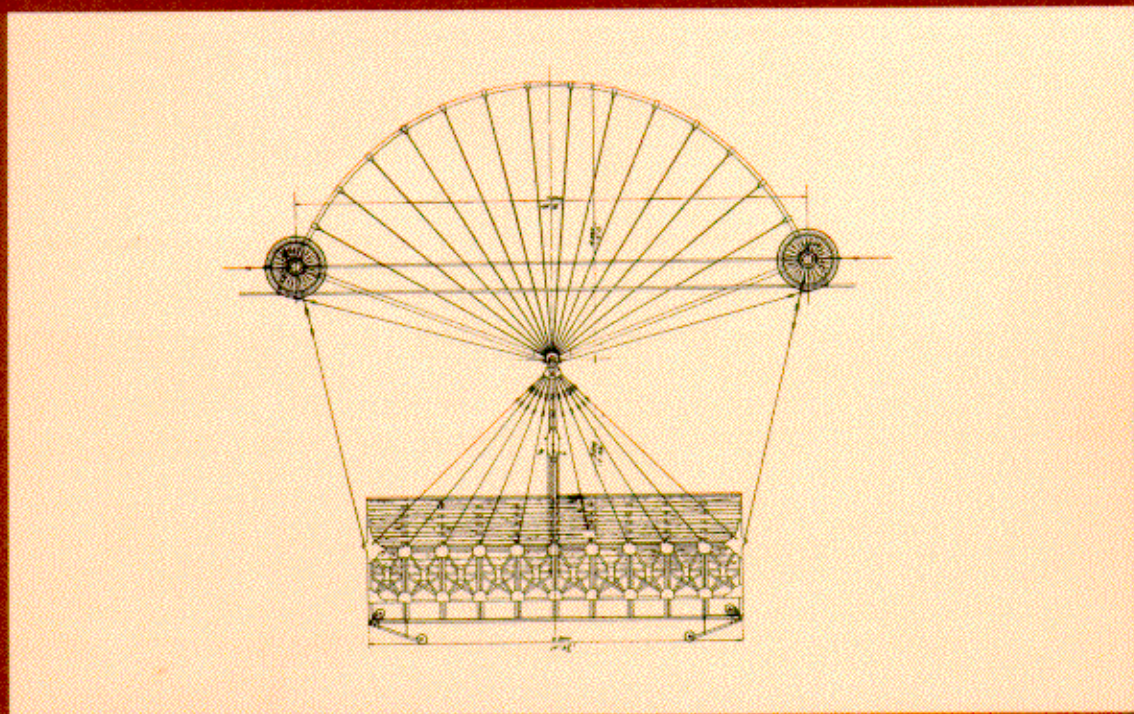


EN TORNO A LEONARDO TORRES QUEVEDO Y EL TRANSBORDADOR DEL NIÁGARA



FUNDACION
ESTEYCO

Este breve recorrido por el entorno de una obra concreta de Leonardo Torres Quevedo desvela algunas de las influencias que alimentaron su obra y sugiere la influencia que ha tenido o debería haber tenido en el progreso de la ingeniería estructural.

La estructura del transbordador del Niágara y el diseño de los dirigibles manifiestan un conocimiento de materiales y tecnologías que exigen situar a Torres Quevedo en el reducido conjunto de ingenieros que dominaron la ingeniería estructural de aquellos años, herederos de la brillantísima tradición del siglo XIX.

Para la difusión y el progreso de la Ingeniería y la Arquitectura





En Mayo de 1991 se constituyó la Fundación Esteyco con la finalidad de contribuir al progreso de la ingeniería y de la arquitectura en nuestro país.

La industria de precariedad e incertidumbre en que se ha estado desarrollando la ingeniería española independientemente ha exigido hasta ahora actitudes básicamente de supervivencia.

El esfuerzo de un creciente colectivo de profesionales y de órganos de la Administración ha ido, sin embargo, consolidando un sector cuyos servicios son considerados indispensables en una sociedad moderna y eficiente.

Es tiempo de pensar en el futuro, confiando en que no tardará en hacerse presente.

Fomentemos, para ello, un clima propicio para la creatividad, en el que se exija y se valore el trabajo bien hecho.

Contribuyamos a una sólida formación de los profesionales de la ingeniería, conscientes de que las organizaciones valen lo que valen sus miembros y de que en la ingeniería el valor de las personas se mide por el nivel de sus conocimientos.

Alentemos mejores y más frecuentes colaboraciones interprofesionales, eliminando fronteras innecesarias.

Reivindiquemos un espacio cualitativamente destacado de la ingeniería en la sociedad e impulsemos la evolución de la imperante cultura del hacer hacia la cultura del hacer pensando.

Consideremos las ingenierías como una prolongación de la Universidad, en la que se consolida la formación de jóvenes titulados, en los años que serán decisivos para su futuro. Sintámonos involucrados en la Universidad y centros de investigación.

Aseguremos la estabilidad y pervivencia de nuestras organizaciones y establezcamos los medios para que su vitalidad, garantía de futuro, no se encuentre lastrada.

Valoremos nuestra independencia, no como un arma contra nadie, sino fundamentalmente como un atributo intelectual inherente a quienes tienen por oficio pensar, informar y decidir libremente.

Javier Rui-Wamba Martija
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de la Fundación Esteyco

En torno a Leonardo Torres Quevedo
y el Transbordador del Niágara

Contenido

NOTA EDITORIAL	5
VIAJE ESTRUCTURAL EN EL TRANSBORDADOR	11
AERIAL CABLEWAY AT NIAGARA FALLS. 1916 <i>FACSIMIL Y TRADUCCIÓN</i>	46
BIOGRAFÍA	73
CRONOLOGÍA	86
BIBLIOGRAFÍA	89
CORRESPONDENCIA	91

Nota Editorial

Hace pocos años la recién construida cubierta del patio de unos viejos edificios convertidos en el Museo de Historia de Hamburgo, recibió diversos prestigiosos premios. La similitud de la solución estructural escogida con la que muchos años antes había utilizado Leonardo Torres Quevedo para el carro y la barquilla del transbordador, sobre las cataratas del Niágara, atrajo nuestro interés por aquella obra, por las circunstancias en que se había llevado a cabo y por la faceta menos conocida de Torres Quevedo como ingeniero proyectista de estructuras y promotor de empresas.

Dicho interés ha germinado en un texto que comienza con un viaje virtual en el transbordador del Niágara, lo que da pie a recordar la historia de la prodigiosa ingeniería estructural del siglo XIX y a desvelar su influencia en la obra y, quizás, en el pensamiento de Torres Quevedo. Los ejemplos de las estructuras de la época, y entre ellas la del transbordador del Niágara, aún hoy en servicio, han influido también en todo el desarrollo posterior de la ingeniería del acero y más recientemente son referencia evidente y contraste imprescindible de estructuras tan actuales como las que se engloban en la llamada «arquitectura high-tech».

Se han incluido, además, un artículo aparecido en 1916 en la revista «The Canadian Engineer», en el que se describe en detalle la obra del transbordador, y documentos gráficos facilitados por los herederos de Torres Quevedo.

Aun siendo la figura de Leonardo Torres Quevedo bien conocida por muchos de los potenciales lectores, nos ha parecido oportuno incluir un preciso apunte biográfico preparado por Fernando Sáenz Ridruejo. De las numerosas cartas inéditas que se cruzaron entre Gonzalo Torres y Polanco y su padre durante el proceso de ejecución de la obra, hemos reproducido cuatro. Gonzalo fue lo que hoy podríamos llamar ingeniero director de las obras o ingeniero residente, y vivió en

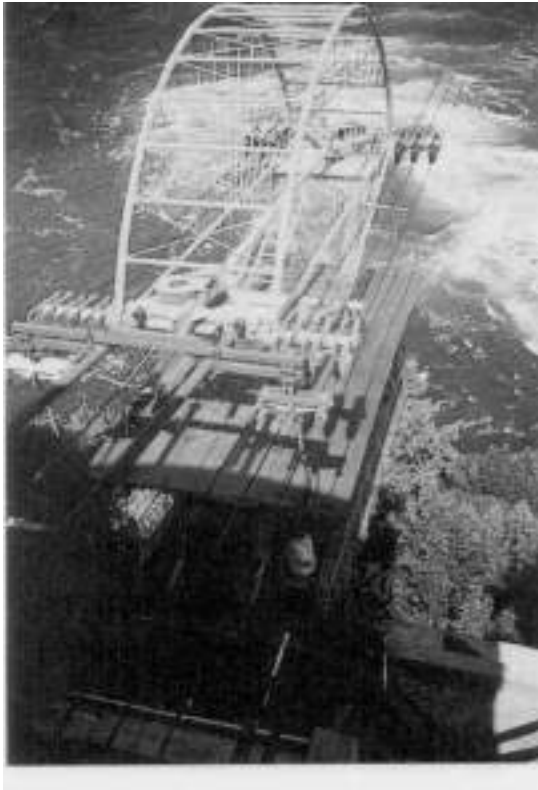
Canadá durante dos años dedicado exclusivamente a resolver los problemas legales, administrativos, económicos y técnicos que fue preciso superar para construir, mantener y explotar, por el sistema de peaje, el transbordador. Las cartas que hemos elegido ponen de manifiesto el ambiente en el que tuvo que desarrollar su trabajo y la importancia esencial de una labor, tan semejante a la que hoy llevan a cabo -con frecuencia, calladamente y en una discreta penumbra-, los ingenieros que tienen la responsabilidad de construir lo que otros han proyectado.

Esta edición que ahora sale a la luz, no hubiese sido posible si no hubieran existido gentes e instituciones que han seguido manteniendo vivo el recuerdo de la figura y la obra de Leonardo Torres Quevedo. A todos ellos, nuestro agradecimiento. Y un agradecimiento especialísimo para los herederos de Torres Quevedo y, en particular, para Leonardo Torres-Quevedo y Torres-Quevedo que, generosamente, nos ha abierto de par en par las puertas a documentos esenciales para comprender la figura de su abuelo Leonardo y de su padre Gonzalo, permitiéndonos utilizar cuantos documentos hemos necesitado para ilustrar esta edición. en

Viaje estructural en el Transbordador

Retazos de una historia de la ingeniería del acero

A modo de preámbulo



La barquilla del transbordador del Niágara,
estado actual

El dibujo de la portada de este libro representa la barquilla y el carro transbordador que Leonardo Torres Quevedo concibió, proyectó y construyó hacia 1914 sobre las cataratas del Niágara, y que todavía hoy se utiliza por las multitudes de turistas que visitan uno de los parajes más emblemáticos del continente americano. Quien esto escribe no es ni historiador, ni erudito y, por tanto, poco puede añadir al cúmulo de información que, felizmente, se ha ido publicando sobre su vida y su obra. Pero quizás interese a más de uno conocer lo que he sentido observando, con ojos de ingeniero, una obra concreta y puramente ingenieril como es el transbordador del Niágara, conocer lo que he podido comprender mirando y tratando de desvelar con la mirada algún rasgo más de una vida larga y fructífera, que no se deja encerrar en los límites de unas páginas, por extensas y valiosas que sean. Entre otras cosas, porque una vida no se vive aisladamente aunque se haya vivido en soledad y porque toda vida, y aún más las más fecundas, está enraizada en el entramado social que la acunó, mucho antes de que fuese gestada. Y porque toda vida es, también, manantial de un futuro lleno de ramificaciones.

El transbordador del Niágara es una obra de ingeniería concebida por un ingeniero y llevada a cabo con el ímpetu y el esfuerzo de muchas personas atraídas por el interés y las posibilidades de la idea.

Pocas referencias, si alguna, se pueden encontrar sobre este transbordador en las publicaciones clásicas que analizan la evolución de la ingeniería estructural y muestran las obras que han supuesto hitos en el progreso de esta técnica. Aparentemente se trata de una obra menor si se compara con las impresionantes obras de ingeniería

estructural que se realizan a lo largo del siglo XIX. Pero, ciertamente, se trata de una obra admirable que resuelve un problema que no es menor: cruzar las cataratas del Niágara entre dos puntos separados 550 metros, con recursos mínimos, con seguridad máxima y con una elegancia que se manifiesta en la concepción general y en cada uno de los detalles de la obra.



El Ironbridge en Coalbrookdale

Antecedentes Estructurales

El transbordador sobre el Niágara es una estructura deudora del prodigioso desarrollo de la tecnología del hierro y del acero del siglo XIX y es parte, por tanto, de una tradición ingenieril que conviene aquí recordar en sus rasgos más característicos. En 1779 en el pequeño poblado siderúrgico de Coalbrookdale en Inglaterra, se construye sobre el río Severn el primer puente metálico de la historia. Conceptualmente equivocado, esta obra admirable era manifestación del progreso que se había alcanzado en la fabricación en grandes cantidades de hierro y de fundición gracias a la utilización del coque, para quemar y afinar el mineral de hierro, sustituyendo la madera como combustible, lo que, sin duda, contribuyó a preservar extensas superficies de bosques que, tradicionalmente, estaban siendo taladas para disponer de la madera necesaria para la creciente demanda de hierro. Así Coalbrookdale, poblado hoy primorosamente restaurado, emplazado en un entorno exquisito en el que el puente sobre el río es centro de atracción y símbolo de la creatividad de una época, puede considerarse la cuna de la revolución industrial. La producción de hierro y fundición, en cantidades industriales, hizo posible, a principios del siglo XIX, el desarrollo de la máquina de vapor y de otros ingenios que trajeron con ellos la idea del ferrocarril y permitieron su prodigioso desarrollo. Inglaterra irradió un ímpetu que se extendió primero por Europa y en seguida por Norteamérica y por todo el mundo anglosajón a través del desarrollo de las comunicaciones, determinantes en la universalización de la revolución industrial. La mejora de las comunicaciones terrestres, carretera y



El puente colgante de Menai
 El puente en cajón de Britannia antes
 de su demolición
 El puente Royal Albert el año de su
 inauguración

ferrocarril, tenía un escollo esencial que salvar: las limitaciones que los materiales disponibles, utilizados desde tiempos inmemoriales, imponían a la construcción de puentes. Las distancias máximas que se podían salvar con arcos de fábrica no podían superar algunas decenas de metros. Consiguientemente, los caminos se debían trazar buscando lugares de paso que podían ser salvados con puentes de fábrica. De ahí la imagen torturada de tantos caminos de la época, incompatibles con las exigencias de rapidez, seguridad y comodidad que el desarrollo industrial reclamaba con vehemencia, anunciando un mundo nuevo en el que las comunicaciones iban a ocupar un lugar esencial.

El desarrollo del ferrocarril demandaba, por otra parte, trazados con muchas más exigencias que las habituales en caminos y carreteras de la época. Pendientes reducidas y alineaciones con radios generosos eran incompatibles con los métodos empleados en la construcción tradicional de caminos que evitaba los parajes complejos, mientras que el exigente ferrocarril se enfrentaba a ellos. Ni la mejora de las carreteras ni del ferrocarril hubiesen sido posibles sin el desarrollo simultáneo de los puentes de hierro. Y éstos fueron posibles porque los avances en los procesos siderúrgicos permitieron disponer del material adecuado para su construcción, en cantidades suficientes y a precios asequibles.

En pocas decenas de años, en los albores del siglo XIX, surgieron muchos prodigios ingenieriles que cambiaron, generalmente para bien, la faz del mundo.

Como ocurre siempre, el progreso en la fabricación del hierro no fue un hecho aislado, sino la consecuencia de la creatividad, tesón y atmósfera social adecuada que hizo fructificar, también, una ingeniería inglesa de una vitalidad excepcional, de la que son testimonios relucientes la obra y la vida de ingenieros como Thomas Telford, Isambard K. Brunel y Robert Stevenson.

Entre 1818 y 1824 Telford construye el impresionante puente colgante en los estrechos de Menai con una luz de 168 metros, cuatro o cinco veces la luz que podía llegar a ser salvada por los puentes tradicionales, con su tablero metálico suspendido de un cable



Portada del tratado sobre puentes colgantes de Navier

El puente colgante de Tain- Tournon

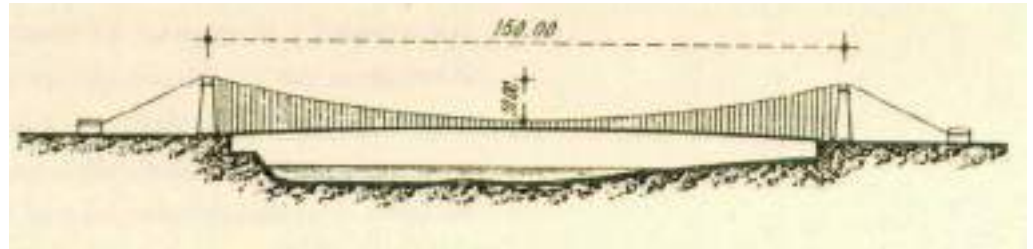
de cadenas con eslabones de fundición. Este puente fue la manifestación de las inmensas posibilidades que ofrecían los nuevos materiales en manos de ingenieros con inventiva, personalidad, capacidad de comunicación y credibilidad, trabajando en un entorno estimulante y que miraba al futuro.

Ya en aquellos años, la Ecole des Ponts et Chaussées de París, fundada en 1747, había alcanzado prestigio internacional y era considerada como el centro de formación de ingenieros más importante y avanzado del mundo, y de hecho fue el modelo en el que se basaron muchas Escuelas de Ingenieros de Caminos creadas a finales del siglo XVIII y principios del XIX, entre ellas nuestra Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. La Escuela francesa, bien informada de las obras extraordinarias que se estaban construyendo en Inglaterra, envió en varias ocasiones a uno de sus profesores más ilustres, Navier, al vecino país, para estudiar sus realizaciones y aprovechar y difundir en Francia las experiencias inglesas. Navier aprovechó positivamente la ocasión y publicó un estudio sobre la estabilidad de los puentes colgantes, que explicaba y justificaba con el lenguaje objetivo de los números y de las fórmulas, las obras de este tipo ya construidas, facilitaba el diseño de otros puentes similares y establecía un instrumento teórico imprescindible para el progreso de la técnica.

Los estudios de Navier permitieron en efecto el rápido desarrollo de los puentes en Francia. Él y otros ingenieros de la época construyeron numerosos puentes colgantes. Entre ellos, bien merece la pena destacar a Seguin, el primero que sustituyó las cadenas, de las que colgaban los puentes pioneros, por cables formados por alambres, lo que mejoraba la seguridad y facilitaba la construcción de los puentes colgantes.

El progreso en la construcción de puentes fue posible por la utilización de unos materiales nuevos, fundición, hierro y acero, que hoy no cumplirían los más elementales controles de calidad; por la necesidad de enfrentarse a problemas que habían sido inabordables hasta entonces, y por el conocimiento de nuevos procedimientos de cálculo, ciertamente someros. Se estaba en el amanecer de desarrollos

Alzado del puente de los Inválidos sobre el Sena



teóricos imprescindibles para conocer, con mucha mayor aproximación y rigor que entonces, las características esenciales de los materiales, el comportamiento de los elementos estructurales fabricados con ellos y de las uniones indispensables entre los diferentes elementos.

No hay auténtico progreso sin riesgo. Y los riesgos, que se manifiestan inevitablemente cuando se toman decisiones que contribuyen al progreso, suelen recaer sobre las espaldas o las conciencias de quienes las han tomado. En Francia los riesgos implícitos en la construcción de puentes colgantes se manifestaron de una manera brutal. El de Los Inválidos construido por Navier en París, tuvo que ser demolido cuando se evidenciaron problemas originados por movimientos en los anclajes de los cables.

Una noche de tempestad, en 1850, el puente colgante de la Basse-Chaine en Angers, se derrumbó cuando sobre él pasaba una compañía de soldados que regresaban al cuartel situado en uno de los extremos del puente. El paso rítmico de los soldados, á los que el fragor de una tormenta impidió escuchar la voz del oficial que ordenaba romper filas, como era reglamentario para pasar sobre los puentes ligeros, magnificó las vibraciones del tablero del puente, que cayó en el río provocando la muerte de más de 200 soldados.

Semanas después, también en Francia, otro puente similar fue destruido por ráfagas de viento que provocaron la resonancia del puente y que preludeó el famoso accidente, que sufrió un siglo después, el puente colgante de Tacoma en Estados Unidos.

La lógica alarma social que produjeron estos accidentes alimentó las dudas sobre la estabilidad de los puentes colgantes ya construidos, la fiabilidad de la nueva tipología estructural, los materiales con los que se construían, y los procedimientos utilizados para su dimensionamiento. La consecuencia fue que se reforzaron puentes



El desastre del puente colgante de la Basse Chaîne

construidos y se dejaron de construir nuevos puentes colgantes, abriéndose un paréntesis que en Europa duró hasta finales de siglo. El ímpetu ingenieril se desplazó a los Estados Unidos, lo que dio frutos extraordinarios personalizados en ingenieros de origen o formación europea, y acabó devolviendo al viejo continente la necesaria confianza para recuperar, ya para siempre, la tradición de la construcción con cables.

Como tantas veces en la historia de la ingeniería de las construcciones, la creatividad europea sirvió de referencia a la ingeniería norteamericana y la experiencia acumulada con su uso en el nuevo continente sirvió para que los europeos puliesen técnicas y ampliaran sus campos de aplicación.

Los Roebling

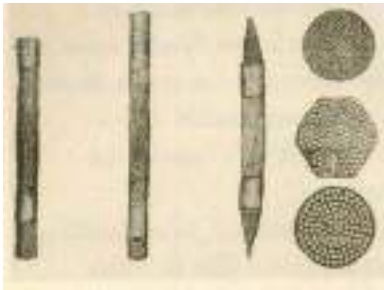


El hilo de esta somerísima historia de la ingeniería estructural, que nos acabará conduciendo a Torres Quevedo y su transbordador sobre el Niágara, alcanza en este punto la personalidad de John Roebling. Si todas las profesiones tienen sus santos, Roebling, profesando la ingeniería estructural, se convirtió en uno de los más destacados. Y cualquiera de las construcciones suspendidas o atirantadas construidas desde 1850 hasta ahora, están en deuda con la vida y la obra de un ingeniero que acabó dando la vida por su profesión y al que canonizaron el valor de sus obras, verdaderos milagros ingenieriles.

John Roebling nació en Alemania en 1806. Se formó como ingeniero en la prestigiosa Escuela Politécnica de Berlín, donde tuvo como profesor de filosofía nada menos que a Hegel, que le consideraba uno de sus discípulos preferidos. Su formación incluía también sólidos conocimientos de arquitectura, idiomas y música. Uno de los rasgos característicos de muchos ingenieros del sigl XIX era su liberalismo como oposición al decadente poder absolutista que dominaba muchos países europeos. En la juventud de Roebling, América era la tierra de promisión. Hastiado y perseguido

John Roebling

Roebing, con 24 años, participó en el éxodo de un grupo de compatriotas que crearon en Estados Unidos un nuevo poblado que durante años vivió de la agricultura y ganadería. Dicen sus biógrafos que las dificultades para cruzar un río próximo, por medio de barcasas guiadas por cuerdas de cáñamo, estimularon su interés por resolver un problema generalizado. La convicción de que sería ventajoso utilizar cables metálicos, más resistentes, flexibles, seguros y económicos, en lugar de las tradicionales y costosas cuerdas de cáñamo, estimuló su ingenio y se propuso, consiguiéndolo, producir alambres de acero y fabricar, a partir de ellos, cables flexibles y resistentes. Así Roebing estableció las primeras instalaciones de una industria floreciente para fabricar elementos, los cables de acero, que desde entonces, son indispensables en múltiples y variadísimas aplicaciones.



