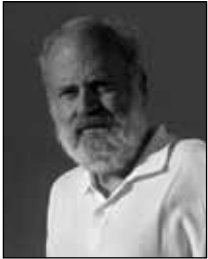


Los transbordadores y la barquilla de Leonardo Torres Quevedo



Leonardo Fernández Troyano
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Director de Carlos Fernández Casado S. L.

Resumen

Mucho se ha escrito sobre la personalidad de Leonardo Torres Quevedo, que fue fundamentalmente un inventor, uno de los más geniales que ha dado nuestro país, y seguramente el más prolífico de ellos. Por ello, no vamos a estudiar su biografía ni la multitud de inventos que hizo en diversas áreas, ni las demás actividades que desarrolló a lo largo de su vida. Nos vamos a centrar únicamente en su labor como inventor y constructor de transbordadores aéreos, de los cuales también se ha escrito bastante; en ellos vamos a estudiar especialmente la barquilla, su elemento más atractivo.

Palabras clave

Transbordadores aéreos, sistemas de sustentación, barquillas, teleféricos, telecabinas, telesillas

Abstract

Much has been written about the person of Leonardo Torres Quevedo, who was fundamentally an inventor and one of the most brilliant ever to have emerged from Spain, and undoubtedly the most prolific of all. For this reason, we shall not study his biography nor the host of inventions he made in many different areas, nor the multitude of other activities he conducted throughout his life. We shall, instead, concentrate solely on his work as an inventor and builder of aerial lifts, of which plenty has also been written; but here we shall focus on the gondola type lift, his most attractive element.

Keywords

Aerial lifts, holding systems, gondolas, cable cars, aerial trams, chair lifts

I. Antecedentes

Como en todo invento siempre hay antecedentes más o menos próximos, y por ello vamos a ver los que consideramos más significativos del problema del transporte aéreo, es decir, mediante una estructura de cables. Estos antecedentes se remontan al uso de las lianas naturales de los países tropicales, y al de las cuerdas o maromas de diferentes materiales que se han utilizado desde el principio de la Historia.

Los primeros antecedentes de los transbordadores aéreos que conocemos se hicieron en la América prehispanica, en los Andes. Son las oroyas o tarabitas, nombre derivado de la maroma de bejucos que servía de soporte; más tarde, éstas se hicieron también con tiras de piel de vaca. La maroma se fijaba en ambas orillas del río o barranco que se quiere pasar, y de ella se colgaba una cesta mediante dos argollas donde iba él, o los pasajeros. En los dos extremos de la cesta se fijaban unas cuerdas que iban a ambas orillas, y desde ellas

se tiraba o se soltaba. Servían para el paso de personas, animales y mercancías. En el paso de Alchipichí había tres tarabitas, una para pasar personas, y dos para pasar mercancías y animales de carga. Estas dos tenían desnivel entre sus extremos, con pendientes contrarias, para aprovechar el descenso, y por tanto se utilizaban en un solo sentido. La impresión para los hombres, y más para los animales que pasaban colgados, era fuerte, y así se refleja en las crónicas del siglo XVIII que se referían a este paso, porque el tajo de Alchipichí tenía 50 metros de profundidad y una luz de 75 metros. En castellano, este sistema de transporte aéreo tomó el nombre de andarivel.

Fausto Veranzio, en su libro 'Machinae Novae', publicado en Venecia a principios del siglo XVII, dibujó tres posibilidades para pasar un río: dos puentes y un transbordador. El transbordador es el Pons Unius Funis, que es igual a las tarabitas americanas, a las que se añade una cuerda sinfín que pasa

por unas poleas en los extremos del transbordador, y se fija a las ruedas de la barquilla sobre el cable. Con esta cuerda, la barquilla se puede trasladar tirando de ella por los propios viajeros de la barquilla. No conocemos ninguna realización basada en los dibujos de Veranzio.

A principios del siglo XVIII se inició el transporte aéreo para materiales de extracción de minas y canteras. La primera solución que se utilizó fue la monocable, en la que las cubas que transportan el material están fijadas al cable sustentante sinfín, que se mueve mediante una de las poleas extremas por las que pasa.

Después del invento del sistema monocable se desarrollaron en paralelo los dos sistemas de transporte aéreo que se siguen utilizando en nuestros días: el sistema monocable o sistema inglés, de cable móvil y barquillas fijas a él, y el sistema bicable o sistema alemán, que es el que hemos visto en los andariveles americanos y en el Pons Unius Funis de Veranzio, que consiste en uno o varios cables vía fijos, y un cable tractor móvil que tira de la barquilla, que rueda sobre los fijos.

