

# Leonardo Torres Quevedo, ingeniero de caminos ... y mucho más<sup>a</sup>

## Leonardo Torres Quevedo, Civil Engineer ... and Much More

Francisco A. González Redondo<sup>1\*</sup>, Daniel González Fernández<sup>2</sup>

### Resumen

Leonardo Torres Quevedo es el ingeniero español más universal. Formalmente sólo era ingeniero de caminos, pero su obra se desarrolló también en los ámbitos de la ingeniería aeronáutica, naval, industrial, matemática, informática o de telecomunicaciones. En este artículo se presenta una novedosa y completa síntesis de su obra ingenieril, desde sus inicios en el mundo de los ferrocarriles y su transición de las vías terrestres hacia las vías aéreas con su *transbordador*, hasta la concepción y materialización, de naturaleza a la vez teórica y práctica, de su Automática con los *ajedrecistas* y el *aritmómetro electromecánico*, pasando por la invención del mando a distancia con el *telekino*, el diseño, patente, desarrollo y comercialización de los dirigibles *autorrígidos* desde Francia, y hasta la concepción de la *binave*, el primer catamarán moderno. Un recorrido por la obra de un ingeniero civil a caballo entre el siglo XIX y el XX que puede considerarse que fue el “ingeniero total”.

**Palabras clave:** Leonardo Torres Quevedo, ingeniería de caminos, ingeniería industrial, ingeniería aeronáutica, ingeniería naval, informática, telecomunicaciones.

### Abstract

*Leonardo Torres Quevedo is the most universal Spanish engineer. Formally, he was only a civil engineer, but his work covered many other engineering fields: Aeronautics, naval construction, mechanics, mathematics, computer science, telecommunications, etc. In this article a new and complete synthesis of his work in engineering is presented, from the beginning of his career in the world of railways and his transition to multi-wire cableways with his transbordador, to the conception and materialization, of both theoretical and practical nature, of his Automatics with his automatic chess-players and the electromechanical arithmometer; from the invention of remote control with his telekino, to the design, patent, development and commercialization of his airships from France, and the creation of the binave, the first modern catamaran. A trip through the work of a civil engineer whose life bridged the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries and who can be considered the “total engineer”.*

**Keywords:** Leonardo Torres Quevedo, civil engineering, mechanical engineering, aeronautical engineering, naval engineering, computer science, telecommunications.

## 1. LEONARDO TORRES QUEVEDO, INGENIERO DE CAMINOS

El ilustre ingeniero y matemático español Leonardo Torres Quevedo, caracterizado en 1930 por Maurice d’Ocagne (presidente de la Sociedad Matemática Francesa) como “el más prodigioso inventor de su tiempo”, ha pasado a la historia por la relevancia internacional de su contribución a la ingeniería aeronáutica, industrial, naval, informática o de telecomunicaciones. Sin embargo, su vida se encuentra marcada, desde su nacimiento, por la ingeniería de caminos en general y por el ferrocarril en particular (González Redondo y González Fernández, 2021).

Efectivamente, su padre, Luis Torres Urquijo (figura 1), ingeniero de caminos natural de Bilbao, entre 1841 y 1847 estuvo inicialmente destinado por la Dirección General de Obras Públicas en la provincia de Santander

(dependiente del Distrito de Burgos), trabajando en obras en el puerto de la capital y en diferentes tramos de carreteras por la provincia, hasta que en enero de 1848 fue destinado a Palencia (dependiente del Distrito de Valladolid) encargándose de la construcción de la segunda sección de la carretera general de Madrid a Santander ... la que pasaba por el valle de Iguña, donde conoció a Valentina Quevedo de la Maza (figura 1), con la que se casaría en 1850 (Sáenz Ridruejo, 1999).



Figura 1. Luis Torres Urquijo y Valentina Quevedo de la Maza.

Pero en julio de 1851 D. Luis consiguió que lo destinaran otra vez en Iguña, en esta ocasión para colaborar en

\* Autor de contacto: faglezr@ucm.es

<sup>a</sup> Este trabajo ha contado con la colaboración del proyecto de investigación PID2020-114249GB-I00 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

<sup>1</sup> Profesor titular. Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid (UCM).

<sup>2</sup> Honorary Research Fellow. School of Civil, Aerospace and Mechanical Engineering. Universidad de Bristol (Reino Unido).

el trazado de la línea del Ferrocarril de Isabel II que debía unir Alar del Rey y Santander a su paso por el valle. Estaría a las órdenes de su mentor, el ingeniero jefe santanderino Calixto Santa Cruz Ojangoiti, responsable en 1844, junto con Juan Subercase y su hijo José, de redactar las condiciones generales para las empresas ferroviarias y de establecer las características de la futura red de ferrocarriles españoles. Y el 28 de diciembre de 1852, el día que nació su segundo hijo, Leonardo, don Luis se encontraba trabajando en el diseño del ferrocarril.

A principios de 1853 la familia se trasladó a vivir a Bilbao, donde nacería en 1855 el hermano pequeño, Luis (la mayor, Joaquina, había nacido en Santa Cruz de Iguña en 1851). Allí estudiará su Educación Primaria y Secundaria el joven Leonardo, que volvería a Iguña durante las vacaciones de verano. Y, en efecto, a pesar de los cambios de destino del cabeza de familia, los Torres Quevedo mantuvieron su residencia en Bilbao por lo menos hasta 1856. Ese año Luis Torres fue nombrado Jefe del Distrito de Cáceres, y, tras unos meses, profesor en la Escuela de Ingenieros de Caminos en Madrid. En 1858 pasó al servicio de la empresa del Ferrocarril de Jerez a Trocadero, en la provincia de Cádiz, trasladando el domicilio familiar a las “Casas de Pavón” en el Puerto de Santa María.

Durante estas ausencias de sus padres motivadas por los trabajos ferroviarios de D. Luis por distintos lugares de España, de los que tenemos constancia por su Hoja de Servicios en el Ministerio de Fomento, el niño Leonardo quedaba a cargo de Pilar Barrenechea Lapaza, pariente lejana de su padre. Este hecho se dio muy especialmente entre 1857 hasta 1867, mientras cursaba la primera parte de sus estudios de Bachillerato en el Instituto Vizcaíno [el Instituto de Enseñanzas Medias de Bilbao], dando lugar a una relación familiar que marcaría el futuro de nuestro inventor (Aramberri y González Redondo, 2023).

Con la herencia recibida al fallecer la última de los Barrenechea, Torres Quevedo completaría su Bachillerato en París y, como su padre, estudiaría la carrera de ingeniero de Caminos, Canales y Puertos entre 1872 y 1876, graduándose el cuarto de una promoción de siete de la que fue número uno su primo hermano Luis Torres-Vildósola. El primer año de prácticas lo pasó trabajando como ayudante en el tramo que pasaba por Niebla del ferrocarril Sevilla-Huelva, pero lo dejó a los pocos meses renunciando a entrar en el Cuerpo de Ingenieros de Caminos (Gómez Hidalgo, 1922). Viajó por Europa y colaboró con su padre, Director General de los Ferrocarriles del Noroeste, hasta que, en torno a 1880, decidió retirarse a su valle de Iguña natal “a pensar en sus cosas” ... y trascender de las vías de ferrocarril a los caminos aéreos por cable.

## 2. LOS CAMINOS AÉREOS: EL TRANSBORDADOR

Desde la Antigüedad se tiene constancia del uso de fibras vegetales para el transporte de bultos, sobrevolando dificultades orográficas, en China, Japón y la India. En Europa, sin embargo, la primera descripción de un funicular para materiales conocida se encuentra en un manuscrito de Johann Hartlieb de 1411 conservado en la Biblioteca de Viena. Por otro lado, la primera referencia fidedigna de un transbordador para personas sería el instalado en Venecia por Fausto Verantino en 1617 (González Redondo, 1994).

Hay evidencias de la construcción de una vía aérea para el transporte de tierras en Dantzig por parte de Adam Wybe en 1644 y también se conservan los croquis del primer sistema monocable continuo para el transporte de piedras dibujados por Jacob Leopold en 1714. Todo ello, condicionado por la utilización de cuerdas y la falta de estudios ingenieriles que garantizaran un uso seguro para personas, constituiría la prehistoria de los teleféricos.

La protohistoria de los teleféricos empezaría en 1834, con la invención del cable de acero por parte del ingeniero de minas alemán Wilhelm Albert, y su posterior perfeccionamiento, fabricación y comercialización por parte de empresas como la también alemana Felten & Guillaume.

La mayor resistencia del acero frente a la cuerda permitiría la generalización del transporte por cable en explotaciones mineras y forestales. Para ello se adaptarían elementos ya existentes, como las poleas y los contrapesos, a las innovaciones de inventores como Franz Fritz von Dücker y, sobre todo, Adolf Bleichert, a quien se debe la introducción del “sistema alemán”, bicable, en el que se independizaban los cables soporte y tractor, frente al “sistema inglés”, monocable, propuesto por Charles Hodgson.

Sin que las autoridades pudieran certificar aún la seguridad de las instalaciones, y antes de que Torres Quevedo iniciara en 1885 los ensayos de sus transbordadores en el valle de Iguña y patentara su sistema, se utilizaron ocasionalmente diferentes instalaciones mineras para transportar trabajadores. También se utilizaron primitivos sistemas de “teleféricos” para bajar técnicos a inspeccionar las turbinas en las cataratas del Rin en Shaffhausen, en 1866, o para intentar abrir breve e infructuosamente un primer servicio para pasajeros en Gjesbach (también en Suiza) en 1879 (Schmoll, 1999).

Con posterioridad a los ensayos iguñeses, pero sin la consideración aún tampoco de verdaderos “teleféricos”, funcionaron diversas instalaciones temporales, a modo de atracciones de feria, en las Exposiciones de Milán (1894), Viena (1898) y Turín (1898). Y es que, para que empiece de verdad la historia de los teleféricos, habría que esperar a la contribución de D. Leonardo.

En efecto, terminada su breve etapa de algo menos de un año (1876-1877) como ingeniero del ferrocarril Sevilla-Huelva, emprende un viaje de estudios por Europa para conocer las últimas novedades científicas. A su vuelta, establece su estudio de ingeniería en su casa natal en Santa Cruz de Iguña y realiza las primeras gestiones con la compañía alemana Felten & Guillaume con vistas a comprar los cables de acero necesarios para ensayar el que sería su primer invento: el *transbordador*.