Sistema de cables: Seguin, americano y Arnold
El puente colgante del Niágara de John Roebling

Entre 1851 y 1855, Roebing construyó en el Niágara, muy cerca del lugar donde Torres Quevedo erigió su transbordador sesenta años después, un puente de ferrocarril y carretera de 250 metros de luz utilizando cables fabricados por él. Nunca se había intentado antes alcanzar esta luz en un puente de ferrocarril. La industria siderúrgica, no solamente había introducido mejoras sustanciales en la producción de aceros de más calidad, sino que había desarrollado el roblonado como medio eficazísimo para conformar elementos estructurales partiendo de una gama muy reducida de productos laminados y utilizando el roblonado como medio de unión de dichos elementos. Roebing fue consciente de la importancia de la rigidez de los tableros para mitigar los fenómenos de vibraciones y así pudo construir un puente para ferrocarril y carretera que entonces fue el asombro del mundo. El gran ingeniero inglés Stevenson (constructor del maravilloso puente Britannia, con una tipología robusta de cajón continuo, por cuyo interior circulaba el tren) dijo que si el puente de Roebing era correcto, entonces el suyo era una equivocación, lo que, visto con perspectiva, resultó un comentario equivocado. El puente de Roebing se comportó correctamente, pero el de Stevenson fue una maravilla estructural, avanzada en su tiempo y que mostró el



El puente de Brooklyn, Nueva York

camino hacia el uso de cajones continuos, que luego fueron profusamente utilizados.

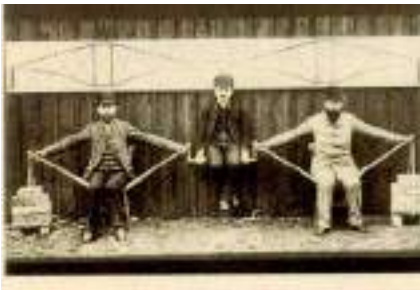
Lo cierto es que los puentes colgantes construidos por ilustres ingenieros americanos de la época, constituyeron etapas de una evolución que condujo a la obra con la que culminó la vida de John Roebling: el puente de Brooklyn en Nueva York. Comenzada la construcción en 1869, este puente de cerca de 500 metros de luz, supone un auténtico hito en la historia de la ingeniería estructural. Su concepción y los métodos para montaje de tableros por dovelas sucesivas que se suspendían de los cables previamente lanzados y sujetos a las torres de sillería (cimentadas bajo las profundas aguas del río Hudson por medio de cajones indios hincados con ayuda de aire comprimido), se utilizaron después para la construcción de los grandes puentes colgantes americanos, como el más famoso del Golden Gate sobre la bahía de San Francisco.

Las secuelas del desgraciado accidente que padeció John Roebling trabajando en el replanteo del puente, a los pocos días de haber conseguido la definitiva aprobación de las obras, acabaron con su vida cuando habían transcurrido sesenta y tres años desde su nacimiento. La pasión por su oficio y su competencia fueron heredadas por su hijo Washington que, tras la muerte del padre, asumió la responsabilidad de dirigir la obra durante los catorce años que duró su construcción. No ahorró atención a la obra y, con frecuencia, descendió al interior del cajón sumergido en el que, operarios con muy pocos medios, excavaban el cauce del río para provocar la hincada del cajón hasta el terreno competente en el que quedó definitivamente cimentado. El procedimiento exigía la creación de una sobrepresión de aire en el interior del recinto desde el que se estaba excavando para impedir la entrada del agua del río. El desconocimiento de los hoy bien conocidos efectos de la descompresión brusca en quienes dejaban el recinto, provocó numerosos y graves problemas de salud entre los operarios. El mismo Washington Roebling sufrió sus consecuencias, que afectaron gravemente a su movilidad y a su salud y que finalmente fueron causa de su muerte tras haber dirigido las obras desde una silla de ruedas y

en una oficina situada próxima al puente. Hoy cuando se visita el centenario puente de Brooklyn, quizás el más conocido del mundo, símbolo de la vitalidad de una ciudad, de un país y de una cultura, nos sentimos fascinados por una belleza que no es consecuencia solamente de la elegancia de las formas que percibimos, sino también de la sensación de solidez que sentimos, atributo asignable a los cimientos que no percibimos, y al aura que ha impregnado la obra generada por el esfuerzo, la sabiduría, el valor y la pasión de quienes hicieron posible este monumento laico construido como ofrenda al dios de la utilidad, como todas las obras públicas que merezcan tal nombre.



La experiencia americana influyó, cómo no, en que las estructuras colgadas recobrasen su prestigio. La industria, entre tanto, desarrolló sistemas de fabricación de chapas y perfiles laminados, lo que junto con el roblonado como sistema de conexión ofrecía la posibilidad de construir vigas y cerchas con geometrías muy variadas. Cullman primero y Cremona después desarrollaron la estática gráfica, método eficazísimo para el dimensionamiento de celosías que se convirtieron en la tipología por excelencia de las construcciones metálicas. También entonces existía la tendencia y la tentación de proyectar con tipologías que se sabían calcular. Las vigas de celosía facilitaron la construcción de puentes de luces cortas y medias que eran, en general, las que requerían las nuevas carreteras y ferrocarriles que iban cuajando la superficie habitada del planeta.



El puente de ferrocarril de Firth of Forth
Modelo humano reproduciendo el sistema
estructural del puente del Forth

El recurso a cerchas o vigas en celosía, fabricadas a partir de los perfiles laminados de acero, alcanzó su cima con la construcción del puente de ferrocarril del Firth of Forth en Escocia, construido a finales del siglo XIX con la pretensión de ser el más seguro del mundo. Esta seguridad era a la sazón un objetivo prioritario, en vista del Desastre que años antes había provocado el colapso del Puente del Tay, situado en sus proximidades. La pesada majestad del puente, de unos 570 metros de luz, manifiesta, por otra parte, los límites en el uso de celosías.

La situación en España

En nuestro país, como es natural, toda esta evolución estructural se reflejaba con un retraso de algunas decenas de años y estaba limitado por la escasez de recursos económicos para abordar grandes obras de ingeniería y por las limitadas necesidades de transporte que generaba un sector industrial emergente que nunca alcanzaría los niveles de países como Inglaterra, Francia, Alemania o los Estados Unidos.

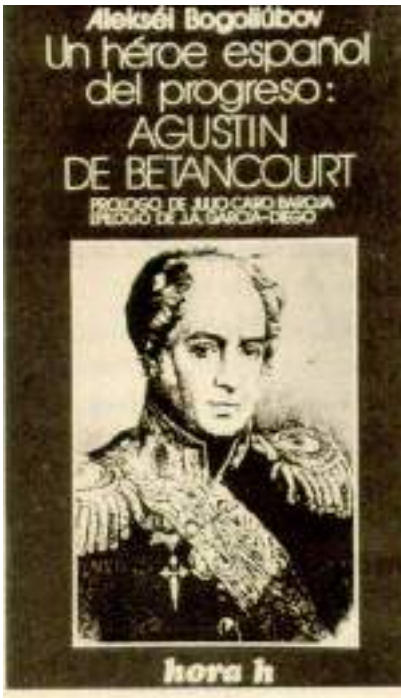
En 1802 Agustín de Betancourt fundó la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Madrid, a imagen de la prestigiosa escuela francesa de Ponts et Chaussées. La Escuela de Caminos fue ciertamente el foco que asimiló los avances técnicos que se estaban produciendo en nuestro entorno y que diseminó, entre ingenieros y futuros ingenieros, la información sobre estas técnicas y las nuevas realizaciones que se estaban llevando a cabo. La Escuela, a lo largo de su historia, atrajo e inició la formación de personalidades tan extraordinarias como el propio Agustín de Betancourt, Lucio del Valle, Ildefonso Cerdá, Práxedes Mateo Sagasta, José Echegaray, Pablo Alzola, Leonardo Torres Quevedo, Eugenio Ribera el Conde de Guadalhorce, Juan de la Cierva, Eduardo Torroja y Carlos Fernández Casado, por no citar más que a los, quizás, mejor conocidos. Citarlos sirve, por otra parte, para insinuar la atmósfera en la que Torres Quevedo inició su formación, a lo que contribuirá también el escueto recuerdo de algunos rasgos de la personalidad de Agustín de Betancourt, el fundador de la Escuela.

De sus periplos por Inglaterra y Francia, trajo a España lo que de más valor debió encontrar en aquellos países: de los ingleses, la importancia del maquinismo, que le llevó a escribir un libro clásico sobre la ciencia de las máquinas; de Francia, la necesidad de una sólida formación, que le impulsó a crear la Escuela de Madrid; de ambos países, la convicción de que el mundo había acelerado su ritmo de progreso y que España tenía también que situarse en la estela de este impulso si no quería perder la oportunidad de modernizarse y progresar. Naturalmente estas ideas tenían que chocar, como de hecho enfrentaron con frecuencia a los ingenieros

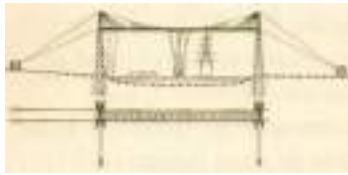
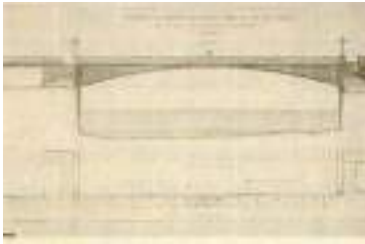
de la época, con el conservadurismo del poder establecido que, como tantas veces en la historia, pendiente de conservar su poder, no percibió *la* importancia de lo que estaba ocurriendo en su entorno ni prestó oídos a quienes sí lo estaban percibiendo. La formación de los ingenieros, basada en conocimientos importados, les exigía estar muy al corriente de cuanto estaba sucediendo en los países que lideraban el progreso, lo que generó entre los ingenieros actitudes individuales y colectivas de carácter liberal y produjo enfrentamientos con el poder establecido. Por ello, Agustín de Betancourt, aprovechando su prestigio internacional, se exilió en 1807 en San Petersburgo a la corte del zar Alejandro I cuyo mecenazgo atrajo a personalidades europeas de las ciencias y de las artes. Betancourt acabó siendo ministro de obras públicas del Gobierno del Zar, y bajo su ministerio y con su personal intervención, se construyeron catedrales, escuelas de equitación, redes viarias, redes fluviales, ferrocarriles y se gestó una ciudad nueva: Novgorod. Agustín de Betancourt está enterrado en el cementerio luterano de la ciudad de San Petersburgo y su tumba es vecina con la de Euler. La breve biografía escrita por el ingeniero ruso Bogoliúbov, publicada en aquel país con el título -Un héroe español del progreso- , y con traducción española prologada en 1973 por Julio Caro Baroja, es de obligada y deliciosa lectura para quien se quiera aproximar a una de las personalidades más atractivas y reveladoras de la España del siglo XIX.

En Vizcaya, por otra parte, la industria siderúrgica se había desarrollado notablemente. Las minas de hierro de Somorrostro y Gallarta y el espíritu emprendedor de muchos vizcaínos, promovieron el germen de una poderosa industria del hierro y del acero.

Hacia 1855 se construyó en Bilbao el puente colgante de San Francisco, cuyo nombre es el de la calle a la que daba acceso desde la ribera del casco viejo pasando sobre la ría del Nervión. Este es el puente del que se dice -que no hay en el mundo puente colgante más elegante que el de Bilbao- , expresión con unas profundas raíces bilbaínas que pone de manifiesto que la consciencia, atributo del ser humano por excelencia, no contribuye necesariamente a la felicidad;



Biografía de A. Betancourt editada por Seminarios y Ediciones



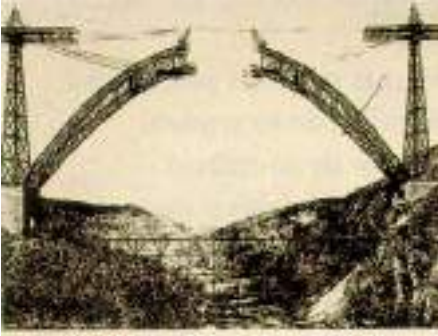
el desconocimiento de lo que ocurre más allá de nuestro entorno inmediato nos puede conducir a sobrevalorar lo nuestro, lo que no tendría mayor importancia si no fuese porque favorece conservadurismos estériles y, en ocasiones, peligrosos.

Años después hacia 1882, el propio Pablo Alzola construyó en sustitución del viejo puente colgante, otro de celosía que, entre otras cosas, provocó una fascinante polémica sobre la estética de los puentes con su campanero, Fernando García Arenal, que publicó en 1885 un texto sobre la importancia de la estética de todo tipo de objetos industriales.

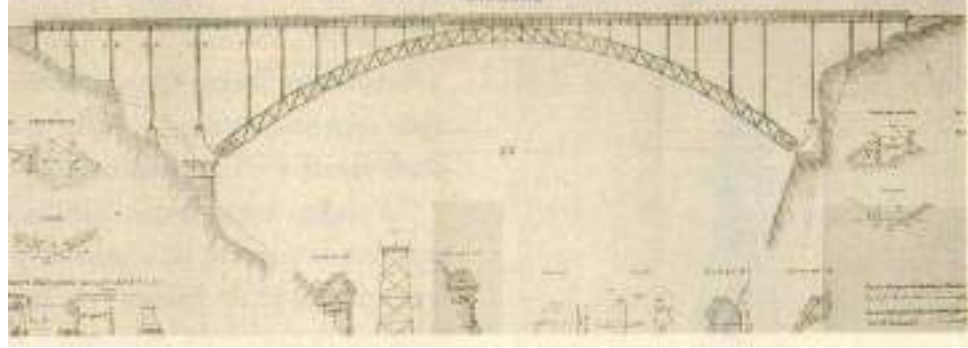
En nuestra vecina Francia, la ingeniería del acero alumbró personalidades como la de Gustavo Eiffel y la menos conocida de Fernando Arnodin, ingeniero y constructor como su maestro. En 1873, con la construcción del puente colgante de Saint-Ilpice, con un sistema de cables similar al utilizado por Roebling en el puente de Brooklyn, Arnodin cerró el paréntesis que se había abierto con las catástrofes de los puentes colgantes a las que hemos hecho anteriormente alusión.

A finales de siglo, se acabó de concretar la idea de los puentes transbordadores, de los que existían precedentes teóricos americanos, y se construyeron diversas estructuras formadas por pórticos y cables de acero, de los que se suspendía una barquilla que permitía el paso de vehículos ligeros y pasajeros entre orillas de ríos y en las desembocaduras de rías. Entre ellos, el pionero, el más elegante, éste sí, y el único que todavía perdura es el puente colgante de Vizcaya, entre Las Arenas y Portugalete, inaugurado en 1873 como fruto de una aventura que inició el arquitecto Alberto de Palacio. Para construirlo, y operarlo por el sistema de peaje, que debe ser hoy uno de los más antiguos de España, tuvo que lograr el permiso de las autoridades; seducir al conjunto de hombres de negocios que arriesgaron su capital; constituir una sociedad para la construcción y explotación del puente y buscar y lograr la colaboración de Arnodin, uno de los más expertos ingenieros franceses de la época para proyectar y construir la obra. Es interesante notar cómo un mal arquitecto, si nos atenemos al valor de sus obras de arquitectura,

El puente de San Francisco sobre la ría de Nervión, Bilbao
El puente transbordador de Portugalete en Bilbao
Proyecto de árbol gigantesco de Palacio



Proceso constructivo del viaducto de Garabit
Proyecto del viaducto del Pino sobre el río Duero



pudo realizar esta hermosa obra de ingeniería: ¿acaso la dictadura de los requisitos estructurales impidió algunos de los despropósitos que luego realizó solo? ¿acaso la colaboración del ingeniero Arnodin tuvo un efecto sinérgico con la personalidad de Palacio?

Otra referencia ineludible es la de Eugenio Ribera que en 1895 proyectó el viaducto del Pino, acabado de construir en 1913. Por entonces había escrito un libro sobre los puentes metálicos. Estaba perfectamente informado de lo que de interés se estaba construyendo en el mundo, y la justificación de la tipología escogida para el viaducto del Pino se basa en la comparación de diferentes soluciones utilizadas en la construcción de importantes obras esparcidas por diferentes países. El viaducto del Pino es de una belleza singular, perfectamente encajada en la hoz del río, a la que realza con su presencia transparente. Las dificultades que tuvo y su insatisfacción por su obra, que fue objeto de una severa autocrítica, estimuló, entrado ya el siglo xx, el interés de Ribera hacia el hormigón y su rechazo del acero. Pero a finales del siglo **XIX** no hubiese sido posible construir un viaducto como el del Pino con otro material que el acero.

Ribera fue, por otra parte, en la tradición de Eiffel y Arnodin, ingeniero, constructor y empresario, y creó una de las primeras grandes empresas constructoras españolas, Hidrocivil, iniciando así un camino que fue seguido después por brillantes ingenieros que levantaron las más importantes constructoras de nuestro país.



El faro de Buda en el delta del Ebro

Las influencias sobre Torres Quevedo

Leonardo Torres Quevedo vivió, con más o menos proximidad, todo este ambiente que influyó en la elección de su sendero profesional y en la maduración de los frutos de su trabajo.

Su padre, Luis Torres-Vildósola, de origen andaluz y vasco, fue también ingeniero de caminos y durante algunos años profesor de ferrocarriles en la Escuela de Ingenieros, siendo director Lucio del Valle en la época en que éste había construido el extraordinario faro de Buda, de hierro fundido, que con sus 51,50 metros de altura fue el más alto del mundo y orgullo de la profesión.

Torres Quevedo pasó su niñez en Bilbao y completó su formación en París. Vivió una época de frecuentes exposiciones universales (París 1867, 1878, 1889, 1900; Viena, 1873; Amberes, 1885; Chicago, 1893,...), que entonces servían para mostrar el rápido progreso que se estaba produciendo en la industria y los ingenios que se estaban desarrollando, lo que no debió ser ajeno al interés por las invenciones a las que dedicaría buena parte de su vida.

En París, debió conocer y, quizás, visitar la Ecole des Ingenieurs de Ponts et Chaussées. Tuvo que estar bien informado de los progresos ingleses en la construcción de puentes y de la personalidad de Telford, Brunel y Stevenson. Conoció sin duda, estudiando los textos de Eduardo Saavedra sobre puentes colgantes, las obras teóricas de Navier, de Seguin, y de quienes en Francia, Alemania, Suiza e Italia desarrollaron modernos métodos de cálculo de las estructuras. Estuvo informado, también, de los desastres de algunos puentes colgantes y de otras tipologías. Visitaría, quizás, las exposiciones universales de París y Viena, que despertarían su interés, tanto por el continente como por el contenido. Estaba en los comienzos de su treintena cuando Roebling concluyó la construcción del puente de Brooklyn y, sin duda, habrían llegado a sus oídos las hazanas de la construcción de los puentes de Cincinnati y el del ferrocarril en el Niágara. Cuando Eiffel construyó su torre para la Exposición Universal de París, Torres Quevedo rondaba los cuarenta. Habría conocido y estudiado en la Escuela las publicaciones de Agustín de Betancourt sobre mecanismos, como

debió conocer los libros sobre puentes metálicos escritos por Eugenio de Ribera explicando la génesis y características del Viaducto del Pino. Debió conocer con detalle las vicisitudes que condujeron a la construcción del puente transbordador de Vizcaya como respuesta a la necesidad de resolver el cruce de personas y vehículos en desembocaduras de ríos navegables en los que las exigencias del tráfico de embarcaciones eran incompatibles con la presencia de puentes fijos a nivel de riberas, y donde la frecuencia del paso de embarcaciones, en una ría como la de Bilbao, que cobijaba a la industria más importante del país y era arteria esencial de su desarrollo, hacía impracticable la solución tradicional de los puentes móviles de los que había amplia experiencia en el mundo. Los biógrafos de Leonardo Torres Quevedo no nos dicen si éste utilizó el transbordador, pero es bien probable que lo hiciese y apreciase su utilidad, la belleza de su geometría y, quizás, sus inconvenientes. Probablemente supo de los problemas que tuvo que resolver Alberto de Palacio para construir el transbordador y, entre ellos, el de atraer capitalistas que arriesgasen algunos caudales, el de crear una sociedad promotora de la construcción y explotadora del transbordador y las dificultades que resultaron de todo ello.

Se dice, y se dice bien, que los edificios de gran altura, a los que conocemos con el nombre encantador y evocador de rascacielos, los que habían de cambiar el paisaje de nuestras ciudades y, en particular, los que han silueteado la personalidad de las grandes ciudades modernas crecieron y se desarrollaron en Chicago, gracias a la utilización de las estructuras metálicas, procedentes de las cercanas y jóvenes siderurgias, que constituían el esqueleto de los edificios, en sustitución del tradicional sistema de muros de carga, cuyos espesores crecientes limitaban rápidamente la altura de los edificios con ellos contruidos.

Pero, además, el desarrollo de los edificios en altura no hubiese sido posible sin la invención y progresiva mejora de los ascensores. Una imagen recurrente de los tratados que se ocupan de los prodigios de la época es la de Elisha Graves Otis, subido en una plataforma y experimentando en la Exposición Universal de Nueva York de 1853



Ascensor de la torre Eiffel

la seguridad del sistema por él patentado. El principio del ascensor, que permitiría desplazar en vertical personas y mercancías, recurría a sistemas de cables, con sistemas de contrapesos y con medidas de seguridad que eran indispensables para asegurar el porvenir del ingenio. Ya más avanzado el siglo se fueron desarrollando sistemas de cintas transportadoras que permitían el desplazamiento horizontal o inclinado y que, hoy, se han convertido en las familiares escaleras mecánicas.

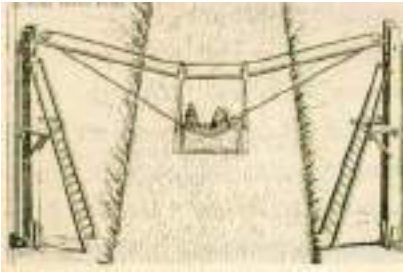
El Transbordador del Niágara

Hacia 1884, Torres Quevedo, en su refugio cántabro del Valle de Iguña, donde había nacido, construyó un pequeño transbordador. En 1896 patentó el sistema con el que más adelante construyó el del monte Ulía en San Sebastián, con una solución análoga a la que, pocos años después (1914-1916), le llevó a construir el transbordador del Niágara.