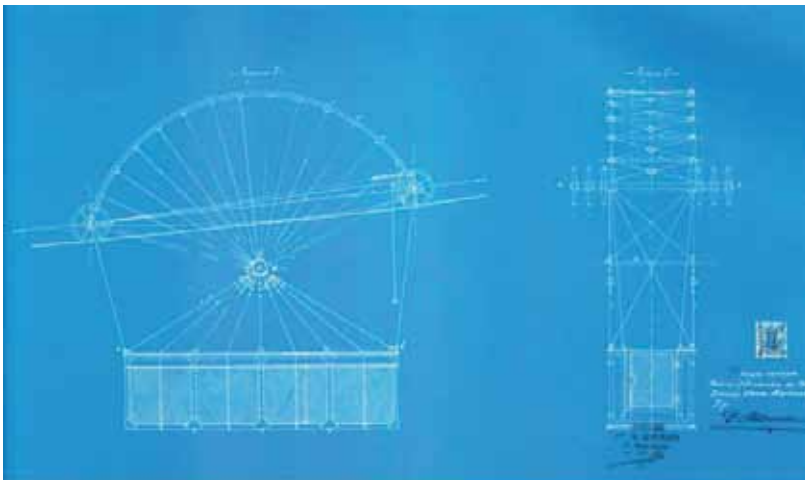
Otro antecedente de los transbordadores que se debe destacar, es el puente transbordador de Portugalete sobre el río Nervión, aunque no se puede considerar aéreo en el sentido que le hemos dado a este sistema, que consiste en una estructura resistente principal formada por cables.

El transbordador de Portugalete, terminado en 1893, está formado por una viga fija rígida, situada a la altura necesaria sobre el agua para permitir el paso de los barcos que circulan por el canal de navegación. De la viga cuelga una barquilla mediante cables suspendidos de un carretón que corre por las vías situadas sobre dicha viga. La plataforma de la barquilla está situada a la altura de las orillas. Este sistema permite, igual que los puentes móviles, la circulación alternativa en un mismo nivel de dos tráficos ortogonales: el tráfico de los barcos y el tráfico de personas y vehículos. El transbordador de Portugalete fue el primero de este tipo que se hizo en el mundo. Lo inventó el arquitecto Alberto del Palacio, que desarrolló luego el proyecto de la estructura del transbordador con el ingeniero francés Ferdinand Arnodin especialista en puentes colgantes, porque la viga superior de la que cuelga la barquilla se resolvió con un puente colgante. Posteriormente el ingeniero francés construyó una serie de transbordadores de este tipo.

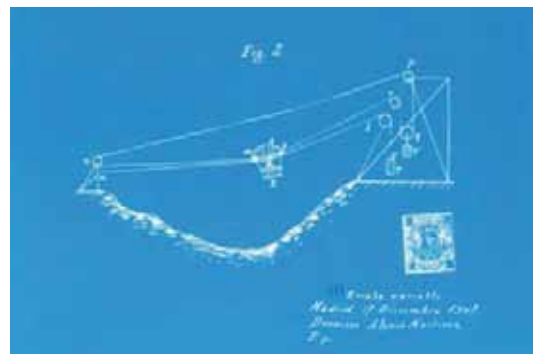
II. Los transbordadores de Leonardo Torres Quevedo

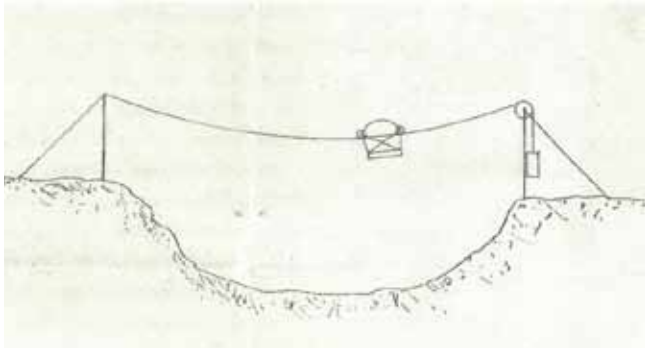
II.1. Los transbordadores del valle de Iguña

Torres Quevedo, después de casarse, se fue a vivir al valle de Iguña donde, además de “pensar en sus cosas”, construyó dos transbordadores que le sirvieron para estudiar e investigar su comportamiento, registrar luego su patente, y construir posteriormente los transbordadores del Monte Ulía y del Niágara para el transporte de personas.