Tras casarse con Luz Polanco Navarro en 1885, traslada su estudio de Santa Cruz a la casona de la familia de su mujer en Portolín (también en el municipio de Molledo), desde donde hará los primeros ensayos y preparará su primera patente. En los esquemas que la acompañarían (figura 2) pueden verse los perfiles de los cables soporte y tractor (representadas como figuras 1 y 2) del *transbordador de Portolín*, junto a la casa de los Polanco (que se conocerá como casa de doña Jimena, la hermana de doña Luz), con una luz de 200 m y una diferencia de altura de 40 m, pasando por encima del camino a Santián. En la patente también aparece el perfil (figura 3) del *transbordador sobre el Río*

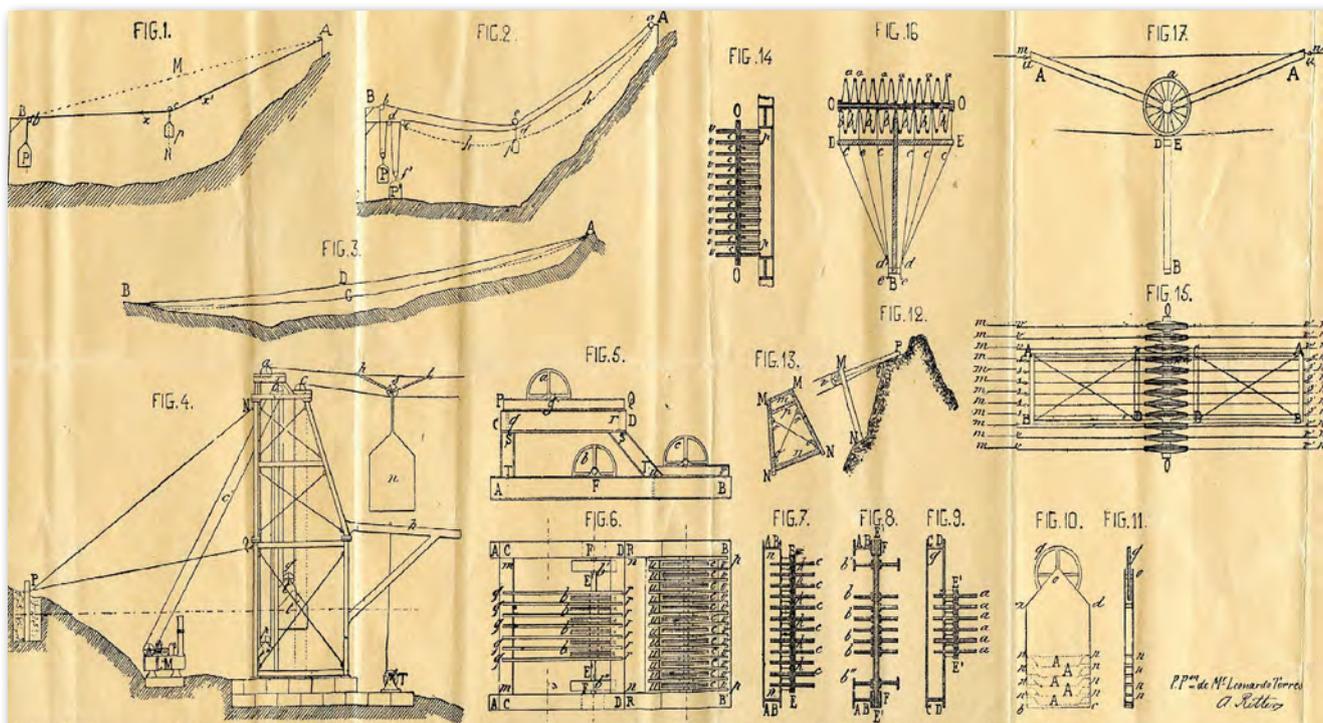


Figura 2. Esquemas de la patente del transbordador, 1887.

León, con una luz de 2032 m y un desnivel de 283 m, entre el Cueto de Pando, en las proximidades de San Martín de Quevedo, y Los Picones, en la carretera que sube desde Bárcena de Pie de Concha al embalse de Alsa.

El título de la patente describe perfectamente lo que se plantea en la invención: “Un sistema de camino funicular aéreo de alambres múltiples”. Por un lado, se describe el funcionamiento de cada uno de los cables soporte (un número par, de 6 a 12 en la patente) que, fijados en una de las estaciones, pasan por una polea en la otra hasta terminar en un contrapeso que determina la tensión que debe soportar cada uno de ellos, calculada de antemano por el constructor. En el improbable caso de rotura de alguno de estos cables soporte, simplemente aumentaría la flecha de los restantes, pero no la tensión que tendrían que soportar. Por otro lado, el cable tractor (motorizado) pasa también por un sistema doble de poleas y contrapesos que fijan su tensión y garantizan su resistencia.

Todos sus biógrafos recuerdan cómo, al terminar la carrera, Torres Quevedo utilizó la herencia recibida de la familia Barrenechea para viajar por Europa (Francia, Suiza, Alemania, etc.), donde tomaría conciencia de la necesidad de resolver el problema del transporte por cable de personas garantizando su seguridad. Y, de hecho, nuestro inventor entendió que el proyecto de *transbordador*, concebido, construido y ensayado en el valle de Iguña, y con el que quedaría resuelto el problema del transporte por cable, podía tener una dimensión internacional.

Así, dos semanas antes de que solicitara la patente española desde Portolín (el 17 de septiembre de 1887), los agentes de patentes habían solicitado en su nombre la patente (redactada en alemán) en Austria (el 6 de septiembre) y en Alemania (9 de septiembre), y un mes más tarde harían lo propio (en inglés) en los EE. UU. (el 12 de octubre). Transcurridos apenas seis meses, solicitó también la patente (redactada en francés) en Francia (el 14 de marzo) y en el Reino de Italia (17 de marzo), habiéndola solicitado

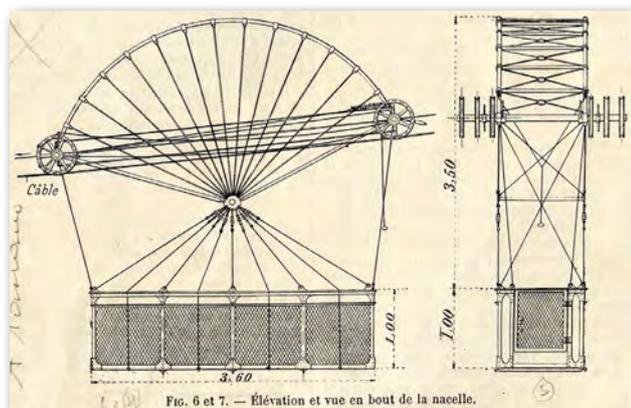
antes (en inglés) en el Reino Unido (el 16 de marzo) (González Redondo, 2009).

Aunque no consta que el inventor montañés iniciara las gestiones para construir su primer *transbordador* en ninguno de esos países, sin embargo, sí está documentado que en 1888 presentó un detallado proyecto para construir, en las proximidades del lago Lucerna (Suiza), el que podía haber sido el primer teleférico abierto al público del mundo. Debía unir los hoteles situados en la cima del Monte Pilatus (el Bellevue o el Pilatus), a los que se accedía por un tren de cremallera inaugurado el año anterior, con el nuevo hotel construido junto a la capilla del Klimsenhorn, situado en una colina unos trescientos metros más abajo del Pilatus, y al que solamente podía accederse tras una caminata de varias horas ascendiendo desde Kriens (González Fernández y Redondo Alvarado, 2015).

Concedida en Suiza la patente (1889), obtenidos unos primeros permisos, e iniciadas las obras, ingenieros, empresarios y autoridades cantonales orquestaron una campaña en contra del proyecto, incluyendo caricaturas y artículos despreciando el proyecto en la prensa, haciendo que la iniciativa terminara constituyendo en 1896 el que Francisco González de Posada (1992) bautizó como el [transitorio] “fracaso suizo” de D. Leonardo. El mundo tendría que esperar a 1907 para disponer del primer teleférico para personas. Y sería nuestro insigne inventor el que lo construyera.

En efecto, el éxito en las pruebas del *telekino* (el primer mando a distancia completo de la historia, inventado también por D. Leonardo) teledirigiendo el bote *Vizcaya* en el Abra de Bilbao, en septiembre de 1906, animó a un grupo de empresarios (prioritariamente, bilbaínos) a crear la *Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería*, con el objeto estatutario de “estudiar y experimentar los proyectos o inventos que le sean presentados por D. Leonardo Torres Quevedo” (Alonso y Juaristi, 1993).

La iniciativa principal sería la construcción del primer teleférico para personas del mundo, transcurridos 20 años desde los ensayos igüeses, eligiendo para su ubicación el monte Ulía de San Sebastián. Con este objeto, además, el inventor prepararía una nueva patente actualizando su sistema de cables soporte múltiples de 1887 y solicitando privilegio de invención, en diciembre de 1907, por el nuevo tipo concebido de barquilla “en abanico” con el que se alcanzaba prácticamente el ideal de resistencia estructural (figura 3).

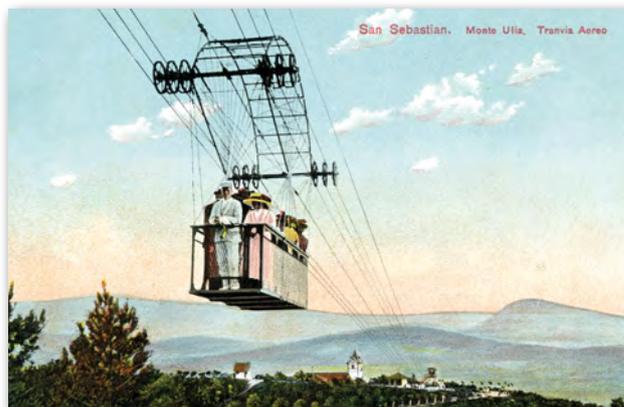


**Figura 3.** Barquilla del *transbordador del monte Ulía*.

El *transbordador del monte Ulía* tenía un recorrido de 280 metros, salvando un desnivel de 28 metros entre la estación inferior, próxima a los andenes de llegada del tren eléctrico, y la estación superior, situada en las inmediaciones del Tiro de pichón. La barquilla, en la que podían viajar hasta 18 personas, se desplazaba sobre seis cables soporte, tres a cada lado, con las poleas y los respectivos contrapesos para cada uno de ellos situados en la estación superior, mientras el cable tractor era accionado desde un motor eléctrico situado en la estación inferior (Espitallier, 1909).