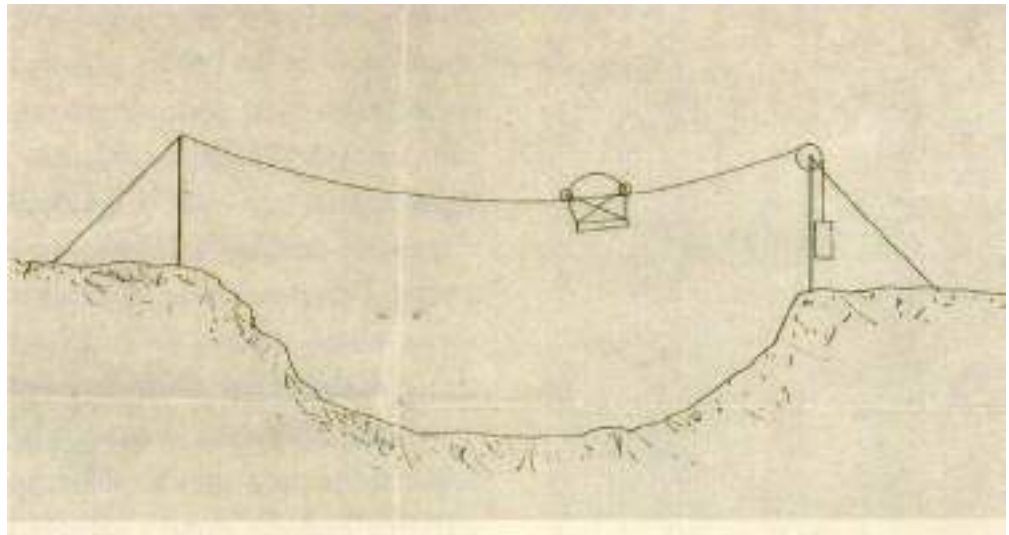
La estructura estaba constituida por seis cables portadores que se apoyaban en dos torres que en el Niágara se situaban a 550 metros de distancia. Los cables de uno de los lados iban anclados en un macizo de hormigón, encajado en el macizo rocoso que servía de cimiento. En el otro extremo, contrapesos con libertad de desplazamiento vertical, aseguraban una tensión constante en los cables. El carro de traslación estaba constituido por un conjunto de 12 ruedas unidas seis a seis, mediante dos ejes horizontales, uno a cada lado del carro. Los dos ejes con seis ruedas cada uno se solidarizaban mediante una elegante estructura constituida por dos perfiles de forma semicircular y un sistema radial de cables que coincidían en un nudo del que nacían, a su vez, los cables radiales de los que colgaba la barquilla. Se conformaba así un recinto con forma rectangular de 6x3 metros, con capacidad para 24 pasajeros sentados y un pasillo central apto para otros 21 pasajeros más. Transversalmente los dos arcos comprimidos estaban arriostrados con un sistema de cables en cruces de San Andrés y la estabilidad transversal del carro estaba asegurada también mediante cables inclinados que unían las cuatro esquinas de la



El transbordador del Monte Ulía



Principio de un transbordador ilustrado con un grabado antiguo
Transbordador de Saint-Mallo
Croquis original del transbordador del Niágara

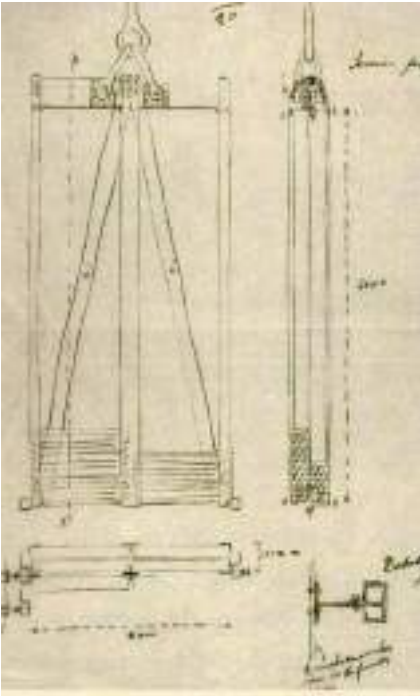


barquilla con los cuatro bordes de los ejes. El transbordador se completaba con los sistemas de tracción y retención del carro, con los dispositivos de frenado y seguridad, y con plataformas de acceso y desembarque integradas en el diseño de las torres de sujeción de los cables, que también cobijaban a los contrapesos y motores que aseguraban el movimiento de la barquilla.

La flecha de los seis cables portadores, tres a cada lado de la barquilla, que lógicamente dependía de la envergadura de los contrapesos construidos, variaba de unos 14 metros sin la barquilla hasta un valor máximo de 30 metros, con la barquilla cargada con 45 pasajeros.

Cada cable iba sujeto en uno de sus extremos a un contrapeso de 10 toneladas, constituido por una celdilla de acero en la que se disponían lingotes de fundición. Así, cada cable estaba solicitado por una tensión constante, 10 toneladas, con independencia de la carga real del transbordador, que influía exclusivamente en la flecha que tomaban los cables. La tensión constante de éstos favorecía notablemente su comportamiento. Además, la rotura eventual de un cable no conllevaba a la rotura de los dos restantes, que habían sido sobredimensionados para cubrir esta posibilidad.

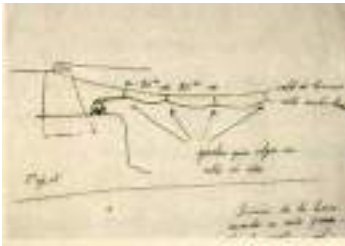
Estos hechos justificaban que, en la presentación pública del transbordador, se pusiera énfasis, quizás un tanto excesivo, en su seguridad. Porque si bien es cierto que la idea de la seguridad está



Sistema de contrapesos del transbordador del Niágara

en la esencia del diseño del sistema, es cierto también que la movilidad de los cables provocaba rozamientos y tensiones localizadas en la zona de poleas donde cambia bruscamente la curvatura de los cables. Que la sujeción de los cables al sistema de contrapesos y la movilidad de éstos eran aspectos delicados de cualquier estructura de este tipo. Que también lo era el sistema de anclajes dispuestos en el extremo opuesto, como lo era la estabilidad en su plano y fuera de él del perfil semicircular que relacionaba los dos ejes del carro, el nudo en el que confluían los tirantes del carro y los que sujetaban la barquilla y los ejes transversales que recogían seis ruedas cada uno de ellos, que en caso de rotura del cable exterior hubiese estado solicitado por un esfuerzo de flexión que doblaría al estimado en los cálculos. Además, la rotura de uno de los tres cables situados a uno de los lados de la barquilla, incrementaría significativamente la flecha de los cables restantes, con lo que el carro se inclinaría extraordinariamente en sentido transversal con riesgo cierto para la barquilla y sus usuarios. En definitiva, la seguridad de la estructura no dependía únicamente de la fiabilidad del sistema de los cables portadores aún siendo éstos elementos esenciales. En ésta como en cualquier estructura de entonces y de ahora, la seguridad depende, y con frecuencia está determinada, por la calidad y eficiencia de las zonas singulares de la estructura, zonas en las que se producen cambios en la dirección o magnitud de los esfuerzos que se canalizan a través de la estructura.

Los comentarios anteriores no pretenden quitar mérito al transbordador, que lo tiene y mucho, debido precisamente a su concepción general y a la calidad de los detalles. Sin duda, Torres Quevedo era consciente de ello y lo era, además, de las limitaciones de las tecnologías de entonces y de lo simplista de los procedimientos de cálculo disponibles para el dimensionamiento y la verificación del proyecto. Por ello utilizó sistemáticamente métodos experimentales para confirmar la seguridad de la estructura. Sin duda que la estructura del carro y de la barquilla fueron objeto de ensayos experimentales, sencillos por otra parte de realizar. Cuenta que, antes



Detalles del proceso de montaje
del transbordador
Barquilla del sistema de
Transbordador de Torres Quevedo

de ponerla en servicio, realizó una prueba de carga situando en la barquilla un peso equivalente al de tres veces los pasajeros que podían ocuparla.

Pero, además, la estructura del transbordador tenía y tiene unas cualidades a las que hoy aspira, con frecuencia sin conseguirlo, toda estructura moderna bien diseñada: todos sus elementos son fácilmente inspeccionables y todos se pueden sustituir con facilidad, haciendo posible sistemas de inspección y mantenimiento sencillos y eficaces, lo que -mejor que otras medidas- asegura su correcto funcionamiento y su larga vida.

El transbordador es, por otra parte, paradigma de la racionalidad y todos sus elementos son esenciales: no hay espacio para la decoración. Si en una estructura se alcanza la belleza cuando no se puede quitar ya nada, no cabe duda que el transbordador responde a esta imagen de belleza, que va asociada además a la transparencia: simplemente unos hilos cruzando un paisaje exquisito y un carro y su barquilla como de encaje, que recuerda la belleza de estructuras tan hermosas y esenciales como el paraguas, la rueda de bicicleta o el abanico.

Pero el encanto que transmite el transbordador no es solamente debido a la percepción de sus formas visibles. Seguramente como en obras de la magnitud de las pirámides de Egipto o del puente de Brooklyn o de San Francisco, la obra queda impregnada de un aura que se alimentó de todos los pasos del proceso que hicieron posible la construcción de la obra proyectada.

En el caso del transbordador nos fascina, tanto o más que la obra en sí, el que hace ochenta años Leonardo Torres Quevedo tuviese el entusiasmo y la habilidad para identificar el interés de construir el transbordador en un país bien alejado del nuestro y en el que no existían precedentes (ni desgraciadamente ha habido muchos consecuentes) de obras realizadas por la ingeniería española; en un entorno privilegiado que había sido escenario de la construcción por John Roebling de una obra emblemática: el puente suspendido del ferrocarril, al que ya hemos hecho referencia, que fue construido en 1850 y demolido cuarenta años después, construyéndose en su

sustitución el puente en arco metálico hoy existente; en un país en el que años antes se había producido una catástrofe con la destrucción de un importante puente en Quebec y que, por tanto, reclamaba unas condiciones excepcionales de seguridad en sus obras, razón sin duda del justificado énfasis que ponía Torres Quevedo en la seguridad de su ingenio.

Leonardo Torres Quevedo tuvo que encontrar recursos para financiar sus estudios y las obras y, para ello, promovió primero la constitución

Folleto díptico de la inauguración del transbordador

**STOP! LOOK!
LISTEN!**



THE REAL scenic beauty of the Whirlpool and Rapids, and of the Niagara River is only now unfolded to lovers of nature, by means of the Spanish Aerial, which stretches across the Whirlpool on a span of 1800 feet, 150 feet above the water, affording new and unimpeded views of the magnificent surroundings, until now quite unattainable.

A severe and searching test of the cableway was made by the Ontario Department of Public Works, with eminently satisfactory results before it was opened to the public. A cableway of the same design and installed by the same company has been in operation for the past nine years at San Sebastian, Spain, with so much success and without accident of any description, that it decided the company to build the present one at Niagara Falls.

Cars of the International Railway and the Gorge Belt Line Route pass both stations of the Aerial Cableway, namely at Colfax Point and Thompson's Point, enabling passengers to cross either way by the Aerial Line, resuming their journey at the other side by a later car.

The trip across takes about six minutes.


The Aerial Car will be in operation throughout the year. In winter, passengers alighting at Colfax Point can cross by the Aerial and be in time to resume their journey on the same car at Thompson's Point.

Accommodation is provided in the Aerial Car for thirty-six passengers at a time.

Fares in Summer, 25c single; 50c return.
Fares in Winter, 30c single; 75c return.

This Company reserves the right to change fares without notice.

Niagara's Greatest
and Newest Attraction



DON'T FAIL TO TAKE A RIDE
— ON THE —

**WHIRLPOOL
SPANISH
AEROCAR**

Second Stop
from
Bridge St., Niagara Falls
(Canadian Side)

by
Gorge Route Cars
or
International Railway Cars



Gonzalo Torres Quevedo tras la terminación de la obra, 1916

* En el apartado Correspondencia se han recopilado algunas de estas cartas, enviados por D. Gonzalo a su padre



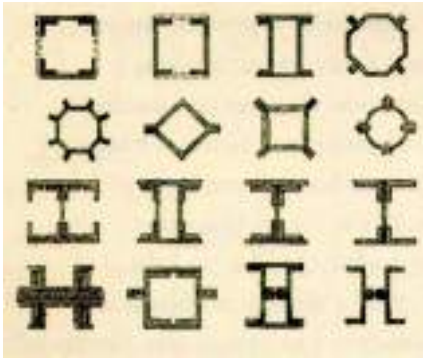
de la Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería y, posteriormente, The Niagara Spanish Aerocar Company. Entre los accionistas y miembros de los Consejos de Administración de estas compañías, figuran apellidos como los de Lezama-Leguizamón, Gana, Orbeagozo, Urquijo, Ybarra, y tantos otros, lo que manifiesta el prestigio y credibilidad que había alcanzado la figura de Torres Quevedo.

Para la construcción de la obra, el padre envió a su hijo Gonzalo, también ingeniero de caminos, a dirigir las obras de construcción y montaje del transbordador. Las cartas que Gonzalo* escribió a su padre consultándole detalles o informándole de la marcha de las obras, ilustran con claridad el ambiente en que se desarrollaron los trabajos y las dificultades que tuvieron que vencer para terminarlos.

La obra concluyó felizmente y fue inaugurada con notable difusión en los medios de comunicación de la época. Lamentablemente las previsiones en cuanto al número de usuarios no se cumplieron, y los accionistas debieron ver frustradas las expectativas de rentabilidad de su inversión. Aunque, por otro lado, una de las razones que pudieron moverles a invertir en la iniciativa, era la oportunidad de mostrar en Canadá y Estados Unidos el nivel de la técnica y de las industrias españolas y favorecer así la exportación de las que se estaban creando en Vizcaya. No parece que fuese tampoco un objetivo logrado, a pesar de que aún hoy el transbordador continúa siendo conocido como el Spanish Aerocar.

Una reflexión sobre las estructuras de acero de la época

Todas las variadísimas estructuras que se construyeron a lo largo del siglo XIX y principios del XX: puentes, estaciones de ferrocarril, edificios industriales, naves de exposición, torres de extracción de minerales, torres de comunicaciones, transbordadores, norias y otros ingenios de los parques de atracciones, zeplines, los primeros aviones, estructuras de edificios, etc., tenían unos rasgos comunes que son los que les confieren esa uniformidad que se percibe observándolos.



Secciones de perfiles metálicos compuestos característicos del S. XIX

Prácticamente todas esas estructuras se construyeron a partir de un escaso grupo de perfiles laminados, angulares y chapas, unidos por roblones. Recordando el mecano que con un número reducido de piezas y pequeños tornillos permitía construir estructuras tan variadas que deslumbraron a tantas generaciones de niños y adultos, y que tantas vocaciones de ingenieros y constructores debieron generar, no podemos sino asombrarnos del número, importancia y variedad de las estructuras reales construidas con un conjunto reducido de piezas que, hay que insistir, son esencialmente angulares y chapas unidas por roblones, y, en algunos casos, cables y varillas con piezas de fundición como elementos de conexión y anclaje.

Es también asombroso observar los modestísimos medios de transporte y ejecución disponibles en la época y la escasa, si no nula, formación de los operarios que, muy probablemente provenientes de la agricultura o de la emergente industria siderúrgica, empezaban a crear oficios que hasta entonces no existían. La precariedad de medios llevaba consigo la necesidad de manipular piezas de limitadas dimensiones y reducido peso, que se unían en obra por medio de roblones. Todas las vigas de la época estaban formadas por alas constituidas por un conjunto de chapas dispuestas en forma de T con angulares situados en los ángulos rectos de los encuentros.

Chapas y angulares se perforaban regularmente para introducir en la perforación común un pequeño cilindro metálico al rojo que se estampaba contra las piezas que se unían rellenando completamente las perforaciones y produciendo al enfriarse un efecto de apriete, similar al que produce el pretensado, lo que contribuía al rígido ajuste de las piezas unidas y al buen comportamiento del roblón frente a los esfuerzos de cizalladura, de manera que había que disponerlos de forma que la transmisión de esfuerzos se hiciese perpendicularmente al vástago del roblón; se evitaba así que trabajasen a tracción, ya que la permanencia de tensiones internas generadas en el proceso de enfriamiento limitaban su capacidad de transmitir esfuerzos adicionales de tracción y podían ser origen de roturas bruscas e imprevistas. Las alas de los perfiles así formados se

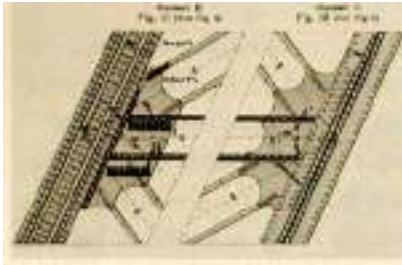
unían mediante chapas y angulares con diversas geometrías, que resultaban de la combinación de piezas inclinadas y verticales. Así resultaban celosías muy variadas con alas formadas por angulares y chapas unidas por roblones y por almas en celosía, que se unían a las alas en nudos complejos en los que la acumulación de piezas y roblones exigía una gran atención al diseñarlos.

Los nudos, a efectos de cálculo, eran considerados como rótulas y así los elementos que confluían en ellos trabajaban supuestamente en compresión o tracción pura. Para que esta grosera aproximación, que conllevaba la necesidad de una cierta ductilidad de los elementos que se reunían en el nudo, fuese aceptable, se consideraba necesario que los ejes de los elementos confluyesen prácticamente en un mismo punto del complejo nudo que en muchas ocasiones resultaba.

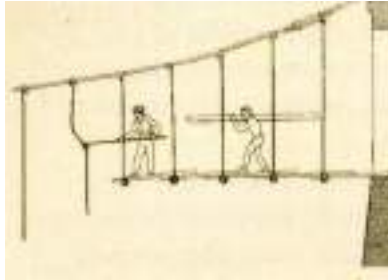
Habiéndose aceptado los nudos como articulaciones, los métodos de cálculo de la estática gráfica desarrollados primero por Cullman y luego por Cremona, resultaban adecuadísimos para determinar los esfuerzos en los elementos que constituían la celosía. El progreso de la resistencia de materiales como disciplina (Clapeyron había desarrollado el teorema de los tres momentos) permitía, además, determinar los esfuerzos en vigas continuas; esto ampliaba la gama de soluciones isostáticas que en una primera y dilatada época monopolizaba las construcciones porque su cálculo era más sencillo y porque, para los conocimientos de la época, eran menos sensibles a los incalculables asientos diferenciales de los cimientos de las obras.

La naturaleza de las piezas que se unían y el uso de roblones para sus uniones, exigía un orden estricto y sistemático en la disposición de los roblones a lo largo de las piezas y una gran atención en la solución de los nudos. La consecuencia era la gran uniformidad de todas las estructuras de la época por variados que fuesen sus usos, una gran transparencia y ese aspecto afiligranado característico que resulta de la cuidadosa utilización de pequeñas piezas ensambladas con un orden meticuloso.

Si los medios de transporte, manipulación y montaje eran realmente



Detalles de estructuras del S. XIX



Equipo de robladores de la torre Eiffel
 Construcción de un puente colgante,
 1823
 Lanzamiento de un puente metálico por
 el sistema "Marcille", 1890

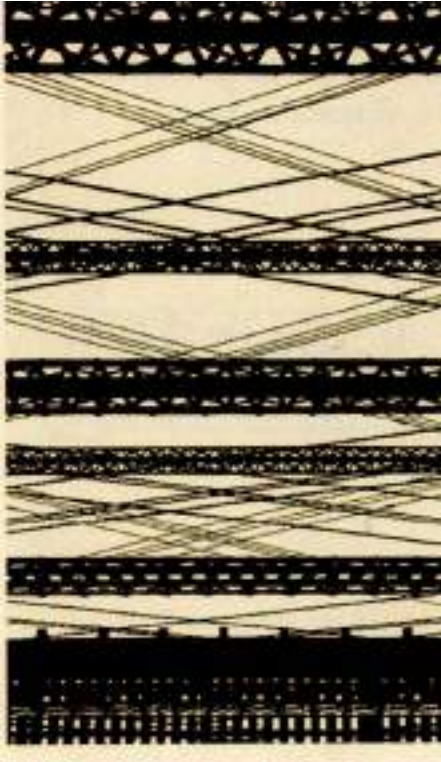
elementales y limitaban las dimensiones de las piezas fundamentales con las que se construían las obras, no había límite en las dimensiones de éstas gracias al ingenio de los sistemas de construcción que se emplearon y que hoy continúan vigentes: las estructuras de la época eran, por un lado, estructuras prefabricadas que, como ya hemos dicho, a partir de un pequeño catálogo de piezas ofrecidas por la siderurgia, permitían construcciones extraordinariamente diversas. La construcción en voladizos sucesivos, la utilización de tirantes provisionales, el desplazamiento de piezas preensambladas por el agua de ríos o dársenas, la utilización de diversos métodos de empuje para llevar a su posición piezas grandes de un puente o el puente en su conjunto, utilizando en ocasiones para ello la tracción animal, son todas imágenes que han quedado registradas y que nos recuerdan el interés y mérito de unos hombres que con escasos recursos hicieron progresar a la humanidad, en muy pocos años, como no había progresado hasta entonces. No hay sistema moderno de construcción que no tenga una referencia precisa y elegante en las construcciones metálicas de la época: los actuales puentes por voladizos, empujados, colgantes y atirantados, nacieron entonces y el tiempo ha confirmado la eficacia de estas tipologías, lo que ha sido esencial para su pervivencia. Lo que hay de aquella época a ésta es un progreso indudable en los materiales: el hierro y el acero disponibles entonces, serían hoy inaceptables. Tenemos, además, nuevos y eficacísimos materiales, como el hormigón estructural, armado y pretensado. Construimos o podemos construir mucho más deprisa, porque disponemos de medios mucho más poderosos. Podemos evaluar mejor el comportamiento de nuestras estructuras y precisar mejor su seguridad y fiabilidad. Podemos, y debemos, hacer estructuras con menor y más fácil mantenimiento. Y contamos con mucha más seguridad en el trabajo: los índices de accidentes, siempre excesivos, se han reducido drásticamente, lo que es ciertamente uno de los mejores elogios que podemos atribuir al progreso.

Pero precisamente la consciencia de las diferencias del entorno en el que se trabajaba entonces y ahora, pone de relieve los prodigios de

que fueron capaces un puñado de hombres que fueron locomotores del progreso técnico y científico en una sociedad en ebullición que propiciaba la acción.

No fue, ciertamente, el afán de lucro el aliciente que empujó a aquellos hombres a la acción que condujo a sus fantásticas realizaciones. De hecho, Torres Quevedo pudo llevar a cabo su obra porque disponía de recursos económicos heredados que le aliviaron de la obligación de preocuparse por su subsistencia y le permitieron tener el privilegio de concentrar sus esfuerzos en la dirección que más atraía a sus anhelos.

Toda la ingeniería del siglo XIX se desarrolló bajo la atmósfera romántica que impregnó la época. La vida y la obra de los científicos e ingenieros que configuraron el progreso son ejemplos de un romanticismo activo y creativo, no del romanticismo contemplativo de tantas novelas de la época, en las que un rasgo común de sus apasionados y sensibles protagonistas era la cantidad de tiempo libre que disponían.

