a poner al alcance del mayor número de personas imaginable el mundo del transporte automotor personal, al menor coste posible gracias a la fabricación en serie. Para lograr cada cual sus ambiciones, **Henry Royce reuniría un equipo de artesanos que fabricaban sus autos a mano, mientras que Henry Ford armaría los suyos en cantidades inmensas, incorporando máquinas, a su debido tiempo, para ayudar en el trabajo.**» p. 133

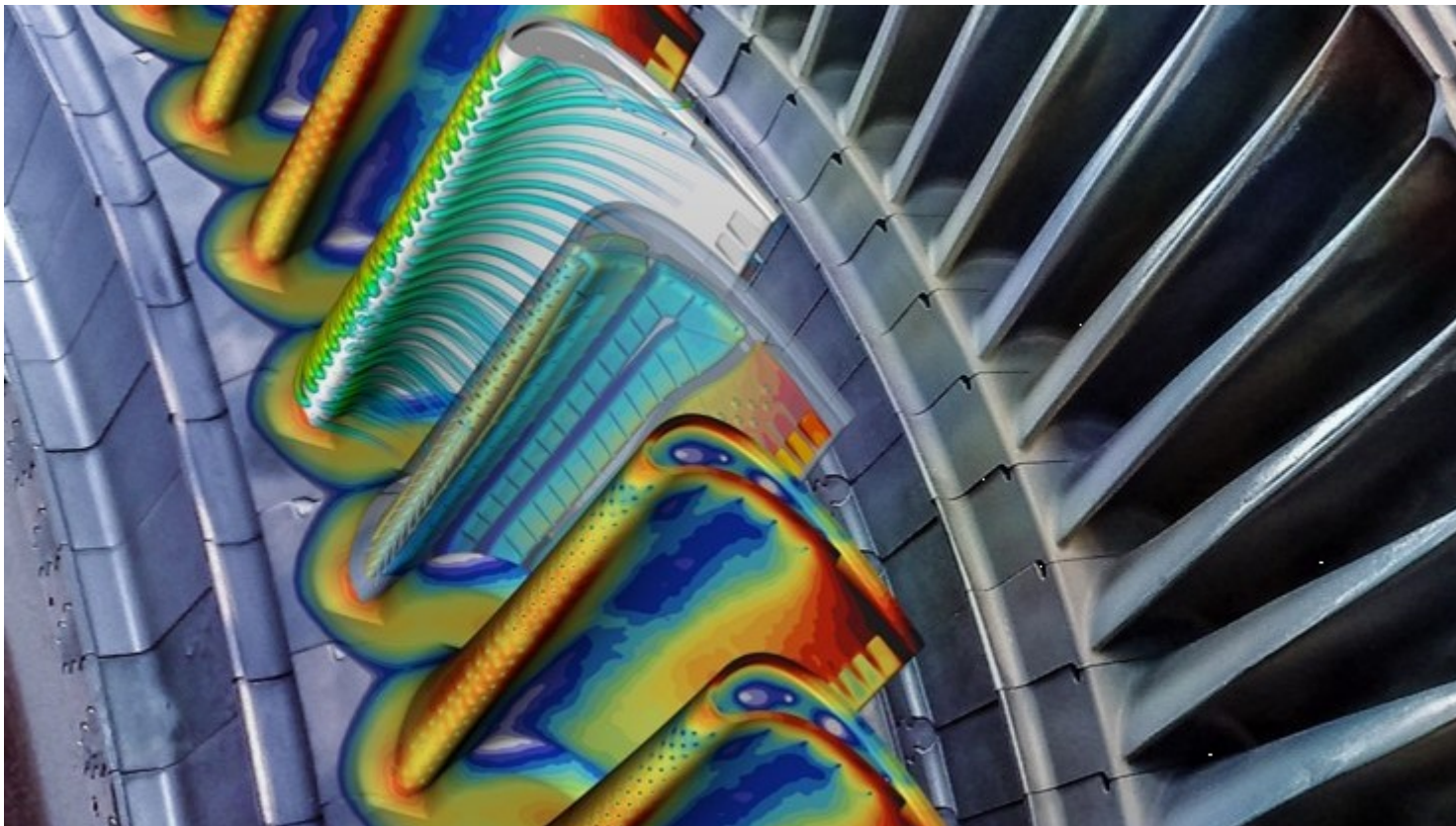
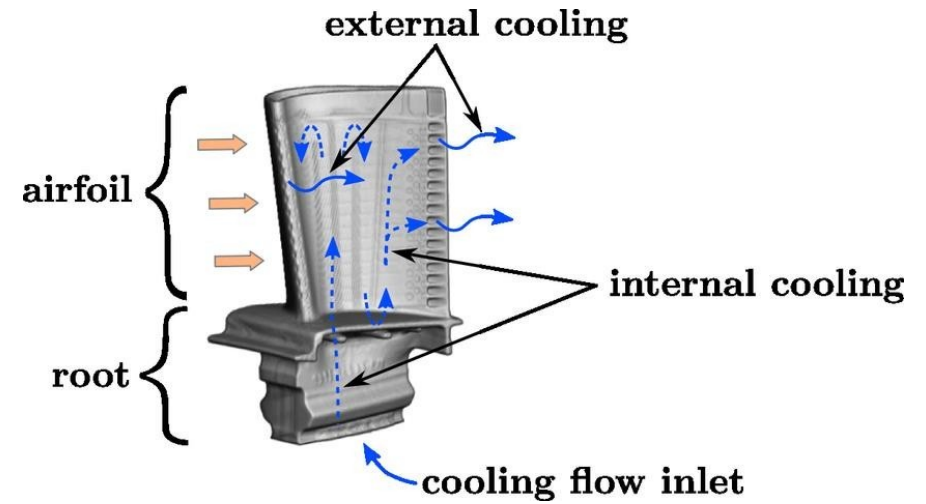
«Por lo que toca a Rolls-Royce, parecería que el culto a la precisión era central en la fabricación de esos autos inmensamente cómodos, elegantes, veloces y en general inolvidables. Pero en realidad era **mucho más decisivo para la de las máquinas menos costosas, menos complejas y más anodinas que salían como churros de las plantas de Ford** alrededor del mundo. Y la razón es muy simple: las líneas de montaje requerían un abasto ilimitado de piezas exactamente intercambiables. Si una de ellas no lo era del todo, y si un obrero de la línea de montaje trataba de encajar ese componente inexacto e impreciso en una pieza que pasaba frente a él y no lo conseguía y volvía a insistir y seguía batallando, la línea se ralentizaba, trastabillaba y podía llegar a detenerse.» p.165