La ceremonia de inauguración tuvo lugar el 30 de septiembre de 1907 bajo una intensa lluvia, abriéndose al público al día siguiente con tanta aceptación que durante sus primeros seis años de funcionamiento viajarían en él más de 60.000 pasajeros. El éxito del *transbordador del monte Ulía* (figura 4) animó a Torres Quevedo a estudiar otros proyectos en Suiza (por ejemplo, entre Caux y Les Avants, en el Lago Lemán), que no se materializarían. Por otro lado, la solución del problema del transporte por cable de personas con seguridad, demostrada por D. Leonardo en San Sebastián en 1907, haría que otros ingenieros consiguieran permisos de las autoridades para poner en marcha los primeros teleféricos en Austria (el “Kohlerer”, inaugurado el 29 de junio de 1908), Suiza (“Wetterhorn”, 27 de julio de 1908), Italia (“San Vigilio-Vigilhoch”, 31 de agosto de 1912), Brasil (“Pan de Azúcar”, 27 de octubre de 1912), Francia (“Col du Midi”, 16 de julio de 1924), etc. (Schmoll, 1999).

El inicio de la construcción del funicular que iba a dar acceso al nuevo parque de atracciones concebido en el Monte Igueldo, al otro extremo de la bahía de La Concha, precipitaría la clausura del tren eléctrico, y, consecuentemente, el fin de Ulía como destino preferente para el ocio donostiarra. Así, en 1911, mientras disfrutaba aún del éxito del *transbordador del monte Ulía*, pero se avizoraba el previsible cierre de la instalación, Torres Quevedo viajó a



**Figura 4.** Postal ilustrando la ascensión del *transbordador del monte Ulía*.

Canadá, en compañía de Valentín Gorbeña, para estudiar la posibilidad de construir un segundo *transbordador*, ahora sobre el río Niágara (Aramberri y González Redondo, 2011).

En 1913 se concedieron los permisos y en 1914 se registró en Canadá la empresa española *The Niagara Spanish Aerocar Company Limited*. Con capital español (prácticamente los mismos capitalistas bilbaínos que en San Sebastián), proyecto español (de D. Leonardo), ingeniero constructor español (Gonzalo, su hijo), administrador español (Antonio Balzola) y futura explotación comercial española, la construcción del *Aerocar* comenzaría en 1915 y la inauguración en pruebas tendría lugar el 15 de febrero de 1916 (Person, 1916; Juaristi y Alonso, 1993; González Redondo, 2009).



**Figura 5.** El *transbordador del Niágara* en la actualidad.

Con un recorrido de 550 metros entre Colt's Point y Thompson's point, ambos en la orilla canadiense, a 76 metros de altura sobre el Whirlpool (remolino) que forma el río, sobrevolando aguas territoriales de los EE. UU., el *transbordador del Niágara* se convertiría en el primer teleférico para personas de toda Norteamérica. Se inauguró oficialmente el 8 de agosto de 1916, comenzando una explotación comercial muy complicada por los efectos de la I Guerra Mundial, en la que estaba participando Canadá y en la que entrarían los EE. UU. al año siguiente.

Tras la inauguración del *transbordador del Niágara*, nuestro ingeniero recibió propuestas para estudiar nuevos teleféricos de su sistema de Casa Blanca a La Habana (Cuba), del Parque del Pintor Rosales a la Casa de Campo (Madrid), para subir a la Alhambra desde el Albaicín (Granada), para unir el Monte Igueldo con el Monte Urgull (San Sebastián), sobre el río Ebro (Zaragoza), etc., pero ninguno llegaría a concretarse (Aramberri y González Redondo, 2011).

En Niágara, aunque se superaron los problemas iniciales (y los ocasionados por la crisis de 1929), los efectos de la II Guerra Mundial hicieron que la sociedad española fuera subcontratando la atracción turística a compañías canadienses hasta que, en 1961, se vendió al empresario A. Blake Robertson, para ser adquirida en 1968 por *The Niagara Parks Commission*, entidad pública del estado de Ontario que explota el *transbordador* desde entonces.

En 1984 la *Commission* sustituyó la tienda por una nueva (la que sigue existiendo actualmente) en la que se adquieren los billetes, se venden los souvenirs, etc.; también programó la revisión periódica de cables y maquinaria; adaptó la barquilla a las nuevas normas de seguridad ... y decidió pintarla con los colores rojo y amarillo de la bandera de España que sigue llevando hoy, transcurridos más de cien años desde su inauguración, durante los cuales no ha tenido ningún accidente (figura 5).

La estructura en abanico utilizada tanto en el *transbordador del monte Ulía* como en el *transbordador del Niágara*, que había patentado también en 1907 para reactivar la primera patente de 1887, inspiraría años después la cubierta del Museo de Historia de Hamburgo, por la que su autor, el ingeniero alemán Jörg Schlaich, obtendría en 1990 la *IStructE Gold Medal* de la *Institution of Structural Engineers* (González Redondo y Cubría Piris, 2019).

Por otra parte, como muy bien había adelantado Torres Quevedo, a lo largo del siglo XX los teleféricos se generalizarían por todo el mundo (especialmente en Austria y Suiza) como un sistema seguro para el transporte de personas. En general, tendrían cabinas cerradas y reducirían a uno solo el número de cables soporte, aunque, en la actualidad, están teniendo mucho éxito sistemas "cabrio", con barquillas-terrazas abiertas (como las de los *transbordadores* de Ulía y Niágara). Y, para dar más estabilidad, los cables soporte aparecen duplicados (incluso en los laterales de las barquillas, como en los torresquevedianos) en muchas de las nuevas instalaciones, lo que permite su utilización muchos más días al año, incluso con vientos moderados.

En España, aparte de numerosos telesillas en las estaciones de esquí y telecabinas como las de la Casa de Campo (Madrid), Benalmádena (Málaga), Sierra Nevada (Granada), Montjuic (Barcelona) o Cabárceno (Cantabria), se pueden realizar viajes en teleférico en el Monasterio de

Montserrat y el Puerto (Barcelona), Fuente Dé (Cantabria), El Teide (Tenerife), Sallente (Lérida) y Gibraltar.

### 3. INGENIERÍA MATEMÁTICA: LAS MÁQUINAS ALGÉBRICAS

En 1889, mientras emprendía el proyecto del *Transbordador del Monte Pilatus* en Lucerna, Torres Quevedo centra su atención en la mecanización del cálculo mediante *máquinas algébricas*. El problema que se planteaba resolver quedaba precisado en su "Noticia de algunas máquinas calculadoras" (1893):

"Cualquier aparato que permite provocar a voluntad un fenómeno cuya ley está expresada en una fórmula algébrica, puede teóricamente servir para obtener valores simultáneos de todas las variables contenidas en esta fórmula. Pero claro es que esta verdad teórica no tiene, en general, ningún valor práctico. No es fácil producir un fenómeno cuya ley sea la fórmula que interesa calcular, ni medir con exactitud suficiente sus elementos, ni hacer que estos varíen entre límites bastante amplios, ni ...".

En este nuevo ámbito establecerá la metodología que caracterizará toda su obra. Por un lado, la concepción, redacción y publicación del marco teórico sistemático para las nuevas máquinas de su invención, que se plasmaría en su *Memoria sobre las máquinas algébricas* (1893-1895) y sometería al juicio de la Academia de Ciencias de París y de la Asociación Francesa para el Progreso de las Ciencias en su Congreso de Burdeos. Por otro, la construcción efectiva de unos primeros modelos de demostración que materializasen sus consideraciones teóricas.

Las máquinas de calcular pueden clasificarse en: *máquinas analógicas*, si se utilizan variables continuas, y *máquinas digitales*, si se utilizan variables discretas. Las *calculadoras* o *computadoras analógicas* son máquinas de cálculo en las que los números se representan mediante cantidades de una(s) determinada(s) magnitud(es) física(s). Estas magnitudes físicas pueden ser de muy diferente naturaleza: longitudes, desplazamientos, rotaciones de ejes...

En las computadoras de este tipo, unas ecuaciones matemáticas (*algébricas*) se transforman en un proceso operacional de cantidades físicas que resuelve un problema físico análogo (o analógico), cuya solución numérica –la medida de la cantidad de otra magnitud (o de la única puesta en juego)– es la solución de la ecuación matemática. En resumen, un problema matemático se resuelve mediante un modelo físico (González de Posada, 1993).

Presentadas sus concepciones teóricas y los primeros modelos de demostración en París y Burdeos (figura 6), Torres Quevedo dedica los años 1896 a 1900 a estudiar, perfeccionar, concebir detalladamente sus máquinas y construir alguna. Y, en febrero de 1900, envía a la Academia de Ciencias de París la memoria *Machines à calculer*, en la que, en síntesis, el inventor español plantea la cuestión general "¿Podrá construirse una fórmula cualquiera?".

El "Rapport" preparado por la *Académie* concluiría reconociendo que D. Leonardo había dado "una solución

teórica, general y completa, del problema de la construcción de relaciones algebraicas y trascendentes mediante máquinas”. Reconocían, además, que había “construido, efectivamente, máquinas de manera cómoda para la resolución de algunos tipos de ecuaciones algebraicas que se presentan frecuentemente en las aplicaciones” (Deprez, Poincaré y Appell, 1900, p. 3).



**Figura 6.** Máquina algébrica para resolver ecuaciones de segundo grado.

Tres órganos esenciales (concebidos teóricamente y contruidos de manera práctica) componen las máquinas algebraicas: el generador de cantidades o *aritmóforo*; el generador de monomios o *tren epicicloidal*; y el generador de sumas o *husillo sin fin*, el órgano fundamental, que permite calcular el logaritmo de la suma como suma de logaritmos resolviendo el problema de su representación mecánica (Hernando González, 1996; Gómez Jáuregui *et al.*, 2022).

En la cima del reconocimiento internacional al comenzar el siglo XX, la etapa de dedicación intelectual de Torres Quevedo a las máquinas analógicas, de hecho, concluiría con su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, del 19 de mayo de 1901. Supuso el colofón de su pensamiento científico en el ámbito de las *máquinas algebraicas* y se publicaría en 1902 en Lovaina (Bélgica), traducido al francés, en la *Revue des Questions Scientifiques*.

La *máquina algebraica* (de tecnología mecánica) efectiva para resolver ecuaciones de grado ocho, cuya solución teórica presentó en estos trabajos de 1900-1901, no se pudo



**Figura 7.** Máquina algébrica para resolver ecuaciones de grado ocho.

realizar entonces. Según su hijo y colaborador Gonzalo Torres-Quevedo, comenzó a construirse en 1910 y se concluyó en torno a 1914 (figura 7), cuando el sabio español había pasado a desarrollar su *Automática*, con máquinas de demostración (*ajedrecista*, *aritmómetro*) contruidas con una nueva tecnología electro-mecánica.