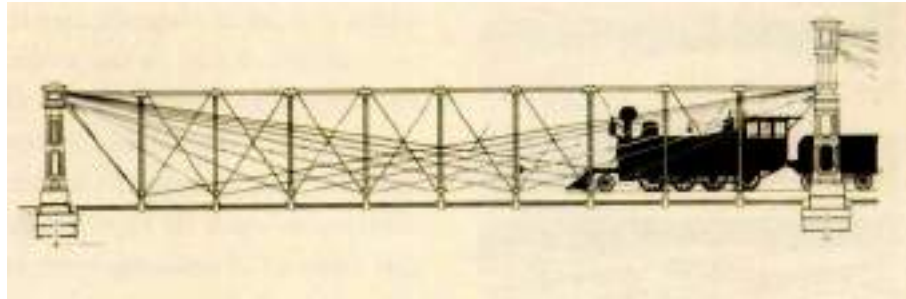


El lenguaje estructural

Es, creo yo, interesante notar, porque suele pasar desapercibido, cómo incluso el lenguaje estructural que nació al tiempo que las nuevas tecnologías de construcción con acero, está impregnado de romanticismo. Porque siendo el hombre el centro y razón de ser del universo, al lenguaje de las estructuras se incorporaron expresiones que las humanizaban. Es interesante, asimismo, percibir algunas diferencias entre las expresiones anglosajonas y las de origen francés. Sin duda en el romanticismo inglés, influido por el puritanismo victoriano, había una mayor contención, mientras los franceses dejaban más libertad a la expresión. En España seguimos la tradición francesa que nos era más próxima. Pongamos algunos ejemplos: las vigas están constituidas por las alas (ailes en francés, pero flanges que no wings en inglés) unidas por el alma (âme en francés, pero web y no soul en inglés). Tenemos vigas de alma Llena y las vigas en celosía que son realmente vigas de alma transparente.

Fotomontaje de celosías metálicas del S. XIX

En castellano, tenemos una bella expresión, la luz de un puente, para denominar la distancia que salva una viga entre apoyos. Con nuestras estructuras volamos de una pila a otra. Nos preocupamos por la fatiga de nuestras estructuras y tratamos de evitar que padezcan inestabilidades locales o generales. A la vibración transversal de almas esbeltas de vigas, que se produce cuando están cargadas, se denomina la respiración del alma. Un índice de la salud de una estructura es, precisamente, cómo evoluciona su respiración en el proceso de carga y descarga. Así, cuando en un puente de ferrocarril con almas esbeltas se aproxima el tren, las vibraciones (la respiración) del alma anuncian su presencia antes de que el tren haya alcanzado el puente. Es entonces cuando la respiración se hace más intensa, y el jadeo de la estructura manifiesta el esfuerzo que está realizando para sostener la carga. Una vez pasado el tren, el alma va dejando de jaderar y la manera con que vuelve a la normalidad es un síntoma de la salud del puente. Hay puentes que por su edad o por defectos de nacimiento, tienen asma, que se manifiesta por su jadeo ruidoso e irregular, que perdura bastante tiempo después de haber desaparecido la causa que lo generó.



Hoy sabemos, por otra parte, que el acero con el que tenemos que construir nuestras estructuras debe ser resistente, dúctil y tenaz, cualidades que, también, son muy deseables para los componentes del género humano. Y sabemos, también, a través del estudio de la inestabilidad estructural y de la estructura atómica de los materiales, cómo en las estructuras igual que en las personas, la

perfección es inalcanzable e indeseable. Que es esencial que las estructuras, como las personas, muestren síntomas de cansancio y avisen con tiempo suficiente de que necesitan ayuda para soportar esfuerzos, evitando el colapso brusco e inesperado, característico de un comportamiento frágil, que es el enemigo número uno de la ingeniería estructural.

Leonardo Torres Quevedo fue, por lo que sabemos de su vida y de su obra, un ingeniero romántico, y el transbordador del Niágara es una obra romántica como lo fueron sus dirigibles (¿no fue volar un sueño romántico?) y muchas de sus invenciones. Él podría haber completado y precisado todas las reflexiones anteriores con comentarios sobre sus trabajos e invenciones, su finalidad, su gestación, la chispa que encendió un rincón de su cerebro con tantas ideas de las que, es fácil suponer, solamente algunas han perdurado.

Su obra, y en particular el transbordador del Niágara, es un hermoso ejemplo de una realización estructural que se apoya en materiales y técnicas desarrolladas a todo lo largo del siglo XIX para resolver un problema singularizado. Pero además de utilizar con elegancia y eficiencia los recursos técnicos de la época, trazas de esta obra, como de tantas otras de entonces, se perciben en realizaciones modernas que han sido, con frecuencia, mucho más difundidas que sus predecesoras.

Volvamos al carro y a la barquilla del transbordador. Comparémosla con la utilizada recientemente para la cubrición del patio de un museo en Hamburgo. El abanico de elementos radiales pretensados rigidizando por compresión el perfil de forma circular que soporta la cubierta es, tanto conceptualmente como en su formalización, muy similar a la solución empleada 75 años antes por Leonardo Torres Quevedo. En el caso alemán, la pretensión de los esbeltos radios del sistema, se asegura por medio de dos cables tensados, anclados a los edificios antiguos entre los que se ha generado el patio cubierto que actúan así a modo de contrapesos y que equivalen a la barquilla del transbordador del Niágara. La cubierta de Hamburgo, galardonada con el premio de la



Cubierta del patio del museo de Historia de Hamburgo. Alemania, 1990

construcción alemana de 1990 y con el premio internacional Mies Van der Rohe del mismo año, ha sido proyectada por el gran ingeniero alemán Jorg Schlaich, que por la variedad, originalidad, rigor y elegancia de su obra, sigue la tradición de una forma de hacer ingeniería, que tiene sus precedentes en el siglo XIX y en los ingenieros de la época.

La curiosa e interesante relación entre estas dos obras, que se pueden considerar menores por su magnitud, aunque no así por el ingenio y elegancia del concepto estructural aplicado, nos lleva a reflexionar sobre otras obras de nuestra época que son, también, deudoras de aquella.

La llamada arquitectura high tech ha acaparado algunas de las realizaciones con más brillo y notoriedad de las últimas décadas. Desde el Centro Pompidou en París, el edificio del Lloyd's en Londres, el Banco de Hong Kong, el centro Renault en Swindon, y muchas otras han puesto a sus autores en la primera página de las publicaciones especializadas y en primera línea de un éxito social y profesional que no deja de asombrar.

El factor común de todas las obras citadas y de las numerosísimas que, en todo o en parte, han seguido el camino por ellas marcado, se caracteriza por la importancia asignada a la estructura, que se muestra explícita en el exterior de las edificaciones para, con una aparente vocación pedagógica, tratar de explicar su razón de ser. La mente humana comprende con más facilidad las ideas que esconden un único concepto y de hecho, cuando se trata de ideas que agrupan varios conceptos interdependientes, el proceso más eficaz para su comprensión consiste en aislar cada uno de ellos y, a partir de ahí, mostrar su relación con todos los demás.

En el dominio de las estructuras, son más fáciles de comprender las que están constituidas por elementos exclusivamente comprimidos y traccionados que aquellas en las que la flexión, el cortante y la torsión, son mecanismos que coexisten para asegurar la transferencia de cargas a través de la estructura.

De manera que otro rasgo característico de la arquitectura high-tech es su afán pedagógico de claridad, para lo que se utilizan



Detalle de la estructura de cubierta.
Museo de Historia de Hamburgo

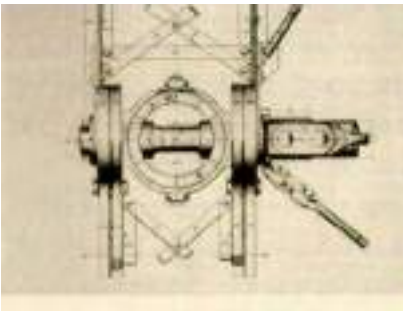
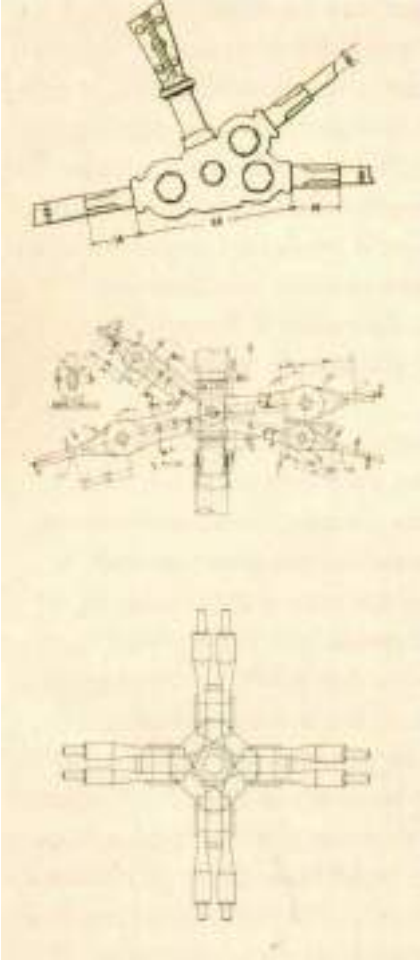
profusamente elementos comprimidos y en tracción, ensamblados a modo de grandes cerchas que al exteriorizarse y no ocupar volumen en el interior de la edificación, pueden tener grandes cantos lo que a su vez, reduce los esfuerzos a transmitir por cada uno de ellos y, por consiguiente, minimiza las secciones transversales necesarias para transmitir los esfuerzos con márgenes de seguridad adecuados. En el caso de los elementos a tracción, la evolución tecnológica nos ha proporcionado aceros de alto límite elástico, que permiten secciones particularmente reducidas. Su mayor deformabilidad queda compensada por el uso de las técnicas de la pretensión, desarrolladas en los años 40.

La esbeltez resultante de los elementos comprimidos y en tracción que conforman la estructura, producen esa impresión de ligereza y transparencia características. La estructura, desmenuzada en elementos comprimidos y traccionados fundamentalmente, se completa con otro elemento esencial que contribuye a crear la imagen de estas construcciones. Los encuentros de las piezas elementales requieren nudos complejos que deben ofrecer espacio adecuado para integrar los extremos de las, con frecuencia, numerosas piezas que confluyen en él; por otro lado deben tener una geometría adecuada para que se favorezca el flujo de tensiones y compresiones de los elementos que alcanzan el nudo, logrando que la seguridad de éste no sea inferior a la del resto de los elementos de la estructura. El diseño de los nudos es, como puede comprenderse, parte esencial y particularmente compleja de estas estructuras. El énfasis, cuando no exhibicionismo, que se percibe en muchos nudos de soluciones emblemáticas, muestra que sus autores comprenden la importancia del nudo, punto de encuentro de tensiones, aunque no siempre parecen comprender su auténtica razón de ser.

Si las soluciones de estructuras constituidas por elementos trabajando a tracción y compresión y con nudos articulados estarán siempre entre las soluciones posibles para resolver muchos problemas estructurales, no cabe duda, sin embargo, de que con frecuencia la arquitectura high tech ha hecho de ellos un uso discutible y ha creado, en todo caso, una falsa imagen de progreso.



La gran noria de Viena



Detalles comparativos de estructuras del S. XIX y XX

Las bellísimas y atrevidas estructuras que se proyectaron y construyeron en el siglo XIX y principios del xx, buscaban resolver un problema con racionalidad, eficacia y economía, y utilizaban para ello los materiales, medios de unión, sistemas de construcción y procedimientos de cálculo disponibles en la época. Las formas resultantes eran la consecuencia de una lógica estructural inapelable y era precisamente esta lógica, la que producía la apariencia de homogeneidad en estructuras sumamente dispares. Como ya se ha dicho, eran estructuras construidas a partir de muy escasos elementos metálicos, ensamblados sistemáticamente con roblones y construidos con sistemas muy imaginativos, compatibles con los limitadísimos medios de la época. Los detalles de nudos eran la prolongación natural de los elementos que incidían en ellos. Los apoyos de las estructuras se resolvían mediante piezas de fundición, porque era lo que podía ofrecer la siderurgia de entonces. Los métodos de la estática gráfica se adecuaban particularmente bien a las tipologías de estructuras con cables y cerchas. Todas las incertidumbres relacionadas con los materiales utilizados, las cargas consideradas, la precisión de los cálculos, eran englobadas en un único coeficiente de seguridad, según los métodos deterministas de la época que se han venido aplicando hasta tiempos recientes.

Si comparamos algunos detalles de nudos de estructuras de entonces con algunos de los que con más frecuencia aparecen fotografiados en la actualidad, percibiremos la similitud de soluciones que se han alcanzado partiendo de situaciones bien diferentes. Porque conviene aquí enfatizar cuáles son las diferencias entre los materiales y tecnologías actuales por comparación a las que estaban disponibles en el siglo XIX.

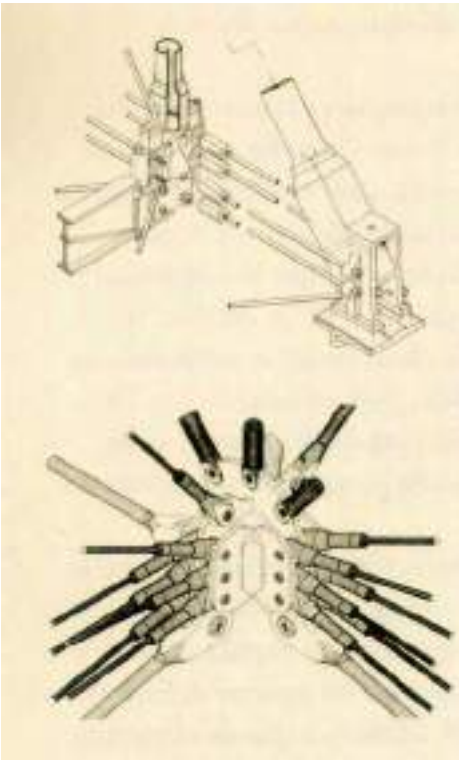
Hoy tenemos aceros de calidad contrastada con la resistencia, ductilidad y tenacidad que reclamamos. Disponemos de una amplísima gama de perfiles laminados y, en particular, de perfiles tubulares inexistentes entonces. Existen técnicas de soldadura fiables, que permiten resolver con limpieza y eficiencia la unión de perfiles, así como conformar secciones muy diversas. Tenemos unos poderosos medios de transporte y montaje de estructura, que

permiten que las piezas fabricadas en taller y transportadas posteriormente sean de dimensiones muy grandes, reduciendo drásticamente la necesidad de uniones en obra. Como corolario, los ritmos de construcción se han acelerado enormemente y la productividad se ha incrementado en similar proporción. Conocemos mejor el comportamiento de las estructuras y tenemos potentes medios para su evaluación. Somos más conscientes, y aún deberemos serlo cada vez más, de la importancia de diseñar estructuras durables. Para ello, debemos comprender las ventajas de la robustez estructural, diseñar tipologías poco susceptibles a danos localizados que, en todo caso, no deben provocar el colapso del conjunto de la estructura. La accesibilidad, para inspección y conservación de la estructura es otra condición que deberíamos tratar de convertir en indispensable.

Se ha progresado mucho en la mitigación de los problemas de corrosión de las estructuras de acero... y de hormigón. Y sabemos que, a este respecto, como al del comportamiento estructural, los nudos y encuentros estructurales son zonas particularmente sensibles. Pero ahora, igual que antes, es objetivo esencial lograr estructuras económicas, que no baratas.

No es ni mucho menos evidente que muchas de las estructuras de la arquitectura high tech hayan siquiera pretendido lograr estructuras económicas y durables; y no lo es tampoco que supongan una muestra de lo que permite hoy el progreso de la técnica. Son, no cabe duda, muy fotogénicas y suelen estar muy bien fotografiadas, lo que seguramente es un objetivo generalmente considerado y que atrae la atención de críticos. Si éstos conociesen a fondo la ingeniería estructural del siglo XIX y el progreso auténtico que se ha producido en este campo, estarían en mejores condiciones de valorar el mérito de estas tendencias de neoclasicismo estructural, que son, por otra parte, símbolos de abundancia de recursos económicos de países en los que la apariencia es un valor económico de primera magnitud.

Todos estamos de acuerdo en el progreso experimentado en la aviación, progreso que se pone claramente de manifiesto observando



Detalles en axonométrica de una estructura del S. XIX. Y una estructura actual



Los primeros aviones
 Avión actual: el Concorde
 Dirigible de Torres Quevedo, 1906

la configuración de los primeros aviones con la estructura vista de perfiles y cables y comparándolo con la estructura de los aviones modernos ¿Tendría sentido reproducir hoy estructuras antiguas? ¿Quién conoce el nombre de quienes han diseñado los aviones modernos? No puede saberse porque son el fruto de un amplísimo colectivo que utiliza lo más avanzado de los conocimientos disponibles y contribuye significativamente a continuar avanzando ¿No contrasta esta situación de la industria aeronáutica con lo que esconde o muestra la tendencia de la pomposamente llamada arquitectura high tech?

Frente a esta tendencia, tenemos el ejemplo de la estructura del transbordador del Niágara. Leonardo Torres Quevedo optimizó los recursos disponibles para crear esta sencilla pero ejemplar obra; en la que su indudable belleza es consecuencia de su rigor; en la que ciertamente la función ha hecho la forma; en la que la honestidad estructural se pone de manifiesto en cada uno de los detalles, así como en la preocupación porque cada elemento de la estructura sea accesible y sustituible, criterios esenciales para su durabilidad. Una obra pensada y controlada para que su coste fuese el menor entre todos los posibles, lo que Torres Quevedo garantizaba asumiendo los riesgos financieros de la iniciativa.

Hay además otro ingenio de Leonardo Torres Quevedo que no se puede dejar de citar en este texto. Sus dirigibles, proyectados y construidos en sucesivas y mejoradas versiones en España, Francia e Inglaterra a principios del siglo y utilizados, con carácter defensivo, en la primera guerra mundial. Un espléndido ejemplo de estructura ligera, plegable, hinchable y con una piel que era lógicamente elemento esencial de la estructura y que, además, volaba. Hoy, ochenta o noventa años después, cuando hablamos de estructuras ligeras, o de estructuras retráctiles, o de estructuras hinchables, o de arquitecturas textiles, estamos refiriéndonos a las estructuras más avanzadas de nuestra época, que tuvieron en los dirigibles de Torres Quevedo un precedente extraordinario, muestra de su imaginación y de su capacidad para hacer realidad sus sueños.

A modo de Epílogo

Este breve recorrido (aunque quizás precipitado), apasionado (nunca bastante) y sin duda controvertido (incluso si no generara controversia) por el entorno de una obra concreta de Leonardo Torres Quevedo, desvela algunas de las influencias que alimentaron su obra y sugiere la influencia que ha tenido o debería haber tenido en el progreso de la ingeniería estructural. Sirve, también, para recordar desde una perspectiva quizás inusual la personalidad fascinante de un hombre romántico, libre, estudioso, emprendedor, culto, curioso, ilustrado, imaginativo, tenaz, honesto, sin fronteras, en paz con su época.

Pero, además, reivindica la figura de Torres Quevedo como ingeniero y como especialista en estructuras. Es tradicional en sus biografías referirse a él como un inventor al que la fortuna le había señalado con el dedo y que, al no tener preocupaciones económicas, pudo aislarse siempre que quiso y concentrarse en la actividad que él amaba: la de inventor de ingenios ajenos a la ingeniería. No es ésta toda la verdad. Leonardo, como hemos visto, tuvo que estar muy bien informado del extraordinario desarrollo de la ingeniería estructural en el siglo XIX. Y la estructura del transbordador del Niágara y la construcción de sus dirigibles manifiestan un conocimiento de materiales y tecnologías que exigen situarlo entre el reducido conjunto de ingenieros que dominaron la ingeniería estructural de aquellos años, herederos de la brillantísima tradición de los ingenieros del siglo XIX.

Por otra parte, Torres Quevedo fue uno de esos espíritus libres capaz de mostrar la existencia de otros caminos de desarrollo profesional además del tradicional y propio de los ingenieros de caminos, consistente en trabajar al servicio de la Administración del Estado. Hoy, cuando observamos la variedad de actividades en las que participamos los ingenieros de caminos, podemos sentir que, también a este respecto, Torres Quevedo fue un pionero descubridor de otras formas de ser ingeniero: utilizando el ingenio e inventando ingenios, seguramente por ese afán de ser socialmente

útil, que debe ser el anhelo de los ingenieros que nos dedicamos a las obras públicas.

Cabe preguntarse cuáles hubiesen sido los logros de ingenieros como Betancourt, Alzola, del Valle, Torres Quevedo, Ribera, de la Cierva y tantos otros, si hubiesen habitado en aquellos países que fueron locomotoras del progreso y en los que existieron unas enormes oportunidades y un entorno propicio para llevarlos a cabo. Ciertamente, Betancourt no hubiese sido ministro de obras públicas en Rusia y, quizás, Torres Quevedo hubiese orientado muchos de sus esfuerzos a realizar obras públicas emblemáticas, dignas de las realizadas por los genios de la época, que hubiesen hecho realmente avanzar nuestro país.

Por último, cabe preguntarse también, repasando mentalmente sus obras, cómo es posible que los ingenieros de entonces fuesen capaces de abordar problemas tan diversos que requerían conocimientos tan variados. Hoy sería prácticamente imposible. Es tal el cúmulo de conocimientos necesarios para abordar cualquier rama de la ingeniería, que en toda una vida profesional no hay tiempo para ello. Cada día nos llegan avalanchas de información indiscriminada y, entre ellas, probablemente datos y conocimientos que no percibimos y que deberíamos incorporar a nuestro bagaje profesional. Hemos evolucionado del ingeniero generalista hacia el ingeniero especialista, lo que es un gran riesgo. Porque ciertamente toda especialización es una deformación, y para luchar contra ella tenemos que ser capaces de sintetizar conocimientos que comprendamos de verdad. Sólo así podremos utilizarlos e integrarlos en un marco mucho más amplio, que ellos contribuyen a crear y podemos, quizás sobre todo, transmitirlos a las nuevas generaciones. Hay que fomentar la curiosidad y encontrar tiempo para alimentarla, sabiendo que los únicos conocimientos que no utilizan los ingenieros, y cualquier persona, son los que no tienen. Todos los demás, consciente o inconscientemente, se utilizan y enriquecen, al situar en un contexto más general, nuestro trabajo especializado. Es posible que, a la vista del indigerible cúmulo de información

que disponemos, estemos evolucionado hacia el concepto de conocimiento compartido por un colectivo de profesionales organizados que, colectivamente, reúnen lo esencial de los conocimientos disponibles y son capaces de integrarlos en un trabajo común. Quizás, cuando creamos organizaciones que permiten disponer y utilizar estos conocimientos compartidos, estamos tratando de ser como fueron aquellos hombres, aquellos ingenieros, con conocimientos tan variados y tan profundos, adquiridos porque sin duda su ética profesional se lo exigía . Lo que no deja de ser otro motivo de reflexión que brota al final de este texto, que es amalgama de ideas y hechos que ojalá haya resultado estimulante para quien haya tenido la curiosidad de comenzar a leerlo y la perseverancia para haber alcanzado este punto final.

JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA

AERIAL CABLEWAY AT NIAGARA FALLS, ONT.

TORRES SYSTEM OF CONSTANT TENSION MULTIPLE CABLES FOR TAKING TOURISTS ON THRILLING TRIP OVER THE WHIRLPOOL—SECOND CABLEWAY OF ITS KIND IN THE WORLD AND ONLY ONE IN AMERICA.

AN aerial cableway 1,800 ft. long, for transporting passengers across the Whirlpool, has been almost completed at Niagara Falls, Ont. It is the longest, and probably the safest, aerial scenic tramway in the world, and the features of its design and erection include points of engineering interest.