Planos de la patente presentada por Leonardo Torres Quevedo en 1887





Esquema general del cable vía con contrapeso

El primer transbordador que hizo fue el de Portolín en 1887, el pueblo donde vivía. Tenía 200 metros de luz y 40 de desnivel, lo que da una pendiente media del 20 %. No sabemos nada de los cables que utilizó; únicamente sabemos que la barquilla era una silla, y lo movía mediante un par de vacas.

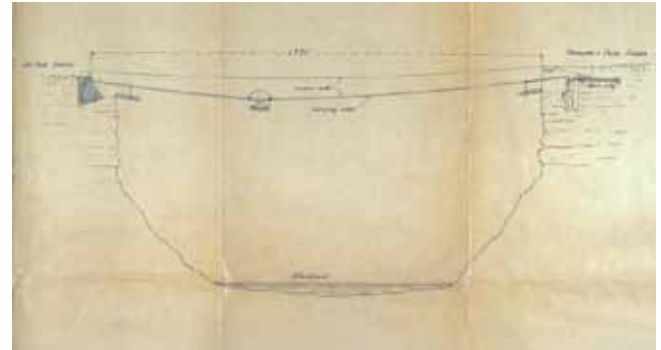
El segundo lo hizo sobre el río León, también en el valle de Iguña. Se ha supuesto que tenía 2.000 metros de luz y 280 de desnivel, con una pendiente media del 13 %, porque son las dimensiones del ejemplo que figura en su patente y que le sirvió para presentarlo en Suiza. Tampoco tenemos datos del uso que se le dio a este transbordador. Sólo se sabe que se probó transportando cargas, pero no que se transportaban personas.

La patente la presentó en primer lugar en España en el año 1887, con una memoria titulada “Un sistema de camino funicular aéreo de alambres múltiples”, y la extendió a otros países: Estados Unidos, Austria, Francia, Italia y Reino Unido.

II.2. El transbordador del Monte Ulía

En 1889 presentó su patente en Suiza, pero fue rechazada por los técnicos de aquel país. Esto fue para él un duro golpe, pero siguió con su idea hasta que consiguió hacer el transbordador del Monte Ulía en San Sebastián, terminado en 1907, el primer transbordador utilizado para el transporte de personas. Tenía 280 metros de luz y un desnivel de 28 metros, lo que da una pendiente del 10 %. La cabina podía transportar 14 viajeros. Este transbordador fue construido por la sociedad anónima Estudios y Obras de Ingeniería que se había constituido en 1906 para desarrollar y aplicar los inventos de Torres Quevedo.

Es importante destacar la importancia que le dio a la seguridad de su transbordador porque era la primera vez que se usaba



Esquema del transbordador del Niágara

para el transporte de personas. En sus estudios previó todas las posibilidades de fallo o de rotura que se podían presentar en su funcionamiento. Dio mucha importancia a la multiplicidad de cables vía para asegurar que la rotura de un cable no suponía la caída de la barquilla y por ello utilizó seis cables vía por los que circulan las doce ruedas de la barquilla. Buscó todo tipo de sistemas para asegurar su frenado en caso de rotura del cable tractor. En todos sus escritos sobre los transbordadores aparecen los coeficientes de seguridad de sus elementos, incluidos los cables, tanto de los cables vía como del tractor.

Otro sistema original de los transbordadores de Torres Quevedo es el modo de sustentación de los cables vía. En un extremo están anclados a contrapesos fijos de hormigón, y en el otro a contrapesos móviles suspendidos de los cables, que pasan por unas poleas. Con este sistema la fuerza axial de los cables vía es constante, igual al peso del contrapeso, independientemente de la carga que pueda ir en la barquilla. Lo que variará con esta carga es la flecha de los cables vía, que aumentará a base de elevar el contrapeso. De esta forma, el coeficiente de seguridad de estos cables es perfectamente conocido, y es independiente de la carga del transbordador.

Estudió también un transbordador para pasar el Ebro en Zaragoza, del que se conservan planos en su archivo, pero que no prosperó.

II.3. El transbordador del Niágara

El éxito del transbordador del Monte Ulía les llevó a promover un transbordador sobre las cataratas del Niágara, pero las dificultades de diversa índole que planteaba hacerlo sobre ellas les llevó a situarlo sobre el Whirpool, un recodo del río con ambas orillas en tierras canadienses, cuatro kilómetros aguas abajo de las cataratas. Consiguieron la concesión, lo construyeron, y se inauguró en 1916. Es el

‘Spanish Aerocar’, que todavía sigue funcionando, igual que en su inauguración.