#### 4. AERONÁUTICA: LOS DIRIGIBLES AUTORRÍGIDOS

El 21 de noviembre de 1783 François Pilatre de Rozier y el Marqués d'Arlandes efectuaron en París el primer vuelo tripulado de la historia en un globo de aire caliente contruido por los hermanos Montgolfier. Por otro lado, el 1 de diciembre de ese mismo año, Jacques Charles y Marie-Noël Robert realizaron la primera ascensión en un globo lleno de hidrógeno. El 27 de diciembre Antoine de Lavoisier adelantaba en la *Académie des Sciences* el siguiente paso que debía darse para resolver el problema de la navegación aérea: pasar del globo al dirigible (González de Posada y González Redondo, 2007).

A lo largo del siglo XIX los globos evolucionaron hacia las formas ahusadas actuales y se aplicaron los primeros motores, destacando el de vapor de Henri Giffard de 1852 y el eléctrico de Gaston Tissandier de 1883. Pero la Aerostación dirigida nacería cuando el dirigible con motor eléctrico “La France” de Charles Renard y Arthur Krebs completara en 1884 una trayectoria cerrada, con retorno al punto de partida.

Mientras en España se creaba en 1896 el *Servicio de Aerostación Militar* en Guadalajara, centrado en el ensayo y uso militar de los globos aerostáticos, Alberto Santos Dumont continuaba en París la senda abierta por los pioneros militares franceses experimentando con dirigibles flexibles. Para que no se doblasen por el peso del motor, los pasajeros, etc., estos modelos debían tener barquillas casi tan largas como la envuelta y cuerdas de suspensión a lo largo de toda ella. En suma, eran desinflables y elásticos, pero también inestables de forma, y, por tanto, en vuelo.

Otros inventores, como Ferdinand von Zeppelin, propusieron dirigibles rígidos, con una estructura cilíndrica de aluminio (o madera) cubierta por una lona, encerrando en su interior varias celdas independientes conteniendo el hidrógeno. Resolvían el problema de la estabilidad, pero ni se podían desinflar ni su estructura rígida admitía impactos.

Reuniendo elementos de uno y otro sistema, Henri Julliot diseñó en Francia, para los hermanos Lebaudy, dirigibles semirrígidos, con una quilla metálica en la parte inferior de la envuelta, de la que colgaría la barquilla, pero no solucionaba los defectos de los sistemas flexible y rígido.

Mientras en el Reino Unido, Rusia, Austria o EE. UU. se ensayaban también diferentes modelos de dirigibles flexibles, sucesivos accidentes, como los que terminaron con las vidas de los inventores Augusto Severo y Ottokar Bradsky, demostraban en 1902 que el problema de la navegación aérea seguía sin estar resuelto.

Alcanzado el reconocimiento internacional con sus *máquinas algebraicas*, al comenzar el siglo XX D. Leonardo se embarca en la solución del problema. Sus estudios se concretarían, en mayo de 1902, en la patente francesa “Perfectionnements aux aérostats dirigeables” (figura 8) que, acompañada de una Nota complementaria, presenta ante las Academias de París y Madrid.

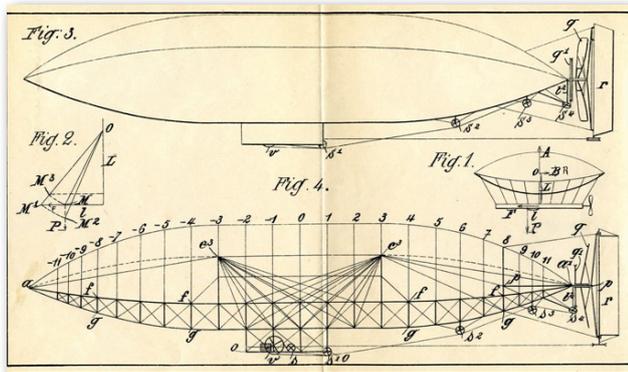


Figura 8. Esquemas de la patente del dirigible de 1902.

Reuniendo las ventajas de los sistemas rígido, flexible y semirrígido, eliminaba sus principales defectos proponiendo un dirigible con una envuelta trilobulada con tres cables de proa a popa unidos a ella en las intersecciones de los lóbulos. En su interior, una viga-quilla formada por triángulos de cuerda, cortinas de lona, algunos cables metálicos y dos largueros se autorrigidizaría por la presión del gas. Una vez inflado, funcionaría como si fuera rígido, distribuyéndose los pesos por la viga (González Redondo, 2011).

Adelantándose a los avisos de las autoridades británicas, resolvía el problema del control remoto presentando en ese año 1902 el *telekino* para proteger las vidas humanas en los ensayos con dirigibles. Y, en julio de 1906, solicitaría la patente definitiva por “Un nuevo sistema de globos fusiformes deformables”, el sistema *autorrigido*, en el que se eliminaban los elementos metálicos de la viga interior, formada ahora ya únicamente por triángulos de cuerda. Pero D. Leonardo aportó una solución completa al problema de la navegación aérea. En primer lugar, además de inventar el mando a distancia (adelantándose al concepto “dron”), en 1911 también patentó el “Poste de amarre” para la acampada de los dirigibles al aire libre (González Redondo y Campin, 2015).

Por otro lado, entendió que Náutica y Aeronáutica podían operar juntas mediante la instalación del “Poste de amarre” a bordo del “Buque campamento” (porta-dirigibles), patentado en 1913 (González Redondo, 2017). Ese mismo año propuso al Ministerio de Fomento un “Cobertizo inflable” que, aunque no llegó a construirse ni ensayarse, convierte a Torres Quevedo en pionero de la Arquitectura inflable. Y en 1914 patentaría un nuevo sistema de “Dirigible indeformable” con viga interior metálica de sección triangular. Finalmente, en 1919, presentaría el proyecto de dirigible trasatlántico *Hispania*, también semirrígido, pero que tampoco llegaría a concretarse.

Ante el éxito cosechado en la *Académie des Sciences* de París en 1902 por el proyecto del dirigible y en 1903 con el primer modelo del *telekino*, en enero de 1904 el Gobierno español creó el *Centro de Ensayos de Aeronáutica* y lo puso bajo la dirección de Leonardo Torres Quevedo, quien fijó la sede en el antiguo frontón Beti-Jai de Madrid (González Redondo y Cubría Piris, 2019).

A partir de marzo de 1905 empezaría a colaborar Alfredo Kindelán Duany como Auxiliar Técnico del *Centro*. Instalaría una cubierta de lona para el frontón y comenzaría la construcción del primer dirigible español: despiezando y cosiendo las telas que debían conformar la envuelta de 640 m<sup>3</sup> y preparando la viga funicular (de cuerdas) interior

que debía aportar la *autorrigidez* al globo (González Redondo, 2009).

Terminada la construcción, el 26 de junio se procedería a su inflado en el Gasómetro de Madrid y el 11 de julio se solicitaría la nueva patente. En julio de 1906 Kindelán procedió al traslado del globo al Polígono del *Servicio de Aerostación Militar* en Guadalajara, y en septiembre se hicieron nuevas pruebas de inflado, ahora con hidrógeno. Recibidos los motores y las hélices, y construida la barquilla, durante el 12 de septiembre el *Torres Quevedo 1* volaría con los motores en marcha, guiado desde tierra con las cuerdas de maniobra. Pero al día siguiente la porosidad de la envuelta obligaría a suspender los ensayos y a decidir su sustitución por una nueva.

La construcción de la nueva envuelta, más impermeable, que debía acometerse a propuesta de Kindelán a las órdenes de D. Leonardo, aconsejó el aumento del volumen del nuevo dirigible *Torres Quevedo 2* hasta los 980 m<sup>3</sup>. Finalmente, entre el 8 y el 11 de julio de 1908 tendrían lugar las exitosas pruebas con el dirigible, en el que viajarían D. Leonardo, Kindelán, Pedro Vives y varios oficiales del *Servicio de Aerostación Militar* (figura 9). Sin embargo, al publicarse la Real Orden del Ministerio de Fomento bautizando al dirigible con el nombre de su inventor, Alfredo Kindelán presentó su dimisión como Auxiliar, por lo que el *Centro* se vería obligado a abandonar Guadalajara (González de Posada y González Redondo, 2007). Constatada la imposibilidad de continuar los ensayos en Madrid, Torres Quevedo dirigiría la mirada hacia el lugar donde había comenzado a resolver el problema de la navegación aérea: París.



Figura 9. Pruebas del *Torres Quevedo 2* en Guadalajara en 1908.

En efecto, tras el desencuentro con los militares que le obligó a salir de Guadalajara, en 1909 Torres Quevedo retomó el ofrecimiento que ya había recibido de Edouard Surcouf en 1901, y trasladó el *Torres Quevedo n.º 2* a un hangar de la casa *Astra* en Sartrouville (París) con la colaboración del nuevo Auxiliar del *Centro*, el capitán de ingenieros José M<sup>a</sup> Samaniego. Realizadas las pruebas en octubre de 1909, en febrero de 1910 D. Leonardo firmó con la casa *Astra* el contrato de cesión de las patentes francesa e inglesa del sistema *autorrigido*. A cambio, recibiría un canon de 3 francos por metro cúbico de dirigible construido y el compromiso de fabricar una primera unidad a cargo de la empresa francesa: el *Astra-Torres n.º 1* de 1.600 m<sup>3</sup>.

El éxito de este primer dirigible de *Astra* abriría el camino a la comercialización del sistema. Así, constatado el escaso desarrollo de los dirigibles en el Reino Unido, el Almirantazgo británico encargó a la casa *Astra* la construcción del *Astra-Torres XIV* de 8.000 m<sup>3</sup>, que batiría el record mundial de velocidad (83,2 km/h con viento en contra) en los ensayos de recepción efectuados en septiembre de 1913. Un año más tarde, comprobada la eficacia del *Astra-Torres XIV* (rebautizado *HMA* - "His Majesty's Airship" - no.3) durante los primeros meses de la I Guerra Mundial, el Almirantazgo adquiriría a través de *Airships Ltd*, la filial británica de *Astra*, el *Astra-Torres XVI* (*HMA* no.16), *Astra-Torres XVII* (*HMA* no.10) y *Astra-Torres XIX* (*HMA* no.8). Ante el éxito del *Astra-Torres n° 1* en Francia y del *Astra-Torres XIV* en el Reino Unido, el Ejército Francés encargó el *Astra-Torres XV-Pilatre de Rozier* de 23.000 m<sup>3</sup> (tan grande como los zeppelines de la época), que se transformaría en 1916 en el *Pilatre de Rozier II*, gemelo del *Alsace* de 14.000 m<sup>3</sup>, que se había entregado en 1915 (González Redondo, 2009). Tanto uno como otro, utilizados durante la I Guerra Mundial en tareas de reconocimiento y bombardeo en el frente, serían pronto derribados, transfiriéndose el nuevo *La Flandre* de 16.000 m<sup>3</sup> a la Marina para realizar labores de vigilancia de costas y lucha antisubmarina, en las que los dirigibles demostrarían ser mucho más útiles y menos vulnerables.