Guide books of Niagara Falls say that the Whirlpool seems to be a "maelstrom, a vortex of water, swirling in gradually narrowing circles to a depressed centre. Instead, the force of the water pouring into the basin, raises it in the middle to a distance of 3 ft. above the outer surface. The Whirlpool is the natural result of the mighty body of water rushing into a confined space and seeking an outlet. Bodies, driftwood, everything, in fact, that goes over the Falls must eventually find its way to the Whirlpool, where, after circling for days, perhaps, it is either thrown out upon the bank or carried by the outlet to Lake Ontario."

The Whirlpool, of which a general view is shown in Fig. 1, is about three miles below the Falls, and is almost entirely within the Province of Ontario. The cliff that encloses it is a part of the river bank on the Canadian side, so that both ends of the cableway are in Ontario, as shown in Fig. 2. But the boundary line between New York State and Ontario forms an acute angle which is intersected by the cableway about 60 ft. within the apex. The cableway, therefore, crosses a small portion of New York State. As the bed of the river is owned by the state, and the water by the federal government, the promoters had to secure permission from Washington and Albany, after they had the sanction of the Province of Ontario and of the Victoria Park Commission of Niagara Falls.

The design of the anchorages was governed largely by the fact that the cableway was not allowed to cross the tracks of the Niagara Belt Line Railway, and by the proper order of the park commission that the appearance of the cliffs on neither side of the Whirlpool must be altered, and that no towers or structures of any kind could



Fig. 1.—The Whirlpool, Niagara Falls, Ont. Thompson's Point Across the Water, New York State at Right. Photo Taken from Colt's Point.

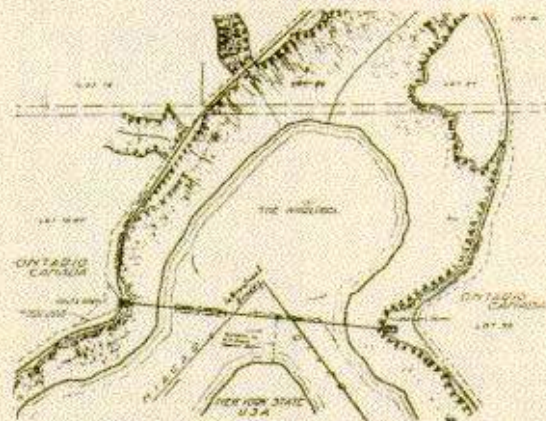


Fig. 2.—Plan of the Whirlpool and Cableway.

rise above the level of the tracks of the railway which runs along the cliff.

The design of the cableway is based upon Spanish patents, and the enterprise has been financed entirely by capitalists in Spain. The company, which has been incorporated in Canada, is called The Niagara Spanish Aerocar Co., Limited, and has issued \$110,000 capital stock, \$30,000 of which was granted, for patent rights, to the Society Estudios Y Obras de Ingenieria, of Bilbao, Spain, of which Pedro Chalraud is president. The system is the invention of Torres y Quevedo, an engineer who has gained considerable European fame in aeronautics. His son, Gonzalo Torres y Polanco, C.E., is chief engineer and vice-president of the Canadian company, of which Antonio Balzola is president and secretary treasurer.

The Torres principle had been applied previously in Canada and the United States to single cables for industrial purposes, but not to multiple cables for passenger traffic.

The cost of the Niagara project was nearly \$60,000 for labor and materials alone, being exclusive of the cost of engineering and other expenses, and exclusive also of the loading platforms and car, both of which were built in Spain. It is stated, however, that unfamiliarity with local conditions, and the fact that this is the first cableway of its kind in America—and therefore met with greater opposition from the authorities than would be the case again

—account for about a quarter of the expenditure, and that the enterprise could be duplicated for \$45,000.

The passenger car is suspended from a running gear which travels on six parallel carrying, or track, cables, each of which is fastened securely at Colt's Point (see

ponents of the forces acting along them are always equivalent to the weight of the car and its load. This is disregarding the variations of tension due to the inertia of the stretchers, but they are negligible.

The track cables are 1-in. crucible steel rope, made up of seven round strands, surrounded by 16 locked coil strands. As these are too stiff to bend over the sheaves at Thompson's Point, each one is fastened, by a standard socket, 10 ft. in front of the sheave, to a 1 1/2-in. Monitor plow-steel cable, made up of six strands of 19 wires each, and these latter cables are bent over the sheaves and fastened to the counterweight boxes.

At Colt's Point each track cable is fastened, by a standard threaded clevis and socket, to a 2-in. rod. These six rods are bent around a concrete block weighing 741 tons, which is built into the face of the cliff, and are fastened securely at the bottom of pits which are left open to permit of inspection at any time

of the nuts, washers, etc. The detail of the anchorage of these rods is shown in Figs. 4 and 9. Fig. 3 shows the concrete block.

It will be seen that each track cable is entirely independent of the others. The breaking of any one of them would not be serious, as the other cables would support all the weight of the car without any increase in their tension. The car would drop several feet suddenly, and,

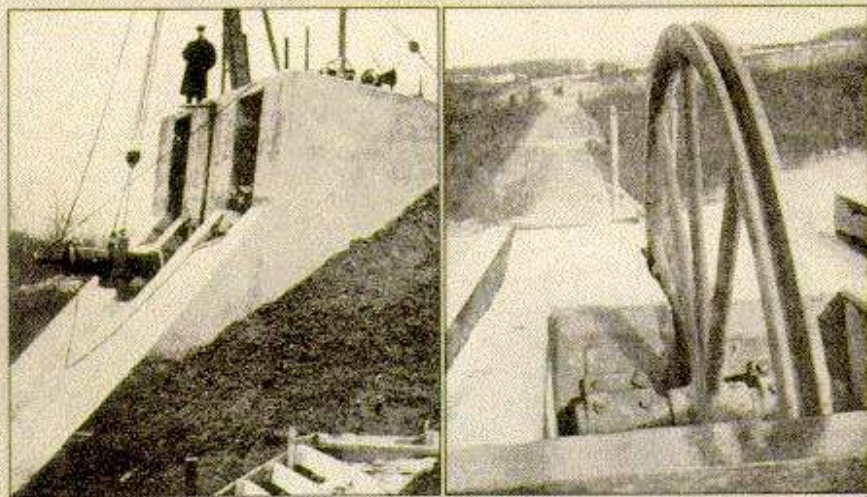


Fig. 3.—Views of Colt's Point Anchorage. At Left, the Concrete Block Before Erection of Sheave. Automatic Stop Hanging from Block and Tackle. At Right, the Traction Sheave in Place.

Fig. 2). At the other terminus, Thompson's Point, each track cable passes over a grooved sheave and is fastened to a counterweight or stretcher. These six counterweights are boxes 12 ft. high x 6 ft. 7 in. wide x 11 in. deep, made of riveted steel. Each box contains four cast iron pieces of 195 lbs. each and 200 pieces of 90 lbs. each, making a total load of 18,780 lbs., which, with the weight of the box itself, makes a 10-ton counterweight for each track cable. The detail of these boxes is shown in Fig. 12.

The boxes move up and down freely in steel guides, the details of which are shown in Fig. 10. A sudden load thrown onto the track cables would cause the boxes to rise and the cable span to sag, but the tension in each cable is always 10 tons, regardless of the load on the track cables; that is, regardless of the load on the passenger car. In other words, the tension in the track cables depends solely upon the counterweights and not at all upon the weight of passengers borne by the car. When the load on the car is increased, the counterweights rise and the sag in the cables is increased, the cables taking such an angle that the vertical com-

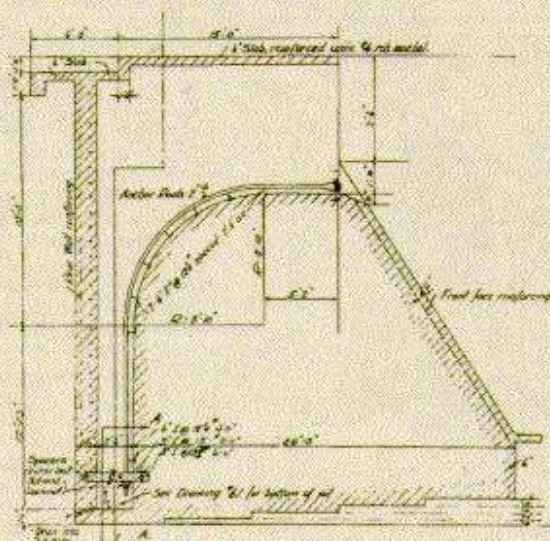
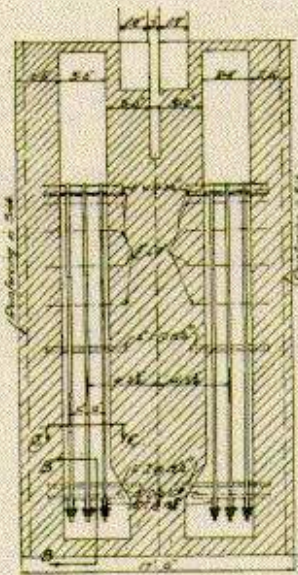


Fig. 4.—Section Through Inspection Pit.



Section I-1.

after a few vertical oscillations, would assume a new position of equilibrium.

Thus, the breaking of one cable does not imperil the passengers, and the breaking of two cables at the same time would be nearly as improbable as the simultaneous breaking of two cables belonging to totally separate installations.

The simplicity and safety of this system lie in the fact that each cable is put into fixed tension from the start of operations, that this tension never varies, that the resistance of the cables can be verified at any time by increasing the load on the weight boxes, that if any cable or fastening is faulty it will probably break when heavily weighted for trial or inspection trips, and that if a cable does break practically no extra strain is put upon the other cables.

These facts make possible safe transportation for considerable distances, and the engineers of the company are now contemplating a mountainous installation with two spans each over a mile long. The only previous installation of this system is at San Sebastian, Spain, for transport of tourists across a gorge, from a trolley terminus to an otherwise inaccessible view-place and casino overlooking the Bay of Biscay. The span there is 919 ft. with a rise of 92 ft. It has been in successful operation for six years, carrying as many as 26,000 passengers in a single season.

The car at San Sebastian holds only 14 passengers, all standing, but the car built for Niagara provides seats for 24 passengers, and standing room, in a raised aisle in the centre of the car, for 21 more, besides the conductor. The weight of the car empty is $3\frac{1}{2}$ tons, fully loaded 7 tons. It is 10 ft. 10 in. wide, 24 ft. long and 23 ft. high. It was manufactured complete in Spain, and assembled here. Fig. 7 shows the car erected on the roof of the Thompson's Point station, and carrying the test load in the form of 223 cast iron weights of 90 lbs. each, or three times its maximum passenger load. Fig. 8 shows the design of

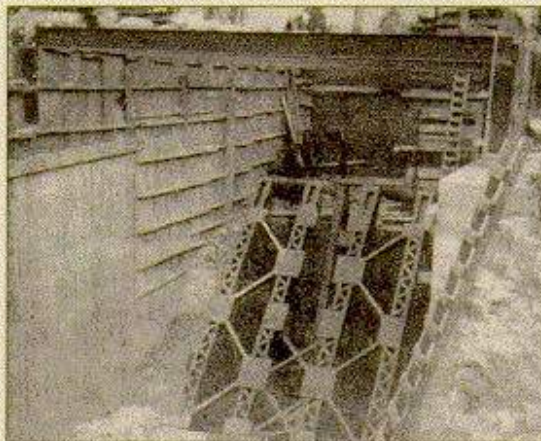


Fig. 5.—Track Sheave Towers in Place. Shaft Seen Behind Top of Tower Carries Driving Sheave in Centre. Worm Gear at Right, Relief Drum at Left.

the car. It will be noticed that should a track cable break at a point just above the car, it would most probably drop without hitting the passengers, as the carrying wheels extend beyond the basket. Besides, the frame work above the basket protects the passengers.

The car is propelled by a $\frac{7}{8}$ -in. 6 x 19 plow-steel traction cable, fastened to one end of the car. This cable passes over a sheave (see Fig. 3) on Colt's Point, runs back across the Whirlpool, over a sheave in front of the Thompson's Point station, and to the driving sheave.



Fig. 6.—Heavy Rock Excavation at Thompson's Point. Inset Shows Method of Handling Blasted Rock.

From here it passes around three sheaves, to one of which is fastened a 10-ton counterweight box, arranged in guides similarly to the track cable counterweights, and this creates a tension in the cable which adjusts any slack caused by the rising and falling of the car. After passing around another groove in the driving sheave, the traction cable passes out to the other end of the car.

The 8-ft. driving sheave is turned by a 75-h.p., 3-phase, 440-volt, 480 r.p.m. Westinghouse motor, through a 30 to 1 Hindley worm gear, giving a speed to the car of about 400 ft. per minute when the controller is at full speed. The trip can be made in about $4\frac{1}{2}$ minutes, but it is planned to permit it to occupy six minutes by running at half speed part of the time.

To provide against breakdown of the motor, or interruption in the power supply, there is a clutch in the driving shaft by means of which the motor can be disengaged, and a 5-h.p. Gray gasoline engine engaged both through a worm gear and through sprocket wheels. The speed at which the gasoline engine would haul in the car would be very slow, but it would be ample to meet the emergency.

If the traction cable were to break during a trip, the car would oscillate backwards and forwards along the track cables until it would come gently to rest at the lowest point of the sag of the cable, which would be about the centre of the span, as the two terminals are nearly at the same height, one being 249.5 ft. above the river level, and the other, 246.5 ft. To bring the car back to Thompson's Point in such an emergency, a relief car and a relief traction cable are available. Attached to the driving sheave shaft, and running idle ordinarily, there is a drum on which a $\frac{1}{2}$ -inch wire rope is coiled, with one end fastened permanently to the drum. After the breaking of the traction cable, the free end of the relief cable would be fastened to the relief car, a light basket which holds one man and which hangs from pulleys that can be readily thrown over two of the track cables. The driving sheave would then be reversed slowly, paying out the relief cable until the man reaches the car. After the relief

cable is fastened to the car by chains provided for the purpose, the driving sheave would haul the car back to Thompson's Point.

One thousand cubic yards of earth and 2,500 cu. yds. of rock were excavated for the two stations. The rock excavation is shown in Figs. 6 and 11. Six Ingersoll-Rand steam rock drills were used, working two drills



Fig. 7.—Car Erected on Roof of Thompson's Point Station, Ready for Test.

on a quarry-bar for the line drilling, as shown in Fig. 11. Rack-A-Rock explosive was used with excellent results. Colt's Point anchorage was built first, and then the construction plant was taken to Thompson's Point for the larger work. A 3:2:4 mixture was specified for the most important concrete. Canada cement and Queenston crushed stone were used. The reinforcing steel was supplied by the Trussed Concrete Steel Co. and the structural steel by McGregor & McIntyre, Limited.

The station at Thompson's Point is cut out of the solid rock and lined with concrete and buff tapestry brick. Two flights of concrete steps provide entrance to and exit from the landing platform. The station is 29 ft. 2 in. high, 66 ft. long and 37 ft. 9 in. wide over all. The roof is a 6-in. concrete slab, reinforced with rib metal, on 15-in. I-beams, placed at 5 ft. 4 in. centres. As the roof of this station is level with the ground, and makes a platform from which spectators can watch the operation of the car, it is guarded on the cliff side by a 42-in. wrought iron fence, bolted to the flange of one of the I-beams. The floor is 3 in. concrete, and the front of the station is an 18 in. rubble wall, built to match the face of the cliff. A 12 ft. x 19 1/4 ft. opening gives access to the landing platform. The footings for the track sheave towers and for the traction sheave tower are concrete. The towers are steel. (See Fig. 5.)

At the opening of the station a horizontal steel platform, 9 ft. 10 in. long by the full width of the opening, is hinged. At the outer edge of this short platform there is hinged another platform, 38 ft. long, extending over the edge of the cliff. The latter platform is suspended from the track cables by wire ropes and pulleys at the outer corners and at the hinged corners, each rope being fastened to three pulleys, one on each of three track cables. All four ropes are of the same length, so that the long platform always hangs parallel to the track cables, whatever inclination the latter may take; the four ropes are of such length that the platform clears the bottom of the car by 6 in.; therefore, the car always comes right onto the platform. The platforms are guarded at the sides by railings.

At Colt's Point a similar landing extends from the foot of the anchorage, and two flights of concrete steps lead up to the ground level.

An automatic control stop is provided at each terminus which stops the car without jar within 3 ft. 4 in. The stop can be seen extending from the face of the

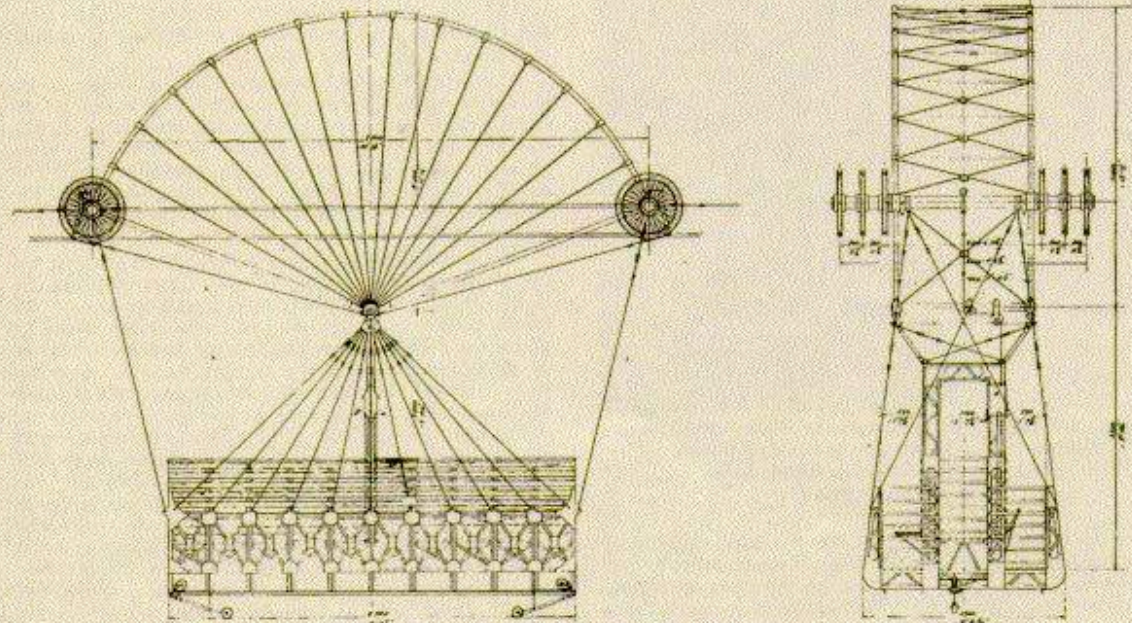


Fig. 8.—General Plan of the Spanish Aero Car.

concrete block in Fig. 3. The traction cable runs longitudinally through the 5-in. pneumatic cylinder and through the centre of the piston. A clamp on the traction cable, just ahead of the car, strikes the face of the piston, and also engages with it in such manner that the car cannot slip back from the landing platform.

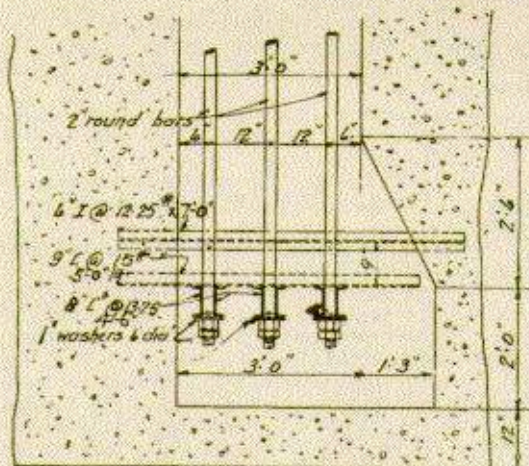


Fig. 9.—Detail of Pit Anchorage.

There are gates at both ends of the car, operated by the conductor by means of a crank, and these gates cannot open until the clamp has engaged with the stop piston, releasing a ratchet under the car. Even then, only the right gates can be opened; that is, the gates at the end

of the car where the clamp has engaged. When the car starts, the clamp is disengaged by another crank, but this cannot be done until the gates are shut. This



Fig. 11.—Rock Excavation for Counterweight Pit. Inset Shows Drills on Quarry Shaft.

is contrived by interlocking discs, enclosed in a locked box on the car. The pneumatic cylinder is supported by a counterweight, so that its weight does not rest on the traction cable.

There are two limit switches at each terminus. The first is always struck by the floor of the car, and affects the controller, so that the power is turned off and cannot be turned on again in the same direction and so jam the car against the station. The second limit switch is hit only when the first fails to operate, and when the motorman fails to turn off the controller, and when the pneumatic cylinder does not bring the car to a stop. This second limit switch acts directly upon the circuit-breaker, bringing the car to rest within 3 ft., and without letting it come within dangerous distance of the station.

After the traction and track towers and sheaves had been erected, a very long rope was carried around the face of the cliff from Thompson's Point to Colt's Point. This rope was then hoisted over the tops of the trees until it could be pulled taut from Point to Point. A $\frac{1}{2}$ -inch wire rope was pulled across with the aid of a hoisting engine, and then the $\frac{3}{8}$ -in. traction cable was pulled into place. The traction cable was used to haul the track cables across.

The strength of the track cables is 92,000 lbs. each, allowing for bending over sheaves, and the working tension is 20,000 lbs., so the factor of safety is 4.6. The cables were supplied by the American Steel and Wire Co.

The maximum torque of the motor is 2.5 times the torque required to haul the car when fully loaded.