La precisión, en otras palabras, es absolutamente esencial para sostener la implacable tiranía de la línea de montaje.

«Henry Ford aprovechó un invento que ayudó a la disminución del coste de su Modelo T, casi año a año, durante los dieciocho años que estuvo en producción. Fue posible que **su precio bajara desde 850 dólares en 1908, a 345 en 1916 y hasta los asombrosamente módicos 260 en 1925**. El automóvil era el mismo, los materiales los mismos, pero los medios de producción se habían vuelto incomparablemente más eficientes. En su empeño por lograrlo, había venido en auxilio de Henry Ford un componente (que posteriormente adquiriría la compañía que lo fabricaba) cuya creación por un discreto escandinavo probaría tener un impacto profundo y duradero en el mundo de la precisión.

Este hombre fue el sueco Carl Edvard Johansson, un popular y orgullosamente conocido por todo sueco informado hoy día como el "amo de la medición" en todo el mundo. Fue el inventor del conjunto de piezas de precisión de acero endurecido, perfectamente planas, que hasta la fecha se conocen como **bloques de calibración** o, en recuerdo y gloria suyos, bloques patrón, bloques de Johansson o bloques Jo. [...] 103 bloques de medidas cuidadosamente determinadas, agrupadas en tres series, hacía posible medir veinte mil magnitudes distintas con incrementos de una milésima de milímetro» p.167

LA PRECISIÓN – WHITTLE Y ROLLS-ROYCE



Diagramas del funcionamiento térmico de un álabe en un turborreactor. Fuente: Mauricio Vega

LA PRECISIÓN – TELESCOPIO HUBBLE



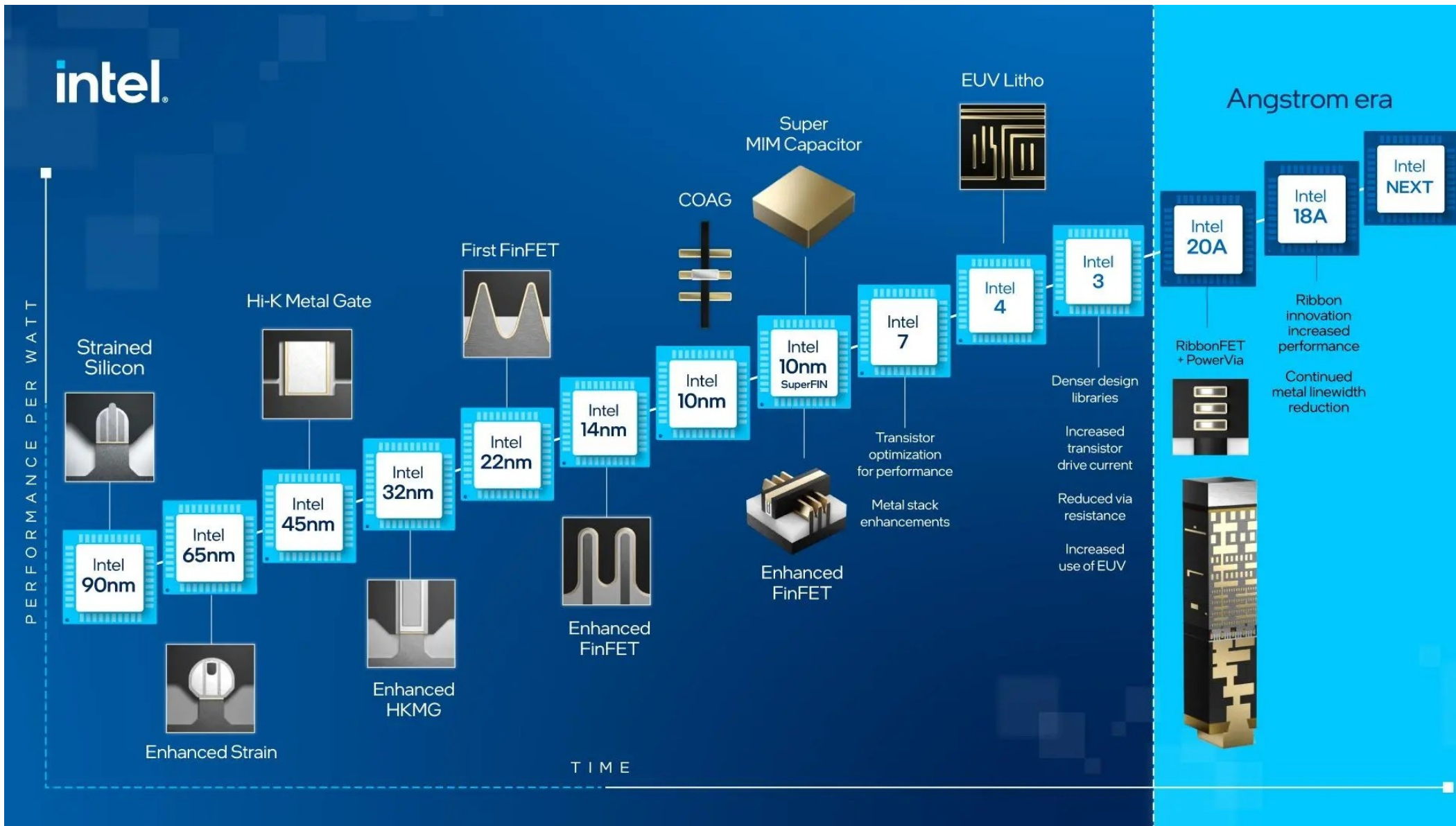
Fotografía de la NASA con trabajadores en el espejo principal del Hubble (1990). Fuente: Wikipedia