Para su construcción y montaje se creó la sociedad The Niagara Spanish Aerocar Company Limited a partir de la sociedad anónima Estudios y Obras de Ingeniería a la que ya nos hemos referido. Ambas sociedades, promovidas por Torres Quevedo, demuestran la dimensión de emprendedor y gestor que, además de inventor, tuvo don Leonardo. La construcción y el montaje del transbordador lo dirigió su hijo Gonzalo.

Tiene 550 metros de luz y es prácticamente horizontal, porque la diferencia de altitud entre sus extremos es de 1 metro. La flecha de la catenaria es de 21 metros sin carga y de 30 metros con la barquilla cargada con 45 pasajeros. La altura mínima sobre el agua es de 40 metros. Tiene seis cables vía de 25 milímetros de diámetro, formados por núcleos de siete cordones, rodeados de 16 cordones arollados en espiral.

El cable tractor está fijado a los extremos de la barquilla. Es un cable sinfín que pasa por varias poleas, una de ellas la tractora, y otra de donde cuelga un contrapeso, igual que en los cables vía, para mantener en tensión el sistema.

Las características del transbordador son las siguientes:

- Velocidad de la barquilla 120 m por minuto (7,2 km/hora).
- Tiempo de recorrido cinco minutos.
- Carga por cable vía nueve toneladas. Coeficiente de seguridad de los cables 4,6.

El ‘Spanish Aerocar’ como siempre se le ha llamado, lleva casi 100 años funcionando. El 9 de agosto de 2012 cumplió 96, y no ha tenido nunca un accidente. Hoy en día sigue en servicio con modificaciones mínimas en el conjunto de su estructura. La más visible es la de las ruedas de la barquilla que circulan sobre los cables vía. Las 12 ruedas iniciales se han desdoblado, por lo que actualmente son 24 y a la cabina se le ha puesto techo.

III. La barquilla y su estructura

El elemento más atractivo y más difícil de entender de los dos transbordadores de uso público que construyó Leonardo Torres Quevedo, es la barquilla y su sistema de sustentación. Es la misma en los dos transbordadores que construyó; varían únicamente sus dimensiones, peso y capacidad.

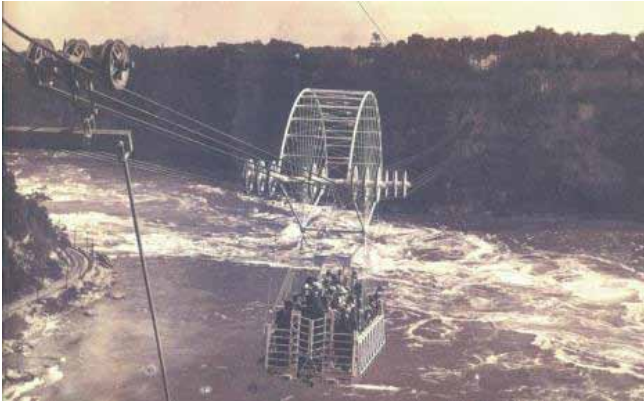


Barquilla del Monte Ulía

Utilizó, como él mismo dice en la memoria de la patente, la idea de la rueda de la bicicleta, con lo que consiguió una estructura singularmente atractiva.

Un ejemplo extraordinario que utiliza el mismo principio de la rueda en su estructura es la noria de Londres, con unas dimensiones inmensamente mayores que las de las barquillas, pero resuelta igualmente con cables.