The maximum pull on the traction cable idler at Colt's Point is 28,000 lbs. The pull on each of the six

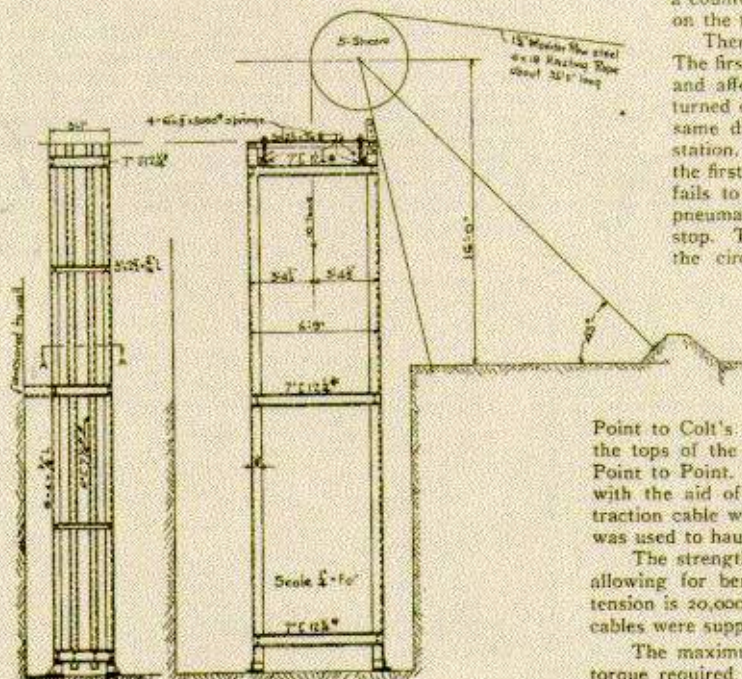


Fig. 10.—Detail of Guides for Track Cable Weight Boxes.

carrying cables is 20,000 lbs. The earth pressure is 68,300 lbs. The moment of the overturning forces about the toe of the anchorage is, therefore, $28,000 \times 28.5$ ft. + $20,000 \times 21.5$ ft. + $68,300 \times 20$ ft., equals 4,744,000 ft. lbs. The weight of the concrete is 1,481,800 lbs., and the resisting moment is $1,481,800 \times 16.9$ ft., equals 25,042,420 ft. lbs. There is, therefore, a factor of safety

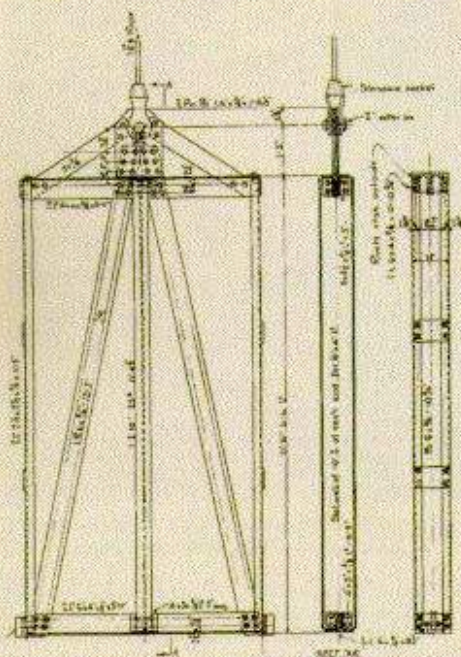


Fig. 12.—Detail of 10-ton Weight Box for Track Cable.

of over 5 in respect to the overturning of this anchorage. There is a factor of safety of about 8 at Thompson's Point.

For any position of the car, the tension in the lower traction cable between the car and the transmission sheave equals half the counterweight, or 10,000 lbs., neglecting friction of counterweight and sheaves. The

tension in the remaining part of the traction cable depends on the position of the car, varying from 6,000 lbs. when the car is at Thompson's Point to 14,000 lbs. when the car is at Colt's Point. The traction cable has a strength of 70,000 lbs., so this allows a factor of safety of more than 4, after deducting from strength of cable for bending over sheaves.

The sag of the track cables unloaded is 47.6 ft. The maximum sag when loaded with car and passengers is 100.1 ft. The car will still be 148 ft. above the surface of the water at the point of maximum sag.

The maximum vertical travel of the track weight boxes, allowing for change in length of cables due to 1.25° variation in temperature, and due to difference in deflections, is 11 ft. 2 in. The possible vertical travel is about 19 ft., thus providing for oscillations due to breaks of cable.

The maximum vertical travel of the traction cable counterweight is 8 ft. 8 in. The possible travel is 13 ft.

The grade of the track cables varies from 16 per cent. at either landing to 0.0 per cent. at the centre of span. The maximum grade, therefore, is 16 per cent., and the average grade about 8 per cent.

Work was started July 12, 1915. All cables are now erected and the car is being put in place ready for the trial trip, which will be made with the test load of 10 tons. The cableway will be ready for regular traffic within a few weeks. The amount of the fare to be charged passengers has not yet been decided upon. The park commission collects an annual rental which increases with the number of passengers carried, besides a minimum rental of \$3,500 a year.

The general contractors for the complete installation were Norman McLeod, Limited, Toronto, on a cost plus percentage basis. The superintendent in charge of construction was Lewis S. Roy. J. E. Taylor was resident engineer, representing Wright & Howard, consulting engineers, Toronto, who were employed by the Spanish company to adapt their design to local conditions, and who prepared the plans and supervised the construction. The work is to be to the satisfaction of the Hon. F. G. Macdormid, minister of public works of the province, who entrusted direct supervision to Geo. Hogarth, A.M. Can. Soc. C.E., assistant engineer of his department.

To all of the above mentioned firms and individuals, *The Canadian Engineer* is indebted for the information in this article.

*El Transbordador Funicular sobre las Cataratas del Niágara, Ontario **

Sistema Torres Quevedo de cables múltiples con tensión constante para excursiones sobre el Whirlpool. Segundo transbordador de esta clase construido en el mundo y el único que existe en América.

Está a punto de terminarse un transbordador funicular, de 550 metros de longitud, destinado al transporte de viajeros por encima del Whirlpool en las Cataratas del Niágara (Ontario). Es el transbordador más largo y, probablemente, el más seguro del mundo; es muy interesante, además, desde un punto de vista técnico, tanto por su diseño como por su construcción.

Las guías de las Cataratas del Niágara dicen que el Whirlpool parece un maelstrom¹, un remolino de agua que gira en trayectorias circulares, cuyo diámetro decrece progresivamente hacia una depresión central. Por el contrario, la fuerza del agua que entra en el cuenco del Whirlpool produce una sobreelevación en el mismo centro hasta aproximadamente un metro sobre el nivel de la superficie de la periferia. El Whirlpool es el resultado natural producido por una enorme masa de agua que, arrojada en un espacio relativamente pequeño, busca una salida. Cualquier cuerpo que cae por las Cataratas va a parar al Whirlpool, donde puede estar girando durante días antes de ser depositado en las orillas o verse arrastrado al lago Ontario.

El Whirlpool, cuya vista general se muestra en la figura 1, está situado casi en su totalidad dentro de la provincia de Ontario, unos 5 km aguas abajo de las Cataratas. El acantilado que lo rodea forma la orilla del río en la parte canadiense, con lo que ambos extremos del transbordador se encuentran en Ontario (ver figura 2). Sin embargo, el límite entre esta Provincia y el Estado de Nueva York forma un ángulo muy agudo que los cables cruzan a unos 20 metros del

* Traducción del artículo publicado en la revista *The Canadian Engineer*, 20 de enero de 1916

¹ Remolino característico de las costas suecas

vértice, de forma que atraviesan, por tanto, una pequeña parte del Estado de Nueva York. Como el cauce del río pertenece al Estado y el agua al Gobierno Federal, los promotores han tenido que obtener en Washington y en Albany² las autorizaciones correspondientes, después de conseguidas las de la provincia de Ontario y de la Junta del Parque Victoria de las Cataratas del Niágara.

El diseño de los anclajes estaba condicionado, principalmente, por la prohibición de cruzar las vías del ferrocarril Niagara Belt; además, la Junta del Parque no consentía que en manera alguna se alterara el aspecto de los acantilados que limitan el Whirlpool, ni que se levantaran torres o estructuras cuya coronación quedara más alta que las vías del ferrocarril que bordea el acantilado.

El proyecto del transbordador está basado en patentes españolas y el capital necesario para la construcción es exclusivamente español. La sociedad, que se constituyó en Canadá con el nombre de The Niagara Spanish Aerocar Co. Limited, emitió un capital de 110.000 dólares, de los cuales 30.000 representan los derechos de patente abonados a la Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería de Bilbao (España), y de la cual es presidente D. Pedro Chalbaud. El sistema del transbordador ha sido ideado por el ingeniero español Sr. Torres Quevedo, de gran reputación en Europa por sus trabajos en aeronáutica. Su hijo, D. Gonzalo Torres y Polanco, ingeniero de caminos, es el ingeniero jefe y vicepresidente de la Compañía canadiense, de la que es presidente-tesorero D. Antonio Balzola.

El principio del sistema Torres Quevedo ha sido utilizado con anterioridad en Canadá y Estados Unidos, pero con un único cable y sólo para aplicaciones industriales, nunca con varios cables y para transporte de viajeros.

El coste de las obras proyectadas se evaluó en unos 60.000 dólares para materiales y mano de obra, suma a la que habría que agregar el gasto correspondiente a la ingeniería y otros desembolsos, así como las plataformas de acceso y la barquilla, que fueron construidas en España. Sin embargo, cierto desconocimiento de las circunstancias locales por parte de los promotores y el hecho de ser el primer transbordador de este tipo en América (las autoridades han sido algo

² Capital federal y del Estado de Nueva York respectivamente

más exigentes en formalidades legales de lo que probablemente lo serán en el futuro), dieron por resultado que los gastos aumentaran en un 25 por 100 y que el capital hubiera de ampliarse en 45.000 dólares.

La barquilla para los viajeros va suspendida de un carro que rueda sobre seis cables portadores paralelos que constituyen la vía, cada uno de los cuales está firmemente anclado en Colt's Point (figura 2). En el otro extremo, Thompson's Point, los cables pasan por unas poleas y soportan un contrapeso final. Los seis contrapesos son cajas construidas con chapas de acero roblonadas, de 3,65 metros de altura, 2,00 metros de anchura y 0,28 metros de profundidad. En el interior de cada caja hay cuatro bloques de hierro fundido, que pesan 88,5 kg cada uno, y otros 200 de 40,1 kg cada uno; el peso combinado se acerca a 8.400 kg que, con la caja, genera un contrapeso total de 10.000 kg por cable. La figura 12 presenta los detalles de estas cajas.

El movimiento vertical de las cajas está dirigido por guías de acero (figura 10). Cuando la carga ejercida sobre los cables portadores aumenta, se elevan los contrapesos y aumenta la flecha del cable, pero la tensión permanece constante e igual a 10 toneladas cualquiera que sea la carga aplicada, es decir, independientemente del peso soportado por la barquilla. La tensión en los cables depende exclusivamente de los contrapesos y no del peso de los pasajeros que lleva la barquilla. Si esta carga aumenta, las cajas se elevan y la flecha de los cables crece hasta que la componente vertical de la tensión en los mismos sea igual al peso del carro más el de la barquilla con los viajeros. En estas consideraciones, se prescinde de las variaciones de tensión debidas a la inercia de los tensores, que resultan despreciables.

Los cables portadores son de acero protegidos, de 25 milímetros de diámetro, y están constituidos por siete cordones rodeados por 16 cordones montados en espiral. Por tener demasiada rigidez para arrollarse sobre las poleas en Thompson's Point, a unos 3 metros de éstas, cada cable está conectado por medio de un manguito estándar (figura 3) a un cable de 32 milímetros de diámetro de acero más flexible tipo «Monitor», constituido por seis cordones de 19 alambres

cada uno; estos últimos cables son los que pasan por las poleas y sostienen los contrapesos.

En Colt's Point, los cables se conectan a barras de 50 mm de diámetro por medio de manguitos roscados estándar tipo «cleris and socket». Las seis barras se curvan alrededor de un bloque de hormigón (figura 4) que pesa 750 toneladas, construido dentro del acantilado: las barras están firmemente ancladas en el fondo de pozos registrables para facilitar en todo momento la inspección de tuercas, tornillos, etc. (figura 9).

Cada cable portador es completamente independiente de los restantes. La rotura de uno de ellos no tiene gran importancia, ya que los demás cables soportarían al carro y a la barquilla sin aumentar su tensión. El conjunto de carro y barquilla descendería bruscamente una pequeña altura, del orden de un metro y, después de algunas oscilaciones verticales, adoptaría una nueva posición de equilibrio. La rotura de un cable portador no constituye, por lo tanto, peligro alguno para los viajeros; y la de dos al mismo tiempo es casi tan poco probable como la rotura simultánea de dos cables pertenecientes a instalaciones completamente independientes.

La sencillez y seguridad de este sistema estriba en que los cables portadores trabajan siempre a la misma tensión. En cualquier momento es posible comprobar la resistencia de dichos cables sin más que aumentar los contrapesos: si alguno de los cables o de los empalmes es defectuoso, probablemente se romperá al comprobar su resistencia aumentando los contrapesos; y si un cable se rompe, no aumenta la tensión de los demás.

Lo expuesto en las líneas que anteceden demuestra la posibilidad de efectuar un transporte seguro a distancias considerables; de hecho, los ingenieros de la compañía tienen actualmente en estudio una instalación de montaña con dos tramos de más de 1.600 metros de longitud cada uno. La primera instalación de un transbordador funicular con este sistema se ha realizado en San Sebastián: se trata de un transbordador para turistas que cruza a través de un barranco hasta un casino y un mirador sobre el Cantábrico, que de otro modo serían inaccesibles. Su longitud es de 280 metros y la altura sobre el

fondo del barranco de 28 metros. Lleva seis años en explotación, y ha llegado a transportar hasta 26.000 personas en un solo verano.

La barquilla de San Sebastián puede transportar 14 viajeros de pie, mientras que la del Niágara podrá llevar 24 sentados y 21 ó más de pie en un pasillo elevado en el centro de la barquilla, además del conductor. El peso de la barquilla vacía es de 3.500 kg, y de 7.000 kg, cuando va completa. Tiene 6 metros de longitud, 3 metros de anchura y 6 metros de altura. Ha sido construida en España y montada en Canadá. La figura 7 muestra la barquilla en la estación de Thompson's Point, con la carga de prueba constituida por 223 lingotes de hierro fundido con 40 kg de peso cada uno, equivalente al triple de la máxima carga de pasajeros. La figura 8 presenta el diseño de la barquilla. Se observará que, si uno de los cables portadores se rompiera sobre la barquilla, caería sin afectar a los viajeros por ser mayor la distancia entre los ejes de las ruedas que la longitud de aquella. Además, la armadura metálica constituye una defensa adicional.

A uno de los extremos del carro se une el cable de tracción, que es un cable de 6x19 mas flexible de 22 milímetros de diámetro. Este cable pasa por una polea en Colt's Point, y vuelve por encima del Whirlpool hasta la estación de Thompson's Point donde, tras pasar por una polea, se arrolla en la polea motriz. Desde allí rodea otras tres poleas, de una de las cuales pende un contrapeso de 10 toneladas guiado de forma análoga a la de los contrapesos de los cables portadores. Este contrapeso tiene por objeto crear una tensión en el cable de tracción que compense el efecto de los ascensos y descensos del carro. Después de pasar por otra acanaladura de la polea motriz, el cable de tracción se une al otro extremo del carro.

La polea motriz tiene 2,45 metros de diámetro y está impulsada por un motor trifásico Westinghouse de 75 caballos, 440 voltios y 480 revoluciones por minuto. Un tornillo sin fin, tipo Hindley, reduce este régimen de 30 a 1, lo que da a la barquilla una velocidad máxima de 120 metros por minuto. El viaje podrá hacerse en cuatro minutos y medio; pero está previsto hacerlo en seis, realizando parte del recorrido a una velocidad mitad de la máxima.

En caso de avería del motor o pérdida del suministro eléctrico, hay un embrague en el eje que permite aislar el motor. Hecho esto, se activaría un motor de gasolina de 5 caballos, tipo Gray, conectado a través de un tornillo sin fin y engranajes. Este motor recuperaría la barquilla muy lentamente, pero con velocidad suficiente para hacer frente a esta emergencia.

Si durante un viaje se rompiera el cable de tracción, el carro oscilaría longitudinalmente en uno y otro sentido sobre los cables portadores hasta detenerse suavemente en el punto más bajo de éstos. Este corresponde aproximadamente al centro de la luz, puesto que los dos apoyos están casi a la misma altura, uno a 76,05 metros y otro a 75,14 metros sobre el nivel del río. Para devolver el carro a la estación de Thompson's Point en esta emergencia, están previstos un carro auxiliar y un cable de tracción suplementario. En el eje motor hay un tambor que se mantiene loco mientras el cable de tracción no se rompa; sobre él está arrollado el cable suplementario con uno de sus extremos fijo sobre la llanta del tambor. Una vez roto el cable de tracción, el extremo libre del suplementario se une al carro auxiliar, que tiene capacidad para transportar un hombre y dispone de ruedas para apoyarse directamente sobre dos de los cables portadores. La polea motriz comienza entonces una marcha atrás lenta, soltando cable suplementario hasta que el hombre llega al carro detenido; el carro auxiliar se engancha entonces al carro detenido mediante cadenas y lo remolca a la estación de Thompson's Point.

Para el emplazamiento de las dos estaciones se excavaron 800 metros cúbicos de tierra y otros 2.000 de roca. La excavación de la roca (figura 6 y II) se hizo con seis perforadoras de vapor tipo Ingersoll-Rand, trabajando en dos frentes tal como se muestra en la figura II. Se empleó el explosivo Rack-A-Rock, con excelentes resultados. Se comenzó con los anclajes de Colt's Point, pasando después los equipos a Thompson's Point donde la obra era de más entidad. El hormigón se fabricó con cemento canadiense y áridos de Queenston con dosificación 1:2:4. El acero de armar fue suministrado por Trussed Concrete Steel Co. y el estructural por McGregor & McIntyre e Ltd.

La estación de Thompson's Point fue excavada en roca dura y revestida con hormigón y ladrillo. Dos tramos de escaleras de hormigón proporcionan acceso al andén. Las dimensiones de esta estación son: longitud 20 metros; anchura, 11,50 metros; y altura, 8,90 metros. La cubierta está soportada por vigas de acero en doble T de 38 centímetros de canto con separación de 1,60 metros entre ejes; el forjado, que es de hormigón armado, tiene 15 centímetros de espesor. Como la cubierta está al mismo nivel que el terreno natural y forma una plataforma desde la que se puede observar la operación de la barquilla, se ha resguardado con una verja de hierro forjado de 1,07 metros, anclada con pernos al ala de una de las vigas en doble T. El pavimento de la estación lo forma una losa de hormigón de 8 centímetros de espesor. En el frente de la misma se ha construido un muro de mampostería de 45 centímetros de espesor con la misma apariencia de la roca. Una puerta de 3,65 x 6 metros permite acceder al andén. Las cimentaciones de las torres que albergan las poleas de los cables portadores y del cable de tracción son de hormigón; las torres son de acero (figura 5).

En el acceso desde la estación de Thompson hay una plataforma horizontal de acero de 3 metros de longitud y el mismo ancho que el acceso: en el extremo exterior de la misma se apoya una segunda plataforma, unida a la anterior mediante una bisagra, cuya longitud es de 11,60 metros, y que avanza más allá del borde del acantilado. Esta segunda plataforma está colgada de los cables-carriles por medio de cables con poleas en sus extremos; cada cable está unido a tres poleas, cada una sobre un carril. Todos los cables son de la misma longitud, con lo que la plataforma se mantiene siempre paralela a los cables carril, cualquiera que sea la inclinación de éstos. La separación entre la plataforma y el fondo de la barquilla es 15 centímetros, de manera que la barquilla siempre puede situarse sobre la plataforma. Las plataformas tienen sus costados protegidos por barandillas.

La estación de Colt's Point cuenta con una plataforma análoga que se extiende desde la base del anclaje. Dos tramos de escaleras de hormigón la comunican con el nivel del terreno natural.

En cada una de las dos estaciones hay un tope automático que permite la parada de la barquilla sin sacudida brusca en el espacio de un metro. El tope se extiende desde el exterior del bloque de hormigón, como puede verse en la figura 3. El cable de tracción pasa por el eje de un cilindro neumático, de 13 centímetros de diámetro, y por el centro del pistón. En los extremos de la barquilla hay una mordaza sobre el cable de tracción que, al tropezar con la base del émbolo, se embraga con éste, de forma que es completamente imposible que la barquilla retroceda y se separe de la plataforma.

En ambos extremos de la barquilla hay puertas, que maneja el conductor con una palanca, y no se pueden abrir mientras la mordaza no esté encajada en el pistón de parada; incluso entonces, sólo pueden abrirse las correspondientes al lado de la estación. Es decir, sólo se puede abrir la puerta cuya mordaza está encajada. En el momento de poner en marcha la barquilla, ésta se suelta del tope con otra palanca; operación que no puede realizarse hasta haber cerrado las puertas. Esto se consigue bloqueando unos discos situados en una caja cerrada con llave que hay en la barquilla. Para que el cilindro neumático no cargue sobre el cable de tracción, va colgado de otro cable que pasa por una polea y lleva un contrapeso al otro extremo.

En cada estación hay dos interruptores. Uno de ellos es accionado por el piso de la barquilla: al hacerlo, se corta el circuito que alimenta el motor, sin que sea posible volver a reactivarlo en la misma dirección, lo que llevaría al carro contra la estación. El segundo sólo actúa cuando el anterior no ha funcionado, el maquinista no ha interrumpido la alimentación y el cilindro neumático no ha detenido a la barquilla. Este segundo interruptor actúa directamente sobre el interruptor principal de la línea eléctrica, parando la barquilla en una distancia de un metro e impidiendo que pueda acercarse demasiado a la estación.

Construidas las torres y montadas las poleas, se tendió una cuerda sobre el acantilado entre ambas estaciones, suficientemente larga como para poder alcanzar desde Thompson's Point hasta Colt's Point.

Transportando el extremo opuesto por la orilla del acantilado la cuerda fue elevada por encima de los árboles hasta poder tensarla entre las dos torres. Después, usando esta cuerda y un cabrestante, se pasó un cable de 13 milímetros y a continuación se colocó el cable de tracción de 22 milímetros. Este último fue utilizado para instalar los seis cables portadores.

La resistencia de cada uno de los cables portadores, con la reducción correspondiente a su curvatura sobre las poleas, es 42.000 kilogramos y, como su tensión de operación es de 9.000 kilogramos, el coeficiente de seguridad resultante es de 4,6 . Los cables fueron suministrados por la American Steel and Wire Co.

El par máximo del motor es 2,5 veces superior al necesario para remolcar la barquilla con su carga máxima.

La tensión máxima del cable de tracción en la estación de Colt's Point es 12.700 kilogramos y la de cada cable-carril 9.000 kilogramos. La carga sobre el terreno es 31.000 kg. El momento de vuelco sobre el pie del anclaje es $12.700 \text{ kg} \times 8,7 \text{ m} + 54.500 \text{ kg} \times 6,6 \text{ m} + 31.000 \text{ kg} \times 6,1 \text{ m}$, en total unos 660.000 kg x m. El peso del hormigón es 672.700 kg y el momento resistente es $672.700 \text{ kg} \times 5,2 \text{ m}$, esto es 3.470.000 kg x m. Hay por tanto un factor de seguridad superior a 5 respecto al vuelco en el anclaje. En Thompson's Point, el factor de seguridad es aproximadamente 8.

Para cualquier posición de la barquilla, la tensión en la parte baja del cable de tracción entre el carro y la polea de transmisión es igual a la mitad del contrapeso, 4.500 kg, despreciando el rozamiento en el contrapeso y las poleas. La tensión en el resto del cable de tracción depende de la posición de la barquilla, variando entre 2.720 kg cuando la barquilla está en Thompson's Point y 10.900 kg en Colt's Point. El cable de tracción tiene una resistencia de 31.780 kg, lo que representa un coeficiente de seguridad superior a 4, tras minorar la resistencia del cable a consecuencia de su curvatura sobre las poleas.

Las flechas de los cables descargados son de 21, 6 m. La máxima flecha, cuando los cables soportan la barquilla y los pasajeros, es 30,5 metros. La barquilla se encuentra a 45, 1 metros sobre la superficie del agua en la situación de máxima flecha.

La máxima distancia vertical recorrida por los contrapesos, teniendo en cuenta el cambio de longitud de los cables asociado a una variación de temperatura de 70°C, así como la variabilidad de las flechas, es de 3,41 metros. Se han previsto 5,80 metros, lo que permite absorber las oscilaciones desencadenadas por la rotura de cables.