## LA PRECISIÓN – ROGER EASTON Y EL GPS



Roger Easton (izquierda) supervisa la colocación del satélite Vanguard-1 en el vehículo de lanzamiento Viking, 1958. Fuente: Eurekaalert

LA PRECISIÓN – MOORE, NOYCE, INTEL



Ley de Moore y evolución de microprocesadores de Intel, 2023. Fuente: Smartprix.

## LA PRECISIÓN – METROLOGÍA

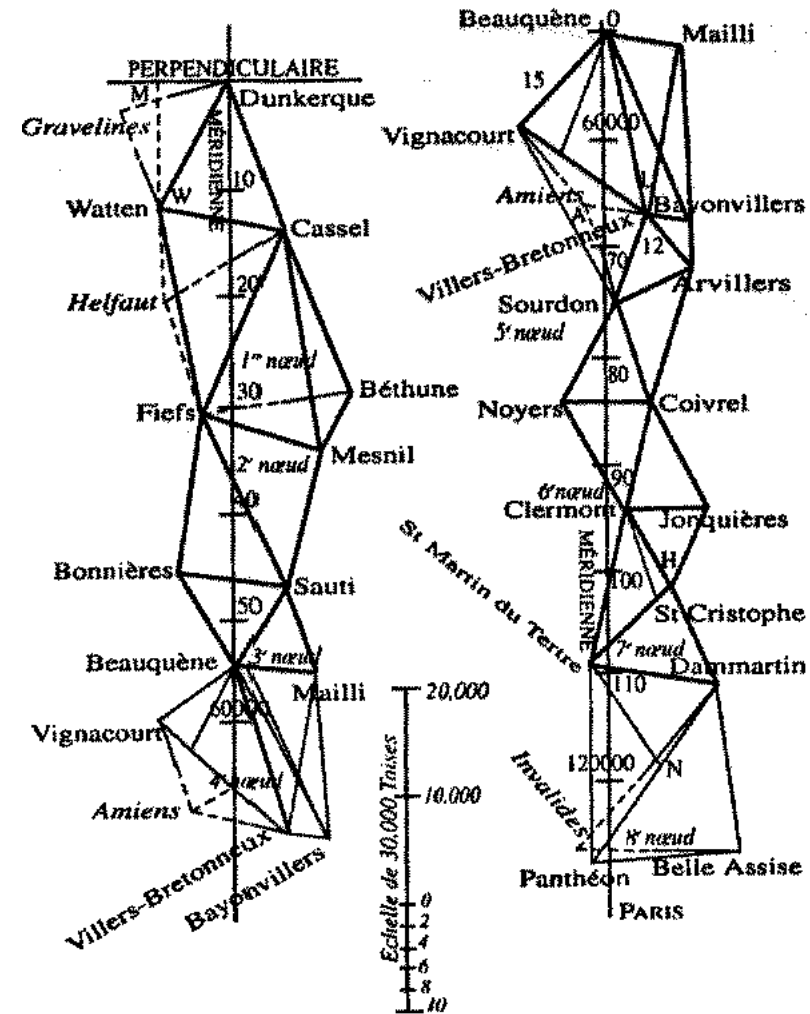
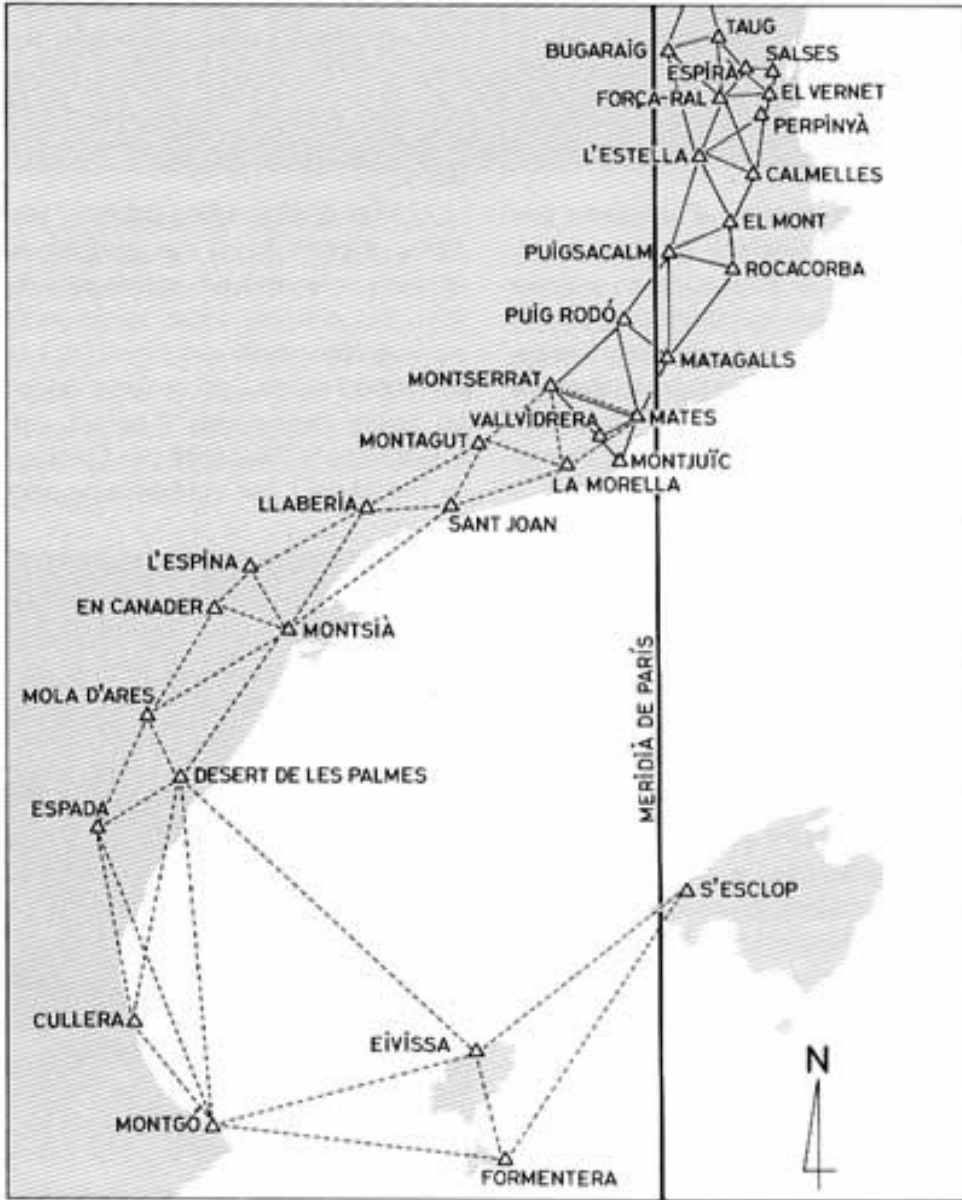
«Porque al despachar a **Talleyrand** se adhirieron en cambio a otra relacionada con un aspecto natural de la Tierra, y, idea, flamante y por ende, y desde su punto de vista, más convenientemente revolucionaria. Había que **medir un meridiano de la Tierra, o bien el ecuador, sostenían, y dividirlo en cuarenta millones de partes iguales**, cada una de las cuales sería la nueva medida fundamental de longitud. Después de encendidos debates, los parlamentarios optaron por un meridiano, en parte porque hay uno que cruza París; también decretaron que para hacer el proyecto viable no era necesario medirlo en toda su extensión, sino solamente el cuadrante desde el polo norte hasta el ecuador: la cuarta parte, en otras palabras. Este debía luego ser dividido en diez millones de partes y la longitud de una de ellas sería llamada "metro" (del griego μέτρον, medida).