En 1916 el Almirantazgo británico decidió comenzar la fabricación de dirigibles del sistema Torres Quevedo al margen de las casas *Astra* y *Airships Ltd.*, y sin pagar royalties a D. Leonardo. Construyeron más de sesenta dirigibles, de tres series sucesivas, para el Royal Naval Air Service: 27 *Coastal* de 4.810 m<sup>3</sup>, 10 *Coastal Star* de 5.960 m<sup>3</sup> y 18 *North Sea* de 10.190 m<sup>3</sup>. Se vendieron además 4 *Coastal* a Rusia, otro a Francia y un *North Sea* a los EE. UU. Todos ellos se utilizaron en tareas de escolta de convoyes, vigilancia costera, detección de minas y lucha antisubmarina desde bases que controlaban la costa suroccidental de Inglaterra

(Mullion), el Canal de la Mancha (Kingsnorth, Capel, Polegate, Pulham, Howden), el Mar de Irlanda (Pembroke, Anglesey) y el Mar del Norte (Longside, East Fortune).

Durante la I Guerra Mundial la casa *Astra* fabricaría para la Marina Francesa los *AT-1* a *AT-4* de 6.500 m<sup>3</sup>, los *AT-5* a *AT-9* de 7.600 m<sup>3</sup>, los *AT-10* a *AT-17* de 8.300 m<sup>3</sup> (figura 10) y el *AT-18* de 10.700 m<sup>3</sup>. Operarían en tareas de escolta y lucha antisubmarina desde bases en el Golfo de Vizcaya (Rochefort-sur-mer), Bretaña (Brest-Guivapas, Montebourg), Canal de la Mancha (Le Havre, Boulogne-Marquise), Marsella (Aubagne, Cuers-Pierrefeu), Argelia (Orán la Sénia, Argel Baraki) y Túnez (Bizerta Sidi Ahmed). También debe dejarse constancia de que en 1918 se transfirieron a la US Navy los *AT-1*, *AT-13*, y *AT-18*, que operarían desde Paimboueuf (Bretaña) (González Redondo, 2009).

Terminada la contienda, en 1920 *Astra* entregaría el *AT-19* a la Marina Francesa y, en 1922, el último dirigible por el que Torres Quevedo cobraría royalties, el *AT-47* (*Astra* quiso destacar que el n° 20 de los *AT* llevaba la envuelta n° 47) para la Marina del Japón, ambos de 10.700 m<sup>3</sup>. Finalmente, en 1925 *Astra* fabricaría el *AT-24* (al acabar la guerra, los *AT-20* a *AT-23*, no llegarían a entregarse) de 12.500 m<sup>3</sup> para la Marina Francesa y se intentaría poner en marcha una línea comercial entre Marsella y Argel. Durante los años siguientes, y hasta 1936, se irían renovando las envueltas de los siete antiguos *AT* aún operativos, rebautizándolos *E-1* a *E-7*.

Entre 1931 y 1937, mientras la casa *Astra* proporcionaba las últimas envueltas de repuesto para los antiguos *Astra-Torres*, la casa *Zodiac* fabricaba para la Marina Francesa las "vedettes" (dirigibles "pequeños") *V-11*, de 3.400 m<sup>3</sup>, y *V-12* de 4.020 m<sup>3</sup>. En 1977 *Zodiac* empezó el desarrollo, para el Servicio Meteorológico Francés, del *Dinosaur* de 3.350 m<sup>3</sup>, un catamarán aéreo teledirigido con dos envueltas autorregidas doblemente trilobuladas del sistema Torres Quevedo, del que sólo se llegó a ensayar en 1978 un

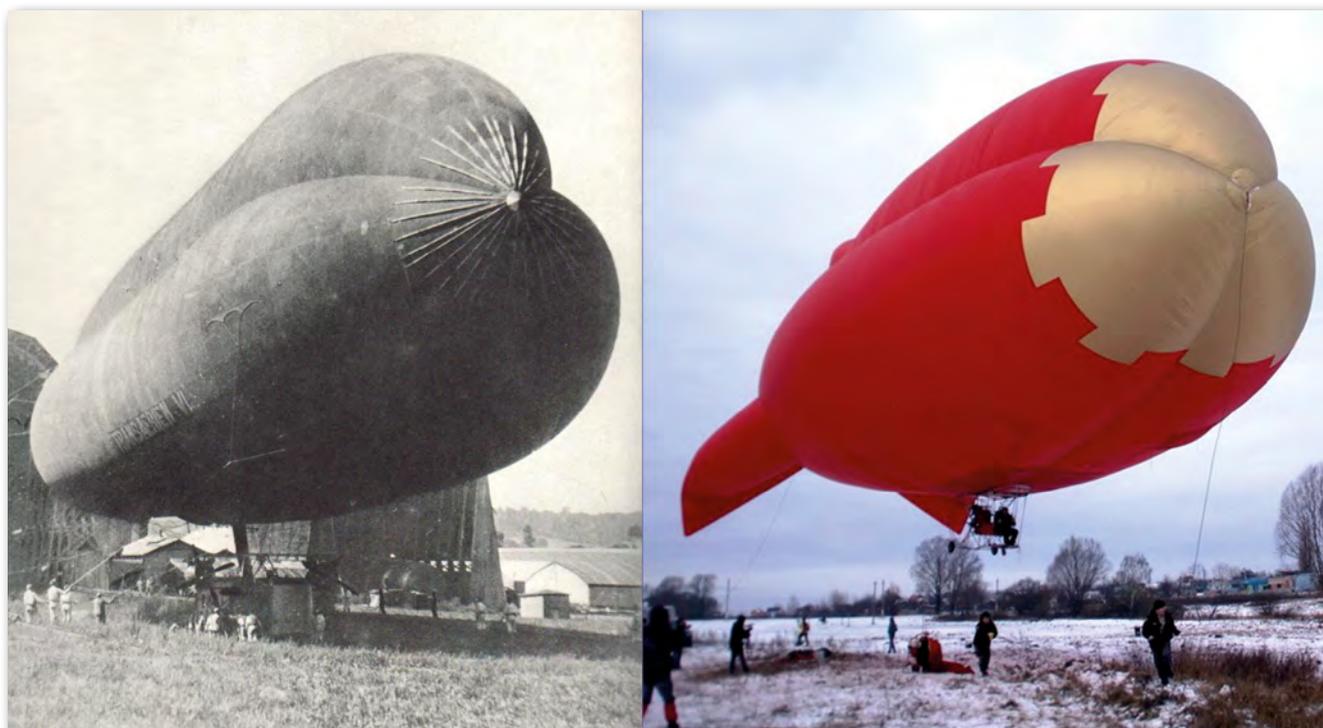


Figura 10. Dirigible francés *AT-16* en 1918 y dirigible ruso *DZ-E1* en 2018.

modelo de 47 m<sup>3</sup>. El sistema híbrido del *Dinosaure* une suspensión aerodinámica a la suspensión aerostática propia de cualquier dirigible. Sirvió de antecedente para dos proyectos mucho más ambiciosos de dirigibles híbridos trilobulados, el de la empresa norteamericana *Lockheed Martin* y su *P-791* de unos 8.000 m<sup>3</sup> (ensayado en 2006), y el de los británicos *Hybrid Air Vehicles* y el *HAV 304/Airlander 10* de 38.000 m<sup>3</sup> (construido y ensayado entre 2012 y 2017). Este último ha sido elegido por *Air Nostrum* para líneas comerciales de pasajeros con dirigibles en España (González Redondo, 2022).

El sistema de suspensión interior mediante cuerdas y cortinas desde la envuelta, patentado en 1902 y perfeccionado en 1906, fue simplificado y adaptado a los nuevos materiales por *Goodyear* en 1931. Se ha ido adoptando a lo largo del siglo XX en todos los dirigibles no-rígidos del mundo. Por otra parte, el “Poste de amarre”, patentado por D. Leonardo en 1911, sigue siendo el sistema estándar hoy, bien entrado el siglo XXI, para el amarre de los dirigibles al aire libre (González Redondo y Camplin, 2015).

En 1997 el conglomerado de empresas *Zeppelin* radicadas en Friedrichshafen (Alemania) empezaron la construcción de los *Zeppelin NT*. Utilizan el apellido del Conde, pero con un nuevo sistema semirrígido, caracterizado por el uso de una viga rígida de sección triangular. Se trata de un diseño próximo a las soluciones de Torres Quevedo y totalmente distinto de las estructuras interiores de los antiguos zeppelines. Por su parte, en 2012, redescubriendo las potencialidades de las envueltas polilobuladas para la suspensión de la barquilla, la casa francesa *Voliris* construyó el dirigible tetralobulado *V901C*, mientras desde 2016 está desarrollando el dirigible pentalobulado *V902RC*.

Finalmente, en 2013, siguiendo los diseños de D. Leonardo, la *Sociedad Aeronáutica Rusa* y la empresa checa *Balony Kubicek* construyeron el dirigible trilobulado autorrigido *RFR-1* e hicieron unos primeros ensayos en Ucrania junto con la *Sociedad Aeronáutica de Kiev*. Trasladado el dirigible a Rusia en 1914 y rebautizado como *DZ-E1* (figura 10), a partir de 2018 ha continuado operando desde su nueva base en Moscú (González Redondo, 2022).

## 5. DEL TELEKINO A LA AUTOMÁTICA

Si el proyecto de dirigible había merecido, en mayo de 1902, el informe favorable de la *Académie des Sciences* de París, las revistas británicas *Nature*, *Aeronautical Journal* y *Literary Digest* desaconsejaban los ensayos tripulados tras el fallecimiento de varios inventores en accidentes ocurridos probando sus dirigibles. Motivado por la sugerencia, el 10 de diciembre de ese mismo año de 1902 Torres Quevedo presentó en Francia la solicitud de patente por “*Système dit Télékine pour commander à distance un mouvement mécanique*”, el primer sistema efectivo para el control remoto de sus dirigibles sin arriesgar las vidas de pilotos humanos. Aprobada la patente francesa en marzo de 1903, en junio pedía el privilegio de invención en España, y en diciembre hacía lo propio en el Reino Unido y los EE. UU., solicitando en Francia, además, mejoras mediante una primera adición. Completados los diseños con el “contacto retardado”, por primera vez se podían “transmitir mandatos en cualquier número y para cualquier cambio de mecanismos o de efectos o de sentidos del movimiento” (Arrillaga, 1916)

y podía comenzar la construcción de los primeros *telekinos* en la sede del *Centro de Ensayos de Aeronáutica* en el frontón Beti-Jai (González de Posada y González Redondo, 2022).