El máximo recorrido vertical del contrapeso del cable de tracción es 2,64 metros. Se ha previsto la posibilidad de llegar a 4,58 metros. La pendiente de los cables de tracción varía desde el 16% en las estaciones al 0% en el centro de la luz. La máxima pendiente es pues 16% y la media 8%.

El trabajo se inició el 12 de julio de 1915. Están tendidos ya todos los cables, y el carro con la barquilla están siendo instalados en preparación del viaje de prueba, a realizar con una carga de 10.000 kilogramos. El transbordador estará dispuesto para su utilización normal en pocas semanas. Aún no se ha decidido el precio del billete que deberán abonar los pasajeros. La Junta del Parque cobrará una cantidad anual progresiva en función del número de pasajeros, con una tasa mínima de 3.500 dólares.

El contratista general para la instalación global fue Norman McLeod Ltd, de Toronto, con un contrato a coste más porcentaje. El superintendente a cargo de la construcción fue Lewis S. Roy. J.E. Taylor era el ingeniero residente, en representación de Wright & Howard, ingenieros consultores de Toronto, contratados por la compañía española para adaptar su diseño a las condiciones locales, preparar los planos y supervisar la construcción. El trabajo debe cumplir las prescripciones del honorable F.G. Macdiarmid, ministro de obras públicas de la provincia, que confió la supervisión directa a Ceo Hogart, miembro asociado de la Sociedad Canadiense de Ingenieros Civiles e ingeniero asistente en su departamento.

«The Canadian Engineer» expresa su gratitud por la información contenida en este artículo a todos los individuos y firmas en él mencionados.

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se acompaña á la solicitud de una patente de invención
por veinte años en España

por

== UN NUEVO SISTEMA DE TRANSBORDADORES ==

á favor de la

SOCIEDAD DE ESTUDIOS Y OBRAS DE INGENIERIA

domiciliada en

B i l b a o (Vizcaya)

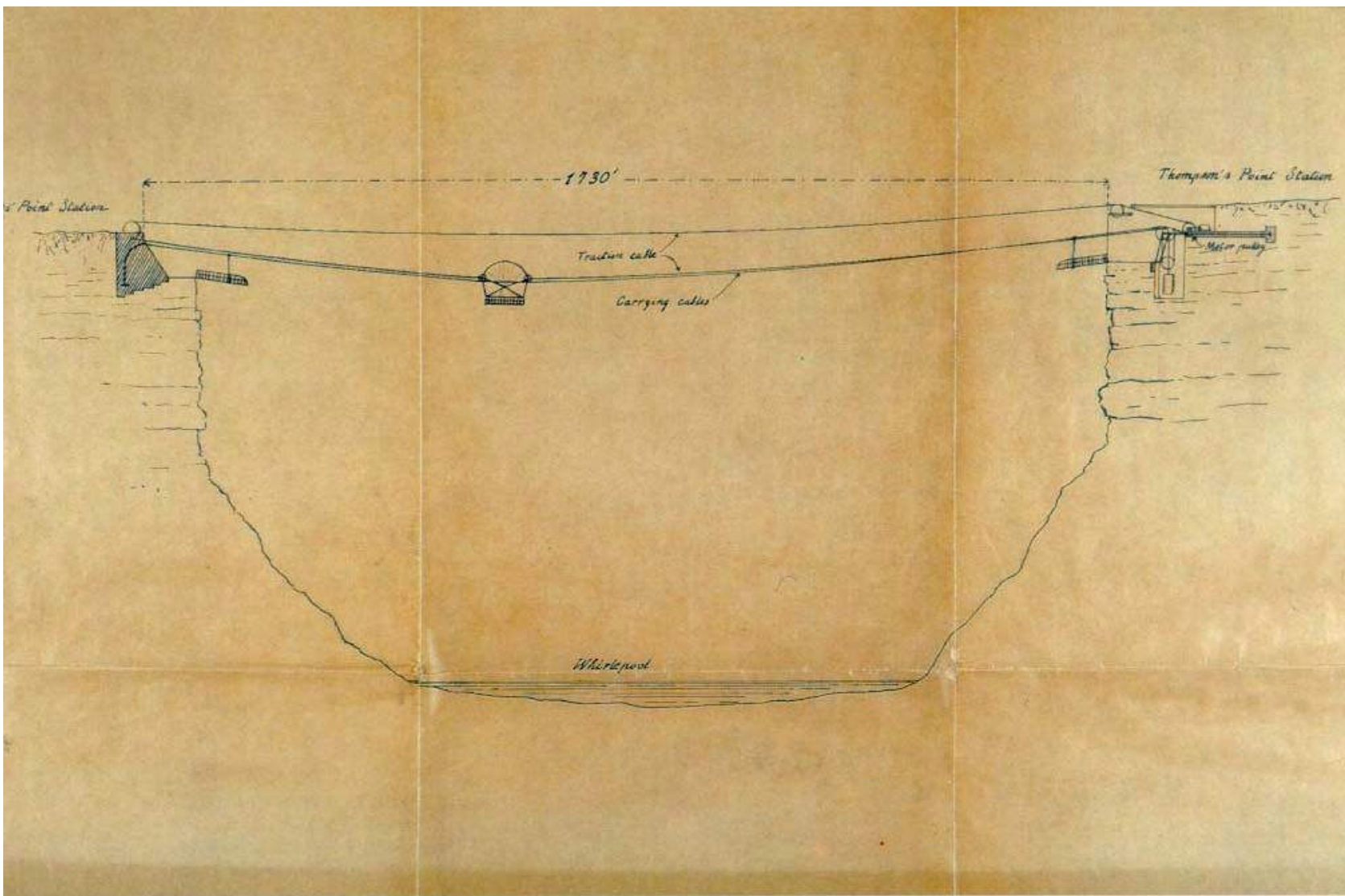
* - - - - -

La vía de este nuevo sistema de transbordadores, está formada por varios cables-raíles paralelos entre sí, situados á pequeña distancia uno de otros y dispuestos todos de la misma manera; Cada uno de ellos lleva un extremo atado en una de las estaciones A (fig. 1) y sostiene en el otro extremo, situado en la estación B un contrapeso I que sirve para regular su tensión. Todos los cables son iguales y todos los tensores del mismo peso, de manera que todos ellos trabajan exactamente en las mismas condiciones.

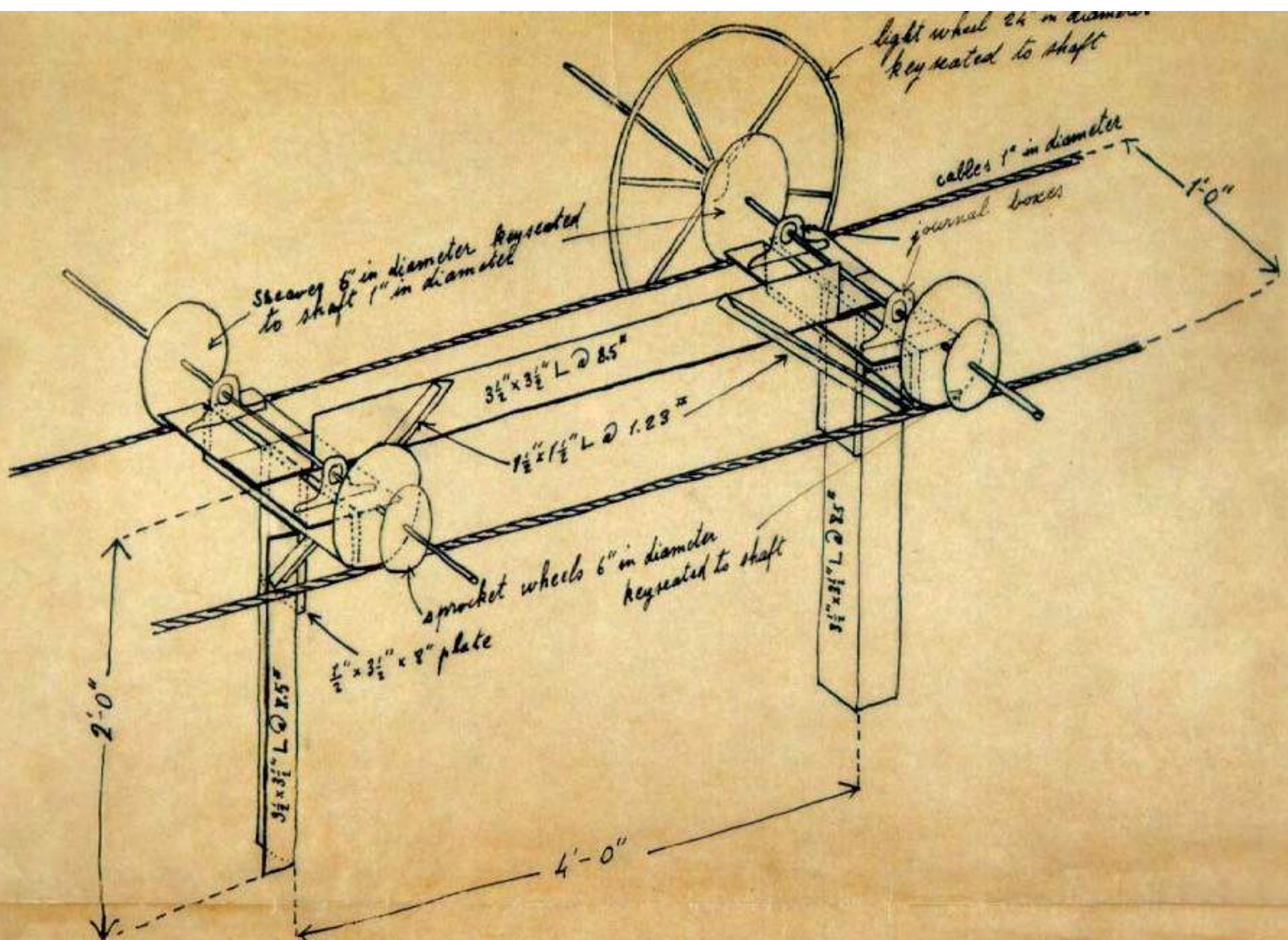
Sobre esta vía marcha un carretón g provisto de poleas de garganta que ruedan sobre los cables, y del carretón cuelga la barquilla M destinada á los viajeros; el centro de gravedad del sistema formado por el carretón y la barquilla, ha de quedar siempre debajo de los cables para evitar todo peligro de que pueda volcar el carro.

La tensión de cada cable depende únicamente del peso de su tensor I; no influye en ella para nada la carga de la barquilla; si esta aumenta, bajará el carretón, disminuirá el

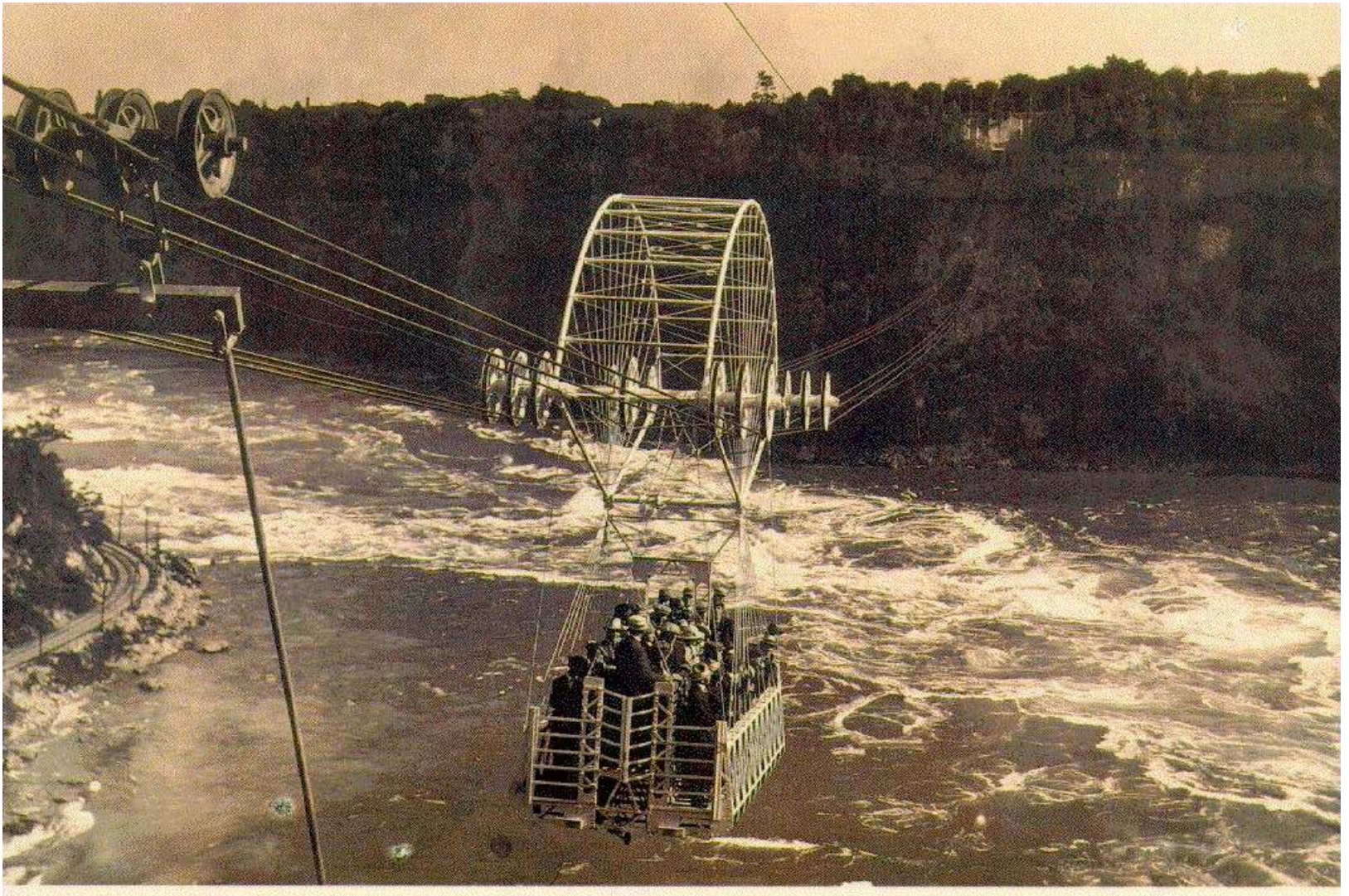
ALZADO GENERAL
Proyecto del Transbordador del Niágara
Croquis original a mano alzada
Archivo familiar Torres Quevedo



PERSPECTIVA DEL CARRO
Proyecto del Transbordador del Niágara
Croquis original a mano alzada
Archivo familiar Torres Quevedo



EL TRANSBORDADOR DEL
NIÁGARA EN 1916
Fotografía de Oscar A. Simon
Archivo familiar Torres Quevedo



Biografía

Leonardo Torres Quevedo nació en 1852 y murió, después de una vida larga, fecunda y feliz, en 1936. Terminó sus estudios en 1876, al poco tiempo de restaurarse la monarquía y patentó su último invento en 1930, un año antes de la proclamación de la república. Su dilatado período creativo coincide, por lo tanto, casi exactamente, con la Restauración.

En ese medio siglo largo de actividad, se distinguen dos etapas bien diferenciadas: una primera, de más de tres lustros, que podríamos llamar de vida privada, en que se gestaron la mayoría de las ideas que luego habría de desarrollar; y una segunda, de vida pública, en que cristalizaron todas sus invenciones y en que alcanzó todas las metas y todos los reconocimientos posibles para un español de su época. En las líneas que siguen no intentaremos esbozar una biografía, ni siquiera sucinta, del inventor. Afortunadamente, en los últimos años se ha suscitado de nuevo el interés por su figura y su obra y éstas son, en la medida en que esto sea posible para un hombre de ciencia, conocidas y aún populares. Nos limitaremos a señalar algunas de las claves que influyeron en su formación y en su éxito y recordaremos sus más importantes inventos, sin olvidar a algunas personas de su entorno. En sendos anejos damos una cronología de su vida y una breve bibliografía.

Queremos hacer hincapié en su carácter de inventor. Torres Quevedo, que llegó a presidir la Real Academia de Ciencias, no se consideró un científico, sino simplemente un inventor. Habría que preguntarse por qué en un país con tanta inventiva como es España surgen tan pocos inventores. La invención necesita unas condiciones previas, un caldo de cultivo que posibilite el nacimiento de las ideas y el desarrollo de los trabajos. Como veremos, en la formación, en el carácter y en el entorno de Torres Quevedo concurrieron de manera notable esas condiciones.

Formación

Torres Quevedo nació en Santa Cruz de Iguña, un caserío de la Montaña, en el seno de una familia de padre bilbaíno y madre cántabra. Su infancia transcurrió a caballo entre Bilbao y Santa Cruz. El padre, Luis Torres-Vildósola, era un ingeniero de Caminos que pronto habría de destacar como constructor y administrador de líneas férreas, lo que le llevaría, además, a regentar por algún tiempo la cátedra de Caminos de Hierro en la Escuela de Caminos.

En otro sitio hemos señalado el origen criollo de Torres-Vildósola, con raíces en tierras de Jaén y con antepasados en el estado mejicano de Sonora¹. Vinculado a una de las familias de mayor raigambre liberal de Bilbao, como era la de Urquijo, formado en el dinámico Madrid de los años treinta y habiendo viajado y trabajado por toda España, Torres-Vildósola era un vasco ilustrado, abierto a las ideas de su tiempo. Es evidente que el interés de Leonardo por la técnica procede de la figura de su padre.

Otro factor que habría de tener una influencia capital en la evolución posterior de su carrera como inventor fueron sus estudios en París y su familiaridad con la lengua y la ciencia francesas. En el período 1868-1870, en un Bilbao que empezaba a mostrarse cada vez más anglófilo, los Torres-Vildósola decidieron enviar a su hijo a estudiar a Francia. Entre los recuerdos familiares ha quedado la curiosa anécdota de Leonardo y de un primo con el que compartía el internado, manifestándose a favor de los prusianos, contra sus compañeros franceses. En cualquier caso, al cabo de los años, el inventor encontraría en Francia los mejores amigos y la más eficaz colaboración.

Un tercer elemento que resultó fundamental para su éxito, pues le permitió dedicarse sosegadamente a la invención, liberándole del trabajo burocrático al que como funcionario estaba abocado, es el desahogo económico proporcionado por la herencia de unas parientas de su rama paterna.

Pedro González Quijano, en un excelente discurso pronunciado con motivo del nombramiento de Torres Quevedo como Consejero Honorario de Obras Públicas, estableció por primera vez el

¹ "El expediente de Leonardo Torres Quevedo en el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente", comunicación presentada, junto con María del Carmen Escribano Ródenas, en el III Simposio "Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo, su obra", celebrado en Pozuelo de Alarcón en abril de 1995. En otro trabajo acerca de Luis Torres-Vildósola, presentado en el mismo Simposio hemos precisado la cronología de sus actuaciones, rectificando algunos errores que normalmente se deslizan en la biografías de su hijo. Por ejemplo, el motivo de enviar a Leonardo a estudiar a París durante los cursos de 1868 a 1870, no fue que el padre se encontrara trabajando en Andalucía. Su trabajo en Andalucía, y más concretamente en Cádiz, se desarrolló entre 1858 y 1863. En 1868 Luis era director de la compañía del ferrocarril de Tudela a Bilbao, cargo que ostentó hasta 1873.

paralelismo entre la figura del inventor montañés y la de Agustín de Betancourt². Hay que indicar, aunque Quijano no se refiriese a ello, que en el sabio canario concurrían estas tres mismas características que hemos señalado en Torres Quevedo: ambiente familiar ilustrado, posición económica holgada y apertura, a través de la lengua francesa, a la ciencia y la técnica de su tiempo.

Por otra parte, la comparación entre la vida asendereada de Betancourt, sometida a revoluciones y guerras, y la tranquila de Torres Quevedo, indica lo mucho que, aunque a veces no quiera reconocerse, progresó la sociedad española en el siglo que separa ambas biografías. Torres Quevedo pudo estudiar en su casa, primero, Y trabajar en su laboratorio, después, sin necesidad de dispersarse como Betancourt en la burocracia, en la política y en el exilio.

La formación de Torres Quevedo culminó con sus estudios, de 1871 a 1876, en la Escuela de Caminos. Formó parte de una promoción de sólo siete alumnos que casi era una prolongación del Bilbao de su niñez. En ella estaban, además de su primo José Luis, Valentín Gorbeña, Fernando de Landecho y Daniel Meñaca. Fue un período de crisis en aquel centro, cuyos mejores profesores habían desaparecido por pasar a la política -caso de Echegaray y Saavedra-, por exilio -como Pardo y Alcolado- y por la dimisión y posterior fallecimiento de Lucio del Valle. Pero no por eso perdió el tiempo: según nos refiere Arrillaga, la idea de la máquina de resolver ecuaciones se le ocurrió siendo alumno de la Escuela. De hecho, en la bien surtida biblioteca del centro estaban varios de los textos a los que alude en su Memoria sobre las máquinas algébricas.

Vida oculta

Denominamos así al período de tiempo, prácticamente desde 1877 hasta 1893, que Torres Quevedo dedicó, por decirlo con sus propias palabras, "*a pensar en sus cosas*".

Son los años que van desde los 25 a los 41 de su edad, normalmente los más creativos de la vida de una persona, y en los que, si nos hemos *de guiar por los datos que nos proporcionan sus biógrafos, habría*

Véase referencia (5)

hecho poco más que casarse, tener hijos y construir un par de rudimentarios funiculares a través de los prados próximos a su casa.

Todo parece indicar, sin embargo, que durante esos años se incubaron casi todas las ideas y se gestó una buena parte de los inventos que habría de desarrollar durante el resto de su vida. Lo que es seguro es que si su mente no hubiera permanecido activa durante tan largo período, no habría podido irrumpir luego con la fuerza con que lo hizo.

Es posible que, aparte de los transbordadores que construyó y patentó y de las máquinas algébricas, cuyo estudio presentó en 1893, durante aquellos años empezara ya a dar vueltas a otros asuntos, como la aerostación, de los que habría de ocuparse en el futuro. La forma recurrente en que cuestiones aparentemente abandonadas volvían a interesarle más tarde, es indicio de que todas estaban en su mente desde épocas tempranas. Hay un invento, bastante ingenuo, el indicador de coordenadas para orientarse en las grandes ciudades, que presentó por primera vez en 1896 y sobre el que habría de volver de forma absolutamente inoportuna en 1926, con motivo de un acto solemne en presencia del ministro de Fomento, que tiene todo el aspecto de ser una idea juvenil con la que se había encariñado.

Para confirmar las hipótesis anteriores, habría que revisar su correspondencia de la época y analizar su biblioteca, tratando de exhumar cuáles fueron sus preocupaciones, qué lecturas tuvo y qué contactos emprendió durante todos esos años en que su trabajo se plasmó en tan pocos frutos visibles. Lo que resulta admirable y es indicador de su enorme temple, de la gran fe de sus posibilidades y, sobre todo, del placer que esa actividad le producía, es que resistiera tantos años trabajando en solitario, sin el menor reconocimiento público.

Aparición tardía

Tratando de los ingenieros de la generación del 98, hemos llamado la atención sobre el hecho de que los técnicos maduran más tarde que los escritores y artistas, de forma que suelen aparecer en la vida pública con retraso respecto a otros miembros de su misma generación³.

3. “Los ingenieros de Caminos de la Generación del 98”, en Cuadernos de Cauce 2000, nº 14, Madrid, s.a. (1988).