Un magno viaje de estudio fue prestamente comisionado por el Parlamento francés para **determinar la longitud exacta del meridiano elegido**, o la de una décima parte, un arco que subtiende un ángulo de  $9^\circ$  (una décima parte de los  $90^\circ$  del cuadrante del meridiano) que medido actualmente tendrá unos mil kilómetros de largo. Tendría que ser medido en la unidad de longitud del siglo XVIII francés: la toise (aproximadamente dos metros), dividida en seis pieds du roi, cada pied dividido en doce pouces y estas a su vez subdivididas en doce lignes. Pero estas unidades eran superfluas, pues lo único importante era conocer **la longitud total, luego dividirla entre diez millones y lo que resultara sería la unidad de medida a la que se aspiraba**, una creación que Francia legaría después al mundo.

El trazado propuesto para el levantamiento iba desde Dunquerque, en el norte, hasta Barcelona, en el sur, situado cada uno de los puertos, evidentemente, a nivel del mar. Estando ubicado este arco de aproximadamente  $9^\circ$  a la mitad del cuadrante -Dunquerque está a  $51^\circ$  norte y Barcelona a  $41^\circ$  norte, con el punto medio en los  $45^\circ$  norte, en el pueblo de Saint-Médard-de-Guizières, en la Gironda, se creía que la forma achatada de la Tierra, el ensanchamiento que altera su esfericidad y la hace parecerse más a una naranja que a una pelota de fútbol, sería allí más evidente y, por lo tanto, más fácil de compensar a la hora de realizar los cálculos» p.318

«Los resultados del levantamiento fueron anunciados en 1799. El largo del cuadrante se calculó, extrapolando las cifras obtenidas, en **5.130.740 toises**. Faltaba que la longitud de las barras y varas que fuesen cortadas o fundidas fuese la diezmillonésima parte de ese número, o 0,5130740 toise, en otras palabras. Esa longitud sería, de allí en adelante, la medida estándar, el metro estándar, de la Francia posrevolucionaria.» p.319

METROLOGÍA



Tringulaciones en el levante español y triangulaciones de los astrónomos Delambre y Méchain para medir el meridiano en Francia, s. XVIII. Fuente: Observatorio de París

## LA PRECISIÓN – METROLOGÍA

«Los comisionados ordenaron que esta **longitud se fundiera en platino**, para tener lo que se denomina un étalon, un patrón. Para ello fue seleccionado un antiguo orfebre de la corte, Marc-Etienne Janety, a quien fueron a traer de Marsella, donde había buscado cobijo de los excesos del Terror. El resultado de su trabajo puede verse hoy día, el Mètre des Archives, una barra de platino puro de 25 milímetros de grueso y exactamente un metro de largo. Este metro fue presentado ante la Asamblea el 22 de junio de 1799.

Pero allí no terminó todo: a la barra de platino del metro siguió unos meses más tarde un cilindro de platino puro que, según se explicó, era el kilogramo. También era obra de Janety. Tenía el étalon para la masa, los mismos de diámetro e iba encerrado en 39 milímetros de alto y una elegante caja octagonal con una etiqueta que rezaba, con correcto énfasis calendárico napoleónico: "*Kilogramme Conforme à la loi du 18 Germinal, An 3, présenté le 4 Messidor, An 7*".