El *telekino* constaría de dos unidades, un “emisor” y un “receptor”, sin que ningún cable los uniese. Desde el emisor de ondas hertzianas se enviarían diferentes posibles colecciones de pulsos mediante un manipulador telegráfico estándar. El receptor iría almacenando esas señales hasta que pasasen cinco segundos sin recibirlas (el equivalente al “intro”); entonces, retomaría de su “memoria artificial” ese grupo de señales y las “interpretaría”, decidiendo el *telekino*, por sí sólo, qué acción estaba implícita en esas señales y dando las órdenes a los servomotores correspondientes para ejecutarla. El proceso se podría repetir tantas veces como se quisiera, enviando diferentes colecciones de señales, con una pausa entre ellas, y el *telekino* iría ejecutando sucesivamente las diferentes operaciones implícitas: encendido o apagado del motor, giro a izquierda o a derecha -a babor o a estribor-, aumento o reducción de la velocidad, etc. (González de Posada, González Redondo y Hernando González, 2021).

Construidos en 1904 dos *telekinos*, en febrero de 1905 se realizaron las primeras pruebas teledirigiendo un coche (un triciclo) ante el alcalde de Bilbao, ensayos que se repetirían en marzo, con gran éxito, ante profesores y alumnos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Madrid. En noviembre tenían lugar pruebas privadas en el Abra de Bilbao con el segundo *telekino* teledirigiendo el bote *Vizcaya* desde el Club Marítimo, y en junio de 1906 se efectuaban nuevos ensayos con el primer *telekino* en una lancha en el lago de la Casa de Campo de Madrid ante miembros del Ateneo y de la Academia de Ciencias. Las pruebas se completarían en Bilbao en septiembre, en presencia del rey Alfonso XIII (figura 11) y de un gran público congregado en el Abra, con el *telekino* instalado en el bote *Vizcaya*. Conocedor de la invención desde los primeros momentos, José Echegaray (1903, p. 1) ya había destacado que era un autómata de “cierta inteligencia, no consciente, pero sí disciplinada”.

Redimensionado así el *telekino* en tanto que verdadero autómata electromecánico más allá que como simple mando a distancia, D. Leonardo entendió en 1910 que “es posible construir un autómata que ejecute una serie determinada de cálculos por complicados que sean, sin auxilio



**Figura 11.** Pruebas del *telekino* en Bilbao, en 1906, en presencia de Alfonso XIII.

de operador alguno”, y presentaba en Argentina los diseños de una máquina en la que “basta inscribir los datos para que el autómata calcule -e imprima si se quiere- los resultados” (Torres Quevedo, 1911, p. 227). En síntesis, continuando con la cita, había presentado la primera computadora digital electromecánica de la historia: “algunas consideraciones generales sobre los procedimientos de automatización mecánica que permiten sustituir, con frecuencia, el trabajo inteligente del obrero, por el trabajo puramente mecánico de una máquina” (González de Posada, González Redondo y Hernando González, 2021).

A su vuelta a España, se centraría en el diseño y la construcción de los “modelos de demostración” ... y en el enunciado del nuevo marco teórico-conceptual (la nueva Ciencia) para las nuevas máquinas: la Automática. Este nuevo “cuerpo de doctrina” (en palabras del inventor recogidas en notas manuscritas conservadas en su archivo) tendría como objeto resolver un “problema fundamental”: “construir un autómata que tenga en cuenta todas las circunstancias que deben influir en sus operaciones y adapte a ellas sus actos según reglas formuladas arbitrariamente de antemano”. En mayo de 1911 el Ministerio de Fomento autorizaba el cambio de denominación del Laboratorio de Mecánica Aplicada por el de Laboratorio de Automática y Torres Quevedo empezaba a redactar sus *Ensayos de/sobre Automática*.

En enero de 1914 veían la luz, finalmente, en la *Revista de la Real Academia de Ciencias*, los *Ensayos sobre Automática*. El primer subtítulo, *Su definición*, anunciaba que hacía falta definir una sección especial de la “teoría de las máquinas” (una nueva ciencia), la Automática, “que examinara los procedimientos que pueden aplicarse a la construcción de autómatas dotados de una *vida de relación* más o menos complicada”. El segundo subtítulo, *Extensión teórica de sus aplicaciones*, adelantaba que en los *Ensayos sobre Automática* Torres Quevedo (1914, p. 394) intentaba “demostrar, desde un punto de vista puramente teórico, que *siempre es posible construir un autómata* cuyos actos, todos, dependan de ciertas circunstancias más o menos numerosas, obedeciendo a reglas que se pueden imponer arbitrariamente en el momento de la construcción” (Hernando González, 1996; González de Posada, González Redondo y Hernando González, 2021).

Y, como destacaba D. Leonardo (1914, p. 418) en sus *Ensayos*, “el estudio del *telekino* es el que me encaminó en esta dirección”; añadiendo acto seguido que “durante la construcción de los diversos modelos del *telekino* que ensayé, tuve ocasión de apreciar prácticamente la gran facilidad que dan para estas construcciones los aparatos electromecánicos, y pensé que se les podía aplicar con éxito a las máquinas de calcular”.

Los *Ensayos* comienzan precisando el concepto de “autómata”, distinguiendo entre los que imitan los movimientos del hombre de los que imitan sus acciones; también entre aquellos que actúan “de modo continuo” y los que lo hacen “por intermitencias”. Pero, sobre todo, el “objeto de la Automática” serán los autómatas dotados de “discernimiento”, aquellos que “puedan en cada momento, teniendo en cuenta las impresiones que reciben, y también, a veces, las que han recibido anteriormente, ordenar la operación deseada” (Torres Quevedo, 1914, p. 393).

Para solucionar (teóricamente) el problema de su construcción recurriría al método electromecánico propio

del *telekino*. Y, como ejemplo para ilustrar sus explicaciones, escogería el diseño de una “máquina analítica” (manteniendo el nombre que le puso Babbage): autómata que “ejecuta una por una todas las operaciones indicadas en la fórmula que se trata de calcular”, que procede “en todo como un ser inteligente que sigue ciertas reglas”, y, sobre todo, “en el momento en que hay que escoger un camino en cada caso particular” (Torres Quevedo, 1914, p. 399).

En junio de 1913, con motivo del Congreso de Madrid de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, el *Laboratorio de Automática* presentaba el *ajedrecista* (figura 12), descrito en el catálogo de la exposición como un “modelo de ensayo y demostración” de ese “cuerpo de doctrina que podría llamarse Automática” que estudiaría “las condiciones en que la automatización puede efectuarse”, incluso “en la determinación de los actos del autómata” en los que “ha de intervenir la inteligencia”.

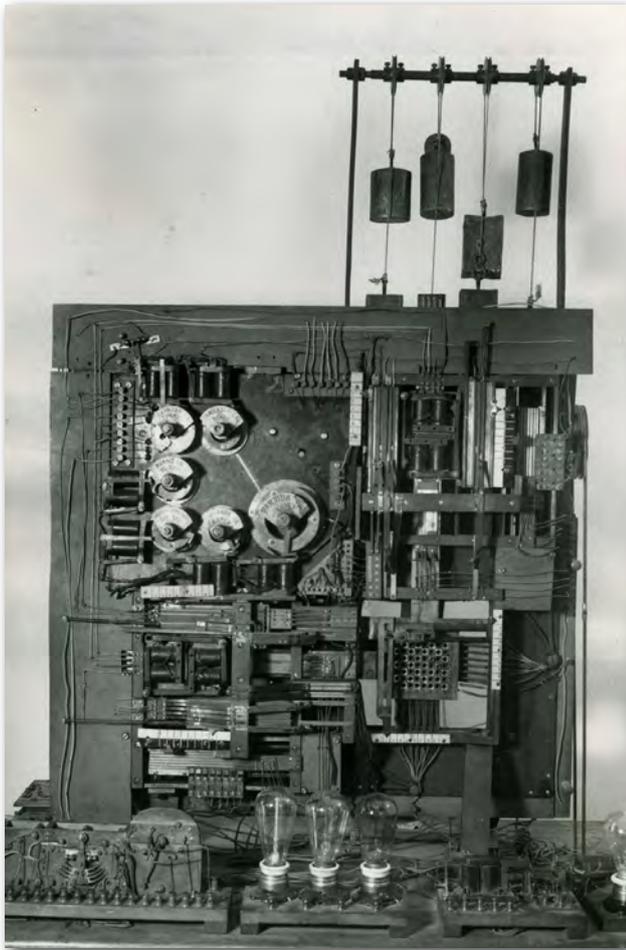
El *ajedrecista* juega un final de partida de rey y torre blancos (que maneja la máquina) contra el rey negro. El autómata analiza en cada movimiento la posición del rey (que maneja el humano), “piensa” y va moviendo “inteligentemente” su torre o su rey, dentro de las reglas del ajedrez y de acuerdo con el “programa” introducido en la máquina por su constructor hasta, indefectiblemente (si el humano no hace trampas, de las que se apercibiría y avisaría la máquina), dar el jaque mate.

Con el *ajedrecista* quedaba demostrada de forma práctica la posibilidad de la Inteligencia Artificial: las máquinas podían “poseer un órgano análogo a un cerebro”. Los titulares en la portada del diario *Le Matin* del 24 de mayo de 1914, al presentar el *ajedrecista* en París, fueron explícitos: “Un autómata que sabe jugar al ajedrez. La máquina puede realizar el trabajo cerebral del hombre”. Al año siguiente, el 6 de noviembre de 1915, *Scientific American Supplement* publicaba un artículo en su n° 2079 (pp. 296-298) sobre “Torres y sus destacados dispositivos automáticos” destacando en el subtítulo que D. Leonardo “sustituiría con máquinas a la mente humana”.

El 25 de junio de 1923, cumplidos los setenta años por D. Leonardo, su hijo Gonzalo presentaba en Salamanca el *segundo ajedrecista*, en el que se introducían diferentes mejoras con respecto al primer modelo. En este caso, el tablero está ya en posición horizontal, y, mediante electroimanes, la máquina desliza las piezas de unos a otros escaques. Además, el autómata no solo “piensa”, sino que también “habla” mediante un gramófono, con el que anuncia los jaques y el jaque mate.

El segundo *ajedrecista* (figura 13) sería su última gran obra. Fallecido Torres Quevedo, su hijo Gonzalo lo presentaría en el I Congreso Internacional de Cibernética de París de 1951, en la Exposición “Montres et Bijoux” de Ginebra de 1952, etc.