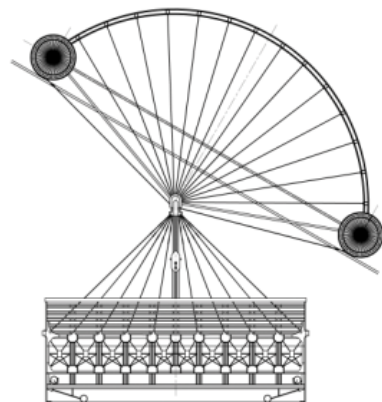
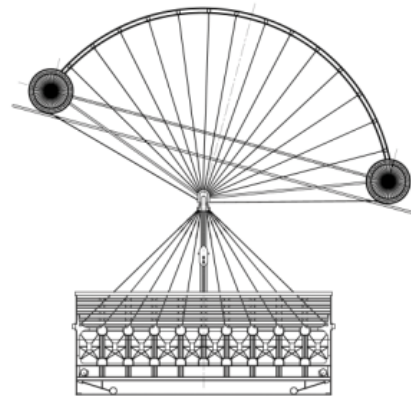
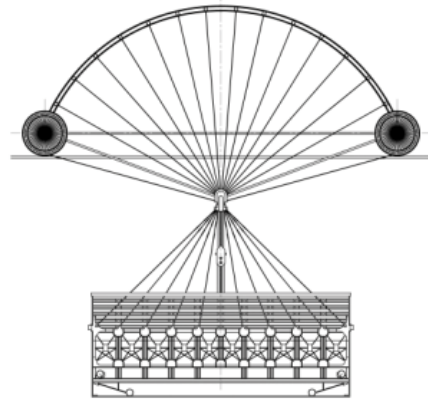
La barquilla está suspendida de una serie de tirantes en abanico que parten de un punto. De este mismo punto parten los radios del arco superior situado sobre el cable vía, en cuyos extremos están las ruedas sobre dicho cable. Estos radios sirven para repartir a lo largo del arco la carga que han transmitido los tirantes al punto de convergencia de radios y tirantes. El arco tiene una barra inferior que va de



Barquillas del Niágara

las ruedas de un extremo a las del otro. A esta estructura, perfectamente estable, se le añadió unos tirantes que van desde los bordes de la barquilla hasta las ruedas, y que dejan rígidamente unida la barquilla a la estructura de sustentación. Es una estructura superabundante porque se puede colgar la barquilla directamente desde las ruedas y sobra el arco superior.

En el ejemplo de la patente y en los transbordadores que construyó, la pendiente entre los dos extremos es pequeña, el 13 % en el ejemplo, el 10 % en el Monte Ulía, y prácticamente horizontal en el Niágara. Estas pendientes reducidas permiten que la barquilla esté rígidamente unida a la estructura superior. Tanto en el ejemplo de la patente como en el Monte Ulía dice que no coloca la barquilla paralela al cable, sino que le da la inclinación necesaria para que su



Inclinación variable de la barquilla de Leonardo Torres Quevedo

pendiente sea igual y contraria al llegar a los dos extremos. En el transbordador del Monte Ulía en que el cable tiene pendiente 0 cuando la barquilla está en la estación inferior y una pendiente del 20 % cuando llega a la superior, a la barquilla se le dio una pendiente del 10 % respecto del cable, de forma que al llegar a las estaciones extremas, el suelo de la barquilla tiene pendientes de $\pm 10\%$, lo cual es perfectamente admisible para los viajeros.

Pero si bien la patente y los transbordadores que construyó tienen pendientes reducidas, fue a presentar su transbordador a Suiza para utilizarlo en la alta montaña, y la solución de barquilla rígidamente unida a la estructura superior no es válida para grandes pendientes. Un principio fundamental para el transporte aéreo mediante cables con pendientes fuertes, tanto en teleféricos como en telecabinas o telesillas, es que la estructura que soporta la cabina esté articulada en su parte superior para que su posición sea siempre vertical. Esto es necesario por dos razones básicas: en primer lugar, para que los viajeros viajen sobre una plataforma horizontal, y en segundo, para no introducir un par de fuerzas en el cable vía que no puede resistir porque se produciría una incurvación inadmisibles en él.

Este problema está perfectamente resuelto en la barquilla de Torres Quevedo sin más que quitarle los tirantes de borde, dejando la barquilla colgada de la estructura superior, y articulada respecto de ella en el centro de la rueda, lo que permite mantener ésta horizontal, independientemente de la pendiente del cable vía; y es perfectamente estable, igual que los teleféricos actuales. Creo que esta adaptación a la pendiente estuvo presente en la concepción de la estructura de la barquilla por parte de su inventor, pero luego, bien por su obsesión por la seguridad, o bien por el miedo a un excesivo balanceo, le llevó a añadir los cables para fijarla, de los que habla ya en su patente y figuran en los esquemas de ésta. Esto se pudo deber también a que en los ensayos que realizó, la barquilla se moviera excesivamente. Vistas sus dimensiones parece, sin hacer ningún estudio, que la distancia entre la barquilla y la articulación donde convergen todos los radios debe ser mayor, como lo es en los teleféricos modernos. En ellos, el frenado al llegar a las estaciones se hace muy lentamente para reducir al máximo el balanceo.

Para terminar, insistimos en que la barquilla de Leonardo Torres Quevedo es un elemento muy bien resuelto, tanto como estructura resistente como en su expresión formal. **ROP**