**Las dos propiedades de longitud y masa quedaban ahora inextricable e inamoviblemente vinculadas.** Pues una vez determinado el estándar para la longitud, con esa longitud podía determinarse un volumen y, recurriendo a un material estándar para llenar ese volumen, podía también determinarse una masa. [...] Una décima parte del flamante metro, a la que técnicamente se llamaría un decímetro, podría establecerse como la arista de un cubo fabricado con precisión. Este decímetro cúbico sería la medida de un litro y se fabricaría con toda la precisión posible de acero o de plata. Luego se llenaría hasta el borde con agua pura destilada a una temperatura tan cercana como fuera posible a los 4 °C, en cuya cercanía la densidad del agua es más estable. El volumen resultante, este litro de esa agua específicamente, tendría por definición una masa de un kilogramo.

## METROLOGÍA



Uno de los 16 metros patrones que se instalaron a finales del XVIII en París. Fuente: Fotos-Historias. Dcha: Copia del cilindro de platino e iridio que se conserva en Estados Unidos. Fuente: Gizmondo

## LA PRECISIÓN – METROLOGÍA

«El largo del metro, para tomar ahora como ejemplo otra de las siete unidades, se define hoy en términos del segundo: es la **longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299.792.458 de segundo**. La longitud, a partir de aquí (o desde 1983, cuando se la definió de esta manera) está también relacionada con el tiempo. Es una relación en la que todo mundo está de acuerdo.

Y el tan cacareado kilogramo, hasta hace muy poco definido por el cuidadosamente maquinado cilindro de platino de París, pronto reaparecerá, esta vez definido en términos de la velocidad de la luz y conectado a ella a través de la famosa constante de Planck que, sin entrar en detalles al respecto, es un número:  $6,62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \times \text{kg/s}$ , y que, como los símbolos implican, está firmemente vinculada con la *a* y por ende con el segundo. La masa queda así definida en términos de tiempo. Todo el mundo hoy está de acuerdo en que esto debe ser así: el tiempo lo apuntala todo».

«El **primer reloj atómico** genuino fue invención de un británico, Louis Essen, en 1955. Junto con un colega, Jack Parry, fabricó un modelo y empleó para su pulso cardíaco la transición de electrones que orbitaban el núcleo del cesio, un metal. Parecería una elección discutible: el cesio es el más blando de los metales. Casi líquido a temperatura ambiente, es una sustancia color oro pálido que se inflama espontáneamente en el aire y explota al contacto con el agua. Sin embargo, hoy se usa y valora sin medida porque en sus transiciones emite **un pulso de radiación tan constante e invariable** que los científicos de Sèvres prestamente acordaron, en 1967, tras mucho insistir en ello Louis Essen y el National Physical Laboratory británico (NPL), al que pertenecía Essen, que se usaría como base para una **nueva definición del segundo**.

Es la que permanece hoy día. Hoy la definición del segundo reza simplemente, si cabe usar este adverbio: duración de 9.192.631.770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio»

La British Standard Institution, por ejemplo, presume de que mientras la exactitud de un reloj estándar de cesio es de 10-13 segundos, ellos, después de ajustar su reloj de fuente de cesio, identificado como NPL-CSF2, han logrado medir el segundo con un grado de precisión comprobado de  $2,3 \times 10^{-16}$ , o 0,00000000000000023. Esto significa que **no se atrasaría o adelantaría un segundo en 138 millones de años.**»

# **HISTORIA DE LAS TEORÍAS ARQUITECTÓNICAS**

## **El mundo moderno y la precisión.**

José Sánchez-Laulhé / jose.laulhe@urjc.es

1er Curso de Grado, curso 2025/26  
Universidad Rey Juan Carlos

\*

Licencia para distribución de la presentación:  
*Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional*  
[https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es\\_ES](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES)  
*Derechos de las imágenes: sus autores.*