La construcción de una “máquina analítica”, tal como adelantó Torres Quevedo en 1911 y desarrolló en 1914 en los *Ensayos sobre Automática*, era una tarea compleja. De hecho, tendría que esperar hasta el otoño de 1917 para completar un *aritmómetro electromecánico* que, hasta la primavera de 1919, no funcionaría a la perfección. D. Leonardo llevó por primera vez su *aritmómetro*, en septiembre de 1919, al Congreso de Bilbao de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, pero, dedicado como estaba entonces al proyecto del dirigible transoceánico



**Figura 12.** Imagen del primer *autómata ajedrecista* de 1913.

*Hispania*, no explicó su funcionamiento al público. Volvió a exhibirlo en el Congreso Nacional de Ingeniería celebrado en noviembre de 1919 en Madrid, pero sólo le dedicó unas breves palabras durante el acto inaugural de la exposición ante el rey Alfonso XIII.

Como sucediera con el *primer ajedrecista*, Torres Quevedo esperaba el momento y el auditorio especializado para mostrar oficialmente su *aritmómetro*



**Figura 13.** Imagen actual del segundo *autómata ajedrecista* de 1923.

*electromecánico* en público. Lo haría en junio de 1920, y de nuevo en París, donde, como de costumbre, presentaría un trabajo científico teórico original y el “aparato de demostración” operativo, en el Congreso de la Société d’Encouragement pour l’Industrie Nationale, conmemorativo del Centenario del *aritmómetro* (mecánico) de Thomas de Colmar.

El *aritmómetro electromecánico* (figura 14) es una calculadora digital que realiza las cuatro operaciones elementales. Incluye unidades de memoria para realizar los cálculos intermedios y tiene capacidad condicional para poder realizar la división de modo automático. Consta de un teclado (una máquina de escribir) para la introducción de los datos y las operaciones a realizar, y una unidad de proceso con “memoria artificial” que almacena la información enviada y la retoma cuando se pulsa el espaciador del teclado. Realizadas las operaciones por el *aritmómetro* sin ninguna participación humana, la calculadora envía el resultado al órgano de salida, la propia máquina de escribir, que imprime el resultado de las operaciones ordenadas. Con el *aritmómetro electromecánico* Torres Quevedo demostraba de forma práctica las posibilidades teóricas de su Automática (Hernando González, 1996; González de Posada, González Redondo y Hernando González, 2021).



**Figura 14.** El *aritmómetro electromecánico* de 1920.

## 6. INGENIERÍA DE CAMINOS, NAVAL E INDUSTRIAL

Hasta ahora hemos recorrido las aportaciones más significativas del ingeniero universal, pero no podemos olvidar otros ámbitos ingenieriles en los que también hizo aportaciones reseñables. En primer lugar, acostumbrado desde niño a vivir en ciudades como Bilbao, París y Madrid, Torres Quevedo presentó en 1896, en las páginas de *Le Genie Civil* y *Madrid Científico*, un sistema para facilitar la navegación urbana de los ciudadanos con el nombre de *indicadores coordinados*, que patentaría en España, Reino Unido, Francia y Bélgica entre 1900 y 1901. Se podría aplicar al plano de cualquier ciudad, que quedaría cuadrículado con filas (numeradas de arriba a abajo) y columnas (de izquierda a derecha), de modo que cada dirección quedase determinada por las coordenadas de la cuadrícula de intersección, además de por el nombre y número de la calle. Situando en farolas dentro de esas cuadrículas unas placas (orientadas al norte) con los números de la fila y la columna, el transeúnte simplemente tendría que marchar tantas posiciones a la derecha o a la izquierda, adelante o hacia atrás, como fuese necesario para alcanzar el destino buscado.

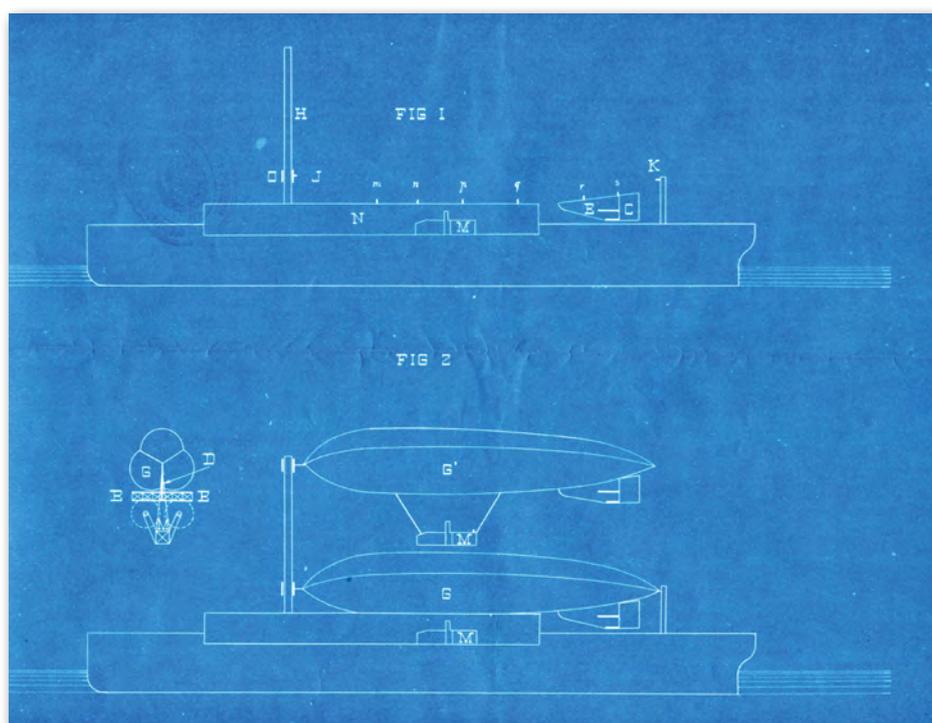
En esos mismos años, entre las muchas iniciativas científico-empresariales en las que colaboró con su hermano pequeño, Luis, se encuentra el proyecto de un salto de agua y canal de desvío en la cuenca alta del río Saja (Cantabria), para el que nuestro ilustre ingeniero presentaría en 1899 un estudio completo de la ubicación, planos, memoria económica, etc. Aunque la instalación para proporcionar electricidad a una futura industria no llegaría a construirse, sí serviría para constatar que Leonardo también ejerció brevemente como ingeniero hidráulico (González Fernández y González Redondo, 2021).

En 1918, mientras realizaba los últimos ajustes en el *aritmómetro electromecánico* y disfrutaba de los royalties por la comercialización de sus dirigibles, Torres Quevedo

volvió a interesarse por el mundo de los ferrocarriles en 1918. Habían pasado cuarenta años desde que se graduó como ingeniero de caminos, empezó a trabajar en el tendido de la vía del tren Sevilla-Huelva por Niebla y colaboró con su padre en la construcción de los Ferrocarriles del Noroeste antes de iniciar su carrera como inventor retirado en el valle de Iguña.

Pues bien, el 11 de marzo de ese año, D. Leonardo presentaba la patente de los “Enclavamientos TQ”, un sistema clasificado dentro de los de tipo “funicular”, como los de Henning y Bachman, que completaba el ideado por los ingenieros ingleses Saxby & Farmer, introducidos en España en 1882 por la *Compañía del Ferrocarril de Tarragona a Barcelona* (González Redondo y González Fernández, 2021). En síntesis, si el aparato central consta de un cierto número de palancas (las de señal, que sirven para manejar los discos, y las de maniobra, que sirven para manejar las agujas), los enclavamientos establecen entre todas las palancas relaciones mecánicas que impiden automáticamente cualquier maniobra que pueda ocasionar el choque entre trenes. Los ideados por Torres Quevedo se instalaron por primera vez en 1919 en la red de la *Compañía de Madrid a Zaragoza y a Alicante* (Mendizábal, 1920).

Junto a estos nuevos datos, también podemos revisar, desde otras perspectivas complementarias, algunas de sus invenciones más conocidas. Así, cuando el alcalde de Bilbao asistió, en febrero de 1905, a las pruebas del *telekino* teledirigiendo el triciclo eléctrico en la pista del frontón Beti-Jai, Torres Quevedo le enseñó también la barca, con baterías y motor eléctrico, que estaba construyendo allí en los talleres del *Centro de Ensayos de Aeronáutica* para realizar pruebas en Madrid. Autorizado por R.O. de la Dirección General de Obras Públicas del 17 de abril de 1905, se constituyó la Comisión del *Telekino*, para organizar las pruebas en Bilbao. Con los fondos reunidos, la Comisión compró en Alemania un bote, bautizado como *Vizcaya*,



**Figura 15.** Esquemas de la patente del *buque campamento* de 1913.

al que se dotó de una batería de acumuladores, un motor eléctrico para la hélice, otro para el timón y dos servomotores destinados a que el *telekino* gobernase por sí solo los dos motores principales. Teledirigidos por primera vez el bote, en noviembre de 1905, en el Abra de Bilbao, desde la terraza del Club Marítimo, y la barca eléctrica construida en el Beti-Jai, en junio de 1906, en el lago de la Casa de Campo de Madrid, Torres Quevedo también se iniciaba en el campo de la ingeniería naval.

Desde esta perspectiva puede destacarse también cómo, habiendo resuelto el problema de la navegación aérea con sus dirigibles *autorrígidos*, en 1913 presentó la patente del “Buque campamento” (figura 15), un barco concebido, específicamente, para operar con los *Astra-Torres*. Ofrecido a las Armadas de España, Francia y el Reino Unido, se materializaría en 1922 en la parte de proa de la *Estación Transportable de Aeronáutica Naval* (el primer *Dédalo*) de la Armada española (González Redondo, 2017).

Finalmente, y también en este mundo de la ingeniería naval, debe recordarse que el 25 de noviembre de 1916 Torres Quevedo solicitó en España la patente “Una nueva embarcación que se denominará *Binave*”, concedida el 12 de diciembre de 1916 con el nº 63.383, y que un año más tarde, el 23 de noviembre de 1917, presentaba la solicitud en el Reino Unido con el título “Improvements in Ships”.

Constaba de dos cascos (flotadores) fusiformes paralelos y de igual tamaño, capacitados como espacios de tanques y cámaras de máquinas. Un armazón los unía rígidamente y sobre él se habilitaba la estructura para carga, tripulación y pasajeros. Fue montada en los *Astilleros Euskalduna* entre 1917 y 1918 (figura 16) y probada en los alrededores del puerto de Bilbao, con varias salidas efectuadas en septiembre de 1918, destacándose el exitoso viaje de ida y vuelta Santurce-Santoña el 28 de ese mes. Sin embargo, aunque las pruebas se retomarían en 1919, durante el Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, donde presentó el proyecto del *Hispania*, su propuesta no encontraría eco, y ya fuera de España, hasta varias décadas después. En cualquier caso, podemos constatar que esta embarcación constituye el origen del catamarán moderno (Pérez Fernández y González Redondo, 2022).

Otra creación menor de Torres Quevedo, ahora desde la perspectiva de la ingeniería industrial, fue el *dianemólogo*. En efecto, como se destacaba más arriba, completadas las pruebas del *telekino* en Bilbao, en septiembre de 1906, la Comisión constituida al efecto se disolvió y un grupo de industriales bilbaínos decidió financiar la puesta en marcha de las nuevas invenciones de Torres Quevedo desde la *Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería*. Mientras preparaba para la *Sociedad* los planos del *Transbordador del Monte Ulía*, el 6 de febrero de 1907 presentaba la patente del *dianemólogo*, una máquina concebida para copiar un discurso sin necesidad de acudir a la taquigrafía. El aparato iría dividiendo (la palabra “dianemo” quiere decir distribuir en porciones) mecánicamente el discurso (el “logos”) entre cuatro copistas, a medida que se pronunciaba, de tal manera que cada uno de ellos tendría tiempo para transcribir las partes que le correspondieran. El *dianemólogo* se construyó en la sede del *Laboratorio de Mecánica Aplicada*, en la calle Manuel Silvela nº 1 de Madrid, y se ensayó en el Ateneo (García Santesmas, 1980).



Figura 16. La *Binave* en los astilleros Euskalduna de Bilbao en 1918.

Finalmente, entre 1922 y 1926, mientras fabricaba aparatos en el *Laboratorio de Automática* para otros investigadores como Santiago Ramón y Cajal, Blas Cabrera, Ángel del Campo o Juan Negrín (González de Posada, 1992), presentó cuatro nuevas patentes con “Perfeccionamientos en las máquinas de escribir”, inspiradas por las modificaciones efectuadas en el teclado/impresora del *aritmómetro electromecánico*, y otras dos patentes con un nuevo procedimiento para la “Paginación marginal de libros”.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

El 28 de diciembre de 1927 Torres Quevedo cumplía 75 años, y, en enero de 1928, cedía a la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid todas sus máquinas para su mantenimiento y exhibición en público. En 1930, mientras Maurice d’Oagne le dedicaba en *Le Figaro* la frase “el más prodigioso inventor de nuestro tiempo”, con la que quedará caracterizado para siempre, D. Leonardo presentaba las patentes de sus dos últimos inventos, dedicados a facilitar las tareas expositivas del profesorado. En primer lugar, el *Puntero proyectable*, que consiste en un brazo articulado que proyecta una sombra móvil que sirve de puntero para destacar un punto en la proyección luminosa que utilice el profesor, combinado con un dispositivo de grabación de la lección en discos de gramófono. Lo completaría con el *Proyector didáctico*, dispositivo que aportaba un mecanismo para cambiar con facilidad las transparencias e, incluso, permitiría sustituirlas por una cinta cinematográfica continua.

Pero su vida como inventor tocaba a su fin. Durante los años siguientes, y hasta su fallecimiento en 1936, simplemente disfrutaría de honores y condecoraciones que le confirmarían como el ingeniero español más universal. En suma, ingeniero aeronáutico, matemático, industrial, naval, informático o de telecomunicaciones ... además de ingeniero de caminos.

## 8. REFERENCIAS

Alonso Antoranz, J.A., y Juaristi Zaldueño, S. (1993). La Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería. En F. González de Posada et al. (eds.), *Actas del II Simposio “Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra”* (pp. 251-264). Madrid: Amigos de la Cultura Científica.

Aramberri, J., y González Redondo, F.A. (2011). Innovación y tecnología: los transbordadores de Torres Quevedo. *Fabrikart: arte, tecnología, industria, sociedad*, 10, pp. 26-45.

Aramberri, J., y González Redondo, F.A. (2023). Leonardo Torres Quevedo. Entre el valle de Iguña y Bilbao. *Los Cántabros*, 23, pp. 40-63.

Arrillaga, F. (1916). *Solemne entrega de la Medalla Echegaray al Excmo. Sr. D. Leonardo Torres Quevedo*. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

D'Ocagne, M. (1930). Machines à calculer. De Blais Pascal à Torres Quevedo. *Le Figaro*, 25 de mayo de 1930, p. 5.

Deprez, M., Poincare, H., y Appell, P. (1900). Rapport sur un Mémoire de M. Torres intitulé: *Machines à calculer*. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 130, pp. 1-3.

Echegaray, J. (1903). Inventos del señor Torres Quevedo. El Telekino. *El Imparcial*, 6 de noviembre de 1903, p. 1.

Espitallier, G. (1909). Le transbordeur funiculaire à voyageurs du Mont Ulia, près de Saint-Sebastien (Espagne). *Le Génie Civil*, 1408, pp. 105-108.

García Santesmases, José (1980). *Obra e inventos de Torres Quevedo*. Madrid: Instituto de España.

Gómez Hidalgo, F. (1922). ¿Cómo y cuándo ganó usted la primera peseta? Madrid: Librería Renacimiento.

Gómez Jáuregui, V. et al. (2022). Torres Quevedo's mechanical calculator for second-degree equations with complex coefficients. *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 172, 104830.

González de Posada, F. (1990). Leonardo Torres Quevedo. *Investigación y Ciencia*, 166, pp. 80-87.

González de Posada, F. (1992). *Leonardo Torres Quevedo*. Madrid: Fundación Banco Exterior.

González de Posada, F. (1993). El concepto de analogía. Breve ensayo en torno a las máquinas algébricas de Leonardo Torres Quevedo. En F. González de Posada et al. (eds.), *Actas del II Simposio "Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra"* (pp. 83-98). Madrid: Amigos de la Cultura Científica.

González de Posada, F., González Redondo, F.A., y Hernando González, A. (2021). Leonardo Torres Quevedo: Pioneer of Computing, Automatics and Artificial Intelligence. *IEEE Annals of the History of Computing*, 43(3): pp. 22-43.

González de Posada, F., y González Redondo, F.A., et al. (2007). *Leonardo Torres Quevedo y la conquista del aire*. Madrid: Amigos de la Cultura Científica.

González de Posada, F., y González Redondo, F.A. (2022). *La obra de Leonardo Torres Quevedo*. Santander: Editorial Los Cántabros-Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

González Fernández, D., y González Redondo, F.A. (2022). La presa de Los Tojos. El proyecto hidráulico del ingeniero total. *Enlaza Cantabria*, 11, p. 22.

González Fernández, D., y González Redondo, F.A. (2022). Leonardo Torres Quevedo: el ingeniero total. En I.D. Medina-Ruiz et al. (eds.), *Los ingenieros en la Europa del Sur (siglos XVIII-XX)* (pp. 227-248). Valencia: Tirant lo Blanch.

González Fernández, D., y Redondo Alvarado, M.<sup>a</sup> D. (2016). El proyecto del transbordador entre el Monte Pilatus y el Klimesenhorn (Lucerna, Suiza). Una primera aproximación. En F. González Redondo (coord.), *Ciencia y Técnica entre la Paz y la Guerra. 1714, 1814, 1914*. Vol. 2 (pp. 1273-1280). Madrid: Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas.

González Redondo, F.A. (1993). Noticias históricas de transbordadores (funiculares aéreos) pre-torresquevedianos. En F. González de Posada et al. (eds.), *Actas del II Simposio "Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra"* (pp. 207-212). Madrid: Amigos de la Cultura Científica.

González Redondo, F.A. (2009). *Leonardo Torres Quevedo*. Madrid: AENA.

González Redondo, F.A. (2011). The contribution of Leonardo Torres Quevedo to Lighter-than-air science and technology. *The International Journal for the History of Engineering and Technology*, 81(2): pp. 212-232.

González Redondo, F.A. (2017). Del *Buque-campamento* de Torres Quevedo (1913) al *Dédalo* (1922) de la Armada Española. *Revista General de Marina*, 273, pp. 645-656.

González Redondo, F.A. (2022). El retorno de *Airlander 10* (que no es un Zeppelin) a sus orígenes en España. *El Diario Montañés*, domingo 13 de noviembre de 2022, p. 47.

González Redondo, F.A., y Camplin, G. (2015). The controversial origins of the Mooring mast for airships. *ICON. Journal of the International Committee for the History of Technology*, 21, pp. 81-108.

González Redondo, F.A., y Cubria Piris, M. (2019). El frontón Beti-Jai entre Joaquín Rucoba y Torres Quevedo. *Los Cántabros*, 18, pp. 70-97.

González Redondo, F.A., y González Fernández, D. (2021). Leonardo Torres Quevedo, ingeniero de Caminos: del ferrocarril al teleférico. *Ábaco*. Revista de cultura y ciencias sociales, 108-109, pp. 148-157.

Hernando González, A. (1996) *Leonardo Torres Quevedo, precursor de la Informática* [tesis doctoral inédita]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Juaristi Zaldueño, S., y Alonso Antoranz, J.A. (1993). La Sociedad española The Niagara Spanish Aerocar Company. En F. González de Posada et al. (eds.), *Actas del II Simposio "Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra"* (pp. 265-276). Madrid: Amigos de la Cultura Científica.

Mendizábal, D. (1920). Organización del servicio de instalación y conservación de enclavamientos en la Compañía de Madrid a Zaragoza y Alicante. *La Energía Eléctrica*, 22(22), pp. 257-262.

Pérez Fernández, R., y González Redondo, F.A. (2022). On the origin, foundational designs and first manufacture of the modern catamaran. *International Journal of Maritime History*, 34(3): pp. 467-493.

Person, C.W. (1916). Over the Whirlpool by Aerial Cable. *Scientific American*, 114(13): pp. 330-337.

Registro de la Propiedad Industrial (1988). *Patentes de invención de don Leonardo Torres Quevedo*. Madrid: Ministerio de Industria y Energía.

Sáenz Ridruejo, Fdo. (1999). El padre de Leonardo Torres Quevedo. Vida y obra de Luis Torres Vildósola (1818-1891). En F. González de Posada y F.A. González Redondo (eds.), *Actas del III Simposio "Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra"* (pp. 59-67). Madrid: Amigos de la Cultura Científica.

Sáenz Ridruejo, Fdo. (2005). *Una historia de la Escuela de Caminos. La Escuela de Caminos de Madrid a través de sus protagonistas*. Madrid: Ministerio de Fomento-Fundación Agustín de Betancourt.

Schmoll, H.D. (1999). *Welt Seilbahn Geschichte. Band I*. Salzburgo (Austria): Steidl Verlag.

Torres Quevedo, L. (1911). Sobre un Nuevo Sistema de máquinas de calcular electromecánicas. *Revista de Obras Públicas*, Año LIX, nº 1857, pp. 227-233, y nº 1860, pp. 274-278.

Torres Quevedo, L. (1914). Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 12, pp. 391-419.