Este hecho es especialmente cierto en el caso de Torres Quevedo, que pertenece a la generación anterior al 98 y que no se da a conocer hasta que no publica su *Memoria sobre Las máquinas algébricas*, cuando está próximo a cumplir los 43 años, en 1895. Justamente en ese año empiezan a despuntar Unamuno y otros hombres del 98. Para esas fechas, su coetáneo Santiago Ramón y Cajal, que no fue precisamente precoz, era ya catedrático desde hacía más de una década. Dentro de aquel año sería nombrado académico de Ciencias. Precisamente en 1895 murió Isaac Peral, sólo un año mayor que Torres Quevedo, pero que ya había desarrollado su submarino durante los años ochenta. Menéndez y Pelayo, algo más joven que todos ellos, había escrito ya para entonces buena parte de su obra. Aquel año 1895 fue fundamental para la obra de Torres Quevedo, pues tras el respaldo de la Academia de Ciencias española, obtuvo el de la homóloga francesa para su estudio de las máquinas algébricas. El trabajo fue sometido a examen por una comisión de tres miembros. Pues bien, dos de ellos, Henri Poincaré (1854-1912) y Paul Appell (nacido en 1855), que ya para entonces gozaban de un prestigio incontestado, eran más jóvenes que el inventor español. Más joven era también Maurice D'Ocagne (1862-1938), el más fiel y más entusiasta de los amigos franceses de don Leonardo. Cuando, en 1895, éste presentó sus estudios sobre máquinas algébricas, en el Congreso de Burdeos de la Sociedad francesa para el Progreso de las Ciencias, D'Ocagne era el presidente de la sociedad y tenía un nombre como ingeniero, como matemático y como escritor; nombre, que puso desde el principio al servicio de su amigo y de la difusión de sus inventos.

La Real Academia de Ciencias

Por todo lo dicho anteriormente hay que valorar la importancia que para la vida de Torres Quevedo, y para la ciencia española, tuvo el informe favorable que Eduardo Saavedra, en representación de la Real Academia de Ciencias, emitió en enero de 1894 acerca de la *Memoria sobre las máquinas algébricas**. Cabe preguntarse si, sin este

4. Una primera versión del informe fue presentada en el Pleno de la Academia, el 20 de diciembre de 1983

espaldarazo, y después del fracaso de su transbordador en Suiza, hubiera vuelto a intentar la divulgación de sus ideas e inventos. Podría haber quedado en el anonimato, como tantos inventores frustrados.

Se inició entonces una eficaz colaboración, beneficiosa para ambas partes, entre Torres Quevedo y la Academia. Fue elegido académico en julio de 1900 y tomó posesión en mayo del siguiente año. El inventor, desde que renunciara a ingresar en el servicio del Estado, era un «particular». Fue posiblemente el primer particular que entró en aquella Academia copada por catedráticos, funcionarios y militares de alta graduación. Lo primero que obtuvo de la Academia, en la España burocratizada de principios de siglo, fue un título para su tarjeta de visita, un membrete con que dirigirse a la administración. Una primera puerta que le facilitó la apertura de otras muchas.

No menos beneficiosa fue para la Academia la presencia del inventor. Torres Quevedo aportó ideas nuevas y problemas actuales en un organismo que permanecía anquilosado y politizado. Piénsese que sólo tres años antes había hecho su ingreso Práxedes Mateo Sagasta, un político septuagenario que nunca había manifestado la menor inquietud científica. El mismo antecesor de Torres Quevedo, Alberto Bosch, era también un destacado político.

La trayectoria de Torres Quevedo en la Academia de Ciencias ha sido descrita por José María Torroja Menéndez⁵. La candidatura del inventor fue presentada por Francisco de Paula Arrillaga y a ella se adhirieron el secretario de la Academia Miguel Merino y el bibliotecario Joaquín Barraquer. El discurso de ingreso, leído el 19 de mayo de 1901, fue contestado por el propio Arrillaga.

Arrillaga y Echegaray fueron los mejores valedores que Torres Quevedo tuvo dentro de la Academia. El primero ya le había apoyado para la consecución de una ayuda oficial en 1895 y sería el encargado de efectuar la *Laudatio* cuando, en 1916, se entregara al inventor la Medalla Echegaray⁶. Este último informó elogiosamente la memoria sobre globos dirigibles de 1902 y también intervino en el citado acto, en la que tal vez fue su última intervención pública. Junto a ellos hay

⁵ Referencia (1), pp 147-172. También en la misma obra, pp 173-184, A. Hernando González ha seguido las huellas de Torres Quevedo en la revista de la Real Academia.

⁶ Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Solemne entrega de la Medalla Echegaray el Excmo. Sr. D. Leonardo Torres Quevedo. Discurso leído por el Excmo. Sr. D. Francisco de P. Arrillaga. Madrid, 1916.



Entrega la medalla Echegaray a Leonardo Torres Quevedo. En primera fila, de izquierda a derecha, V. Garcini, A. Salvador, J. Echegaray y Torres Quevedo. Archivo familias Torres Quevedo.

que citar a José María de Madariaga que en 1906 se ocuparía de gestionar una engorrosa cuestión de prioridad sobre el telekino.

Torres Quevedo, que publicó en la Revista de la Academia la mayoría de sus, por otra parte escasas, memorias científicas, contestó los discursos de ingreso de sus compatriotas Garcini y González Quijano y acabó desempeñando, sucesivamente, todos los cargos relevantes que se podían ocupar en ella: presidente de sección en 1924, vicepresidente en 1927 y presidente en 1928, para pasar a la presidencia honoraria en 1934.

Inventos diversos

Los biógrafos de Torres Quevedo han coincidido en agrupar sus inventos en cuatro grandes apartados que incluyen máquinas

⁷ Véase referencia (7). En el caso de la primera patente de funicular se incluyen también copias de las patentes obtenidas en diversos países.

analógicas, máquinas digitales, dirigibles y transbordadores. En el discurso ya mencionado, Arrillaga siguió implícitamente esta clasificación, si bien se detenía a considerar por separado algunos, como el telekino o el ajedrecista, que producían entonces mayor impacto.

El Registro de la Propiedad ha publicado los facsímiles de todas las patentes de invención que a nombre de Torres Quevedo existen en sus archivos'. Son en total veinte patentes, además de tres certificados de adición por mejoras introducidas en otros tantos inventos. La primera de ellas fue solicitada, en ausencia del autor, por C. García, en septiembre de 1887. La última data, como queda dicho, de 1930. Se clasifican en un total de once apartados correspondientes a funiculares, señalización, el *telekine*, globos dirigibles, máquina taquígráfica, binave, enclavamientos ferroviarios, máquinas de escribir, paginación de libros, puntero proyectable y proyector didáctico. No existe patente alguna de la máquina ajedrecista.

Entre todos estos inventos, tal vez fueran sus dirigibles trilobulados los que alcanzaron mejor fortuna. El propio inventor, con su particular bonhomía, atribuía esta fortuna a una desgracia. La explosión de una caldera en la fábrica de la Oxhídrica de Zaragoza, le obligó a trasladar sus experiencias a París, en 1908. Un año más tarde llegaba a un acuerdo con la casa Astra para la construcción de los Astra-Torres, que tanto juego habrían de dar en la primera gran guerra.

Frente a los anteriores constructores de dirigibles, obsesionados por la velocidad, Torres Quevedo ponía el acento en la estabilidad. Ésta se conseguía mediante una viga funicular cosida a las telas, que se rigidizaba al inflar el globo. En 1919 volvería a interesarse con un nuevo proyecto de dirigible, el *Hispania*, aeronave de grandes dimensiones para viajes transoceánicos, que no llegó a cristalizar.

Vista desde nuestra perspectiva, quizá sea la corta memoria «Ensayos sobre Automática»), publicada en la *Revista* de la Real Academia de Ciencias en 1914, el hito más importante de la producción científica de Torres Quevedo; el que le otorga un puesto destacado en la historia de la ciencia. Como ha señalado García

Santesmases, sienta allí las bases para la realización de autómatas mediante el uso de funciones de conmutación, lo que permite considerarle como precursor de la Cibernética.

Dicha memoria se limitaba a sistematizar los principios que ya le habían permitido construir dos máquinas fundamentales: el telekino y el ajedrecista y que le permitirían realizar una tercera, el aritmómetro electromecánico, presentado en París, en 1320.

Transbordadores

Los transbordadores ocupan un lugar destacado entre todas las actividades de Torres Quevedo. El primer ingenio que construyó fue un transbordador y también el primero que patentó. Otro transbordador fue el único de sus inventos que le ha sobrevivido, llegando en funcionamiento hasta nuestros días.

Entre 1885, en que se casó, y 1887, Torres Quevedo construyó y experimentó un par de modelos de funiculares en las proximidades de su casa de Portolín. Uno era un artilugio de tracción animal, con 200 m de luz, tendido sobre el prado de los Venerales, y otro un teleférico de cerca de 2 km, sobre el valle de Iguña. Ese último año patentó en España un «sistema de camino funicular aéreo de alambres múltiples) y al año siguiente extendió la patente a Estados Unidos, Francia, Italia, Gran Bretaña, Prusia, Austria-Hungría y Suiza. A ese país viajó poco después, cosechando el fracaso que ya hemos comentado.

Tuvieron que pasar casi cuatro lustros para que, empujado sin duda por los amigos bilbaínos de su juventud, volviera a ocuparse de los transbordadores. En octubre de 1307, la sociedad «Estudios y obras de ingeniería») inauguraba en el Monte Ulí a de San Sebastián un funicular de 280 m de longitud, con capacidad para 12 a 14 pasajeros. Disponía de un sistema de contrapesos que permitía que la tensión en los cables fuera uniforme e independiente de la sobrecarga, lo que le daba gran seguridad en caso de rotura de alguno de ellos.

El éxito de este funicular animó a instalar otro mucho mayor en Norteamérica. En 1911 viajó, junto con su compañero de promoción Valentín Gorbeña a Estados Unidos y Canadá, en busca de



Leonardo Torres Quevedo junto a sus hijos
Archivo familiar Torres Quevedo

Autorización para construirlo sobre las cataratas del Niágara. El cruce de la frontera suponía una dificultad burocrática a la que se añadía la oposición estadounidense a que se pasara sobre las líneas férreas. Esto, unido a la ayuda proporcionada por el cónsul de España en Toronto, Mr. Thompson, hizo que se decantaran por instalarlo sobre el remolino Whirlpool, en territorio canadiense. La concesión la obtuvo Antonio Balzola a nombre de «Estudios y obras de ingeniería», pero enseguida se constituyó una sociedad de capital enteramente español, la *Spanish Aerocar Co.*, presidida por Gorbeña. De su consejo formaba parte el propio Torres Quevedo, junto al conde de Aresti, Horacio Echevarrieta, José Orbegozo y otras figuras destacadas de la industria y los negocios vascos.

Los proyectos se demoraron por la exigencia administrativa de que las estaciones terminales no sobresaliesen del terreno, para no perturbar el paisaje. Finalmente, la construcción se realizó entre 1915 y 1916, bajo la dirección de Gonzalo Torres-Quevedo, ingeniero de Caminos e hijo del inventor. El transbordador tiene una longitud de 580 m, con una altura de 60 m sobre el río. La barquilla, construida en España, tiene una capacidad para 45 pasajeros. Desde su inauguración, en agosto de 1916, el transbordador lleva cerca de 80 años funcionando ininterrumpidamente.

Hubo otros proyectos de transbordadores que no llegaron a buen fin, como el transbordador del Ebro, que recientemente han dado a conocer Leonardo Torres-Quevedo y Francisco González de Posada.⁸

Honores, reconocimientos y satisfacciones

En comparación con otros inventores españoles, como son los casos de Monturiol o Peral, puede decirse que Torres Quevedo fue mimado por la administración. El propio monarca, tan aficionado a las novedades técnicas, le honró con su amistad, asistió a la demostración del telekino en Bilbao, lo envió a Buenos Aires, en la misión presidida por la Infanta Isabel, en mayo de 1910, y acudió a entregarle la Medalla Echegaray en 1916.

Todos estos honores no fueron sino un excipiente agradable,

⁸ Véase referencia (2).

cuando no una perturbación de su vida de trabajo, que es la que le produjo las verdaderas satisfacciones. Dijérase, incluso, que trató de reconducirlos para obtener de ellos algún resultado práctico. Así, del viaje a la Argentina resultó la Unión Internacional Hispano-Americana de Bibliografía y Tecnología Científica, que fundó junto con Santiago Barabino. Su mismo ingreso en la Real Academia Española le interesó en tanto en cuanto le permitía poner en marcha el Diccionario Tecnológico proyectado por dicha Unión.

El Laboratorio de Mecánica Aplicada, más tarde denominado de Automática, fue la mejor herramienta que el Estado puso a disposición de Torres Quevedo. Aunque él con modestia lo calificó de " taller de cerrajería», lo cierto es que le permitió desarrollar buena parte de sus aparatos. Pero, cuando se compara la lista de esos aparatos con la, mucho más numerosa, de los aparatos fabricados para otros investigadores; cuando se observa la nómina de científicos que se formaron a su lado y cuando se piensa en la facilidad con que supo sacar adelante sus dirigibles o su transbordador en el extranjero, se llega a la conclusión de que el laboratorio no sólo no fue decisivo para la obra de Torres Quevedo, sino que el saldo de beneficios obtenidos por el inventor y por la administración resultó muy favorable para ésta.

Notas finales

Hay un detalle que nos llama la atención en el discurso, ya citado, de Francisco de Paula Arrillaga. Refiriéndose a los trabajos que Torres Quevedo realizó como colaborador de su padre en el ferrocarril del Noroeste, y que debieron desarrollarse en 1877, dice Arrillaga que estudió los modos de salvar pendientes extraordinarias y sometió a Eduardo Saavedra todo cuanto hasta entonces se había ideado en Europa en circunstancias semejantes. Añade «si entonces no se ensayó en Asturias algo, por lo menos en Asturias muy nuevo, fue por consideraciones independientes de la técnica)).

Resulta curiosa esa primera relación de Torres Quevedo con Saavedra, dieciséis años antes de que sometiera a su censura la

Memoria sobre Las máquinas algébricas, pues, para entonces, ya hacía mucho que don Eduardo había salido de la Compañía del Noroeste y que no ocupaba ningún cargo en el ministerio de Fomento.

Seguramente este dato tiene relación con un artículo que ese mismo año publicó Saavedra sobre el viaducto ferroviario de La Selguera⁹. No parece que Torres Quevedo llegara entonces a proponer ningún sistema de su invención, pero, en cualquier caso, la noticia permite conjeturar que la primera cuestión que interesó a Torres Quevedo como ingeniero fuera algún sistema de ferrocarril de cremallera:

Queremos, por último, llamar la atención sobre dos escritos de Torres Quevedo que han pasado prácticamente inadvertidos. El primero es el prólogo, redactado en febrero de 1913, para el libro *Salto de Agua* de su antiguo compañero del Ateneo madrileño, José de Igual. Es un texto breve, pero lleno de buen sentido, en que pone de relieve la importancia creciente de los que denomina “ingenieros de negocios»). El segundo es la reedición, hecha en 1917, de cuatro trabajos anteriores, acompañados de amplios juicios de Echegaray, Arrillaga y el capitán Samaniego. Resulta indicativo de su personalidad modesta, y quizá también insegura, que, siendo ya una gloria nacional, necesitase arroparse con los elogios de personajes de menor relieve, como Samaniego.

⁹ “Viaducto de la Selguera en el ferrocarril de Asturias”, en *Anales de la Construcción y de la Industria*, 1877, pp. 177-180

FERNANDO SAENZ RIDRUEJO



Leonardo Torres Quevedo
Archivo familiar Torres Quevedo

Cronología

28-12-1852	Nace en Santa Cruz de Iguña (Santander)
Hasta 1868	Cursa el bachillerato en Bilbao
1868-70	Estudia en París, con los Hermanos de la Doctrina Cristiana Ingresa en la Escuela de Caminos, en Madrid
1871	Participa en la defensa de Bilbao, durante el sitio de la villa
1874	Termina la carrera con el n.º 4 de su promoción Trabaja a las órdenes de su padre en el ferrocarril del Noroeste. Renuncia a ingresar en el Cuerpo de Ingenieros de Caminos. Viaja por Italia Francia y Suiza
1876	Boda con Luz Polanco
1877	Nace su hijo Gonzalo
16-4- 1885	Obtiene en el Registro de la Propiedad su primera patente de invención «Un sistema de camino funicular aéreo de alambres múltiples»
22-5-1 887	Se traslada definitivamente a Madrid
12-10-1887	Viaja a Suiza para presentar sin éxito su proyecto de transbordador
1889	Presenta a la Real Academia de Ciencias el manuscrito de la Memoria sobre las máquinas algébricas
1893	La Real Academia, en informe de Eduardo Saavedra recomienda la Memoria a la Dirección General de Obras Públicas, la cual, el 22 de diciembre, concede a T.Q. una ayuda para su publicación y para que viaje al extranjero a preparar el proyecto definitivo
15-1-1894	Publica en Bilbao, en junio, la Memoria sobre las máquina algébricas, que reproduce la Revista de Obras Públ i c a s entre agosto y noviembre
1895	Presenta en París una nota "Sur les machines algébriques", que se publica en los Comptes Rendues de l'Académie des Sciences (29.7). Presenta "Machines algébriques" al Congreso de Burdeos de la Asociación Francesa para el Progreso de las Ciencias
12-1-1896	Publica en Madrid Científico "Orientación e n las grandes poblaciones. Indicadores coordinados"

3-7- 1900	Elegido miembro de la Real Academia de Ciencias
19-5-1901	Ingresa en la Academia con un discurso sobre "Máquinas algébricas»
1902	Presenta en las Academias de Ciencias española y francesa sendas memorias sobre la estabilidad de los dirigibles
10-12-1902	Solicita en París la patente del Système dit Télékine
1903	Pasa en París los primeros meses del año dirigiendo la construcción del telekino. Desde allí solicita la patente española el 10 de junio. El 3 de agosto presenta una memoria a la Academia de Ciencias francesa Sur le télékine
4-1-1904	Se crea bajo su dirección el Centro de Estudios de Aeronáutica
25-6-1 906	Presentación del telekino en Bilbao, en presencia de Alfonso XIII
22-2- 1907	Creación del Laboratorio de Mecánica Aplicada, que más tarde se denominaría Laboratorio de Automática
1907	Se inaugura el transbordador del monte Ulía, en San Sebastián
1907	Se ensaya en Guadalajara el primer dirigible de Torres Quevedo
5-1910	Viaje a Buenos Aires con la misión española a los actos conmemorativos de la independencia de la República Argentina
1911	Se ensaya en Issy-les-Moulineaux, París, el primer dirigible Astra-Torres
9-1911	Viaje a Estados Unidos y Canadá, con Valentín Gorbeña, para estudiar la construcción del transbordador del Niágara
1912	Construye la primera máquina ajedrecista
15-1 1-1913	Conferencia en el Instituto de Ingenieros Civiles: "La enseñanza de la ingeniería en España"
6-1914	Presenta en París una máquina ajedrecista
12-3-1916	Recibe el Premio Echegaray, de la R.A. de Ciencias
19-8-1916	Inauguración oficial del transbordador del Niágara
7-11-1916	Premio Parville de la Academia de Ciencias en París
7-9-1919	Apertura del Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias con un discurso sobre "El dirigible Hispania"
1-12-1919	Presidente de la Sociedad Española de Física y Química
18-12-1919	Se le concede la Gran Cruz de Carlos III

1920	Publica "Arithmomètre et électromécanique", en el nº de septiembre-octubre de Les Machines à calculer
31-10-1920	Ingresa en la Real Academia Española
9-2-1921	Presidente de la sección española del Comité Internacional de Pesas y Medidas de París
19-4-1921	Presidente de la Unión Internacional Hispano Americana de Bibliografía y Tecnología Científicas
1922	Presentación , por su hijo Gonzalo, de la segunda maquina ajedrecista en París
20-3 - 1922	Comendador de la Legión n de Honor francesa
1923	Doctor Honoris Causa de la Universidad de París
1926	Publicación del primer cuaderno del Diccionario Tecnológico Hispano-Americano
10- 1 1-1926	Es nombrado Inspector General Honorario del Cuerpo de Ingenieros de Caminos
16-3-27	Es nombrado Vicepresidente de la Real Academia de Ciencias
2-2- 1928	Presidente de la Real Academia de Ciencias
30-4 - 1930	Obtiene la patente del último de sus 20 inventos registrados en España: «Un proyector didáctico»
14-4-34	Se le concede la Banda de la Orden de la República
1934	Renuncia a la presidencia de la R.A. de Ciencias. Es nombrado Presidente de Honor (3 1.10)
18-12-1936	Muere en Madrid

Bibliografía

Recogemos, a continuación, algunas de las referencias más fácilmente accesibles sobre Torres Quevedo y su obra. En las obras citadas, y especialmente en (1), (3) y (4), puede encontrarse una bibliografía más completa. Sobre los escritos del propio Torres Quevedo, véase, asimismo (4).

- (1) Actas del I Simposio «Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo y su obra». Amigos de la Cultura Científica, Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón, 1994. (Simposio celebrado en Molledo, septiembre de 1987, edición de Francisco A. González Redondo y Amor González Redondo).
- (2) Actas del II Simposio («Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo y su obra»). Amigos de la Cultura Científica, 1993. (Simposio celebrado en Camargo, agosto de 1991, edición de F. González de Posada, P. Alonso Juaristi y A. González Redondo).
- (3) GARCÍA SANTESMASES, JOSÉ, *Obra e inventos de Torres Quevedo*. Instituto de España, Madrid, 1980.
- (4) GONZÁLEZ DE POSADA FRANCISCO (editor), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior, Madrid, 1992. Biblioteca de la Ciencia Española, no 5.
- (5) “Homenaje a Torres Quevedo”, en *Revista de Obras Públicas*, 1.12.1926, pp 501-507.
- (6) LEONARDO TORRES QUEVEDO, *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, Madrid, 1978. (Catálogo de la exposición de igual título).
- (7) *Patentes de invención de Don Leonardo Torres Quevedo*. Registro de la Propiedad Industrial, Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 1988.
- (8) REDONDO ALVARADO, MARIA DOLORES, «Leonardo Torres Quevedo en la Revista de Obras Públicas», en *Revista de Obras Públicas*, 1988, pp 51-60.
- (9) RODRÍGUEZ ALCALDE, LEOPOLDO, *Biografía de D. Leonardo Torres Quevedo*. Institución Cultural de Cantabria, CSIC, Santander, 1974.

- (10) SÁENZ RIDRUEJO, FERNANDO, Ingenieros de Caminos del siglo XIX. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1990.
- (11) TORRES- QUEVEDO, GONZALO, «Torres Quevedo y la Automática», en Revista de Obras Públicas, marzo 1951, pp. 99-109. (Reproducido en Revista de la Real Academia de Ciencias, tomo XLV, cuaderno 10, Madrid 1951).

Se encuentran pendientes de publicación las actas del III Simposio «Leonardo Torres Quevedo: su vida, su tiempo y su obra») celebrado en Pozuelo de Alarcón (Madrid), en abril de 1995.

Correspondencia

Toronto 25 - V- 914

Querido Padre: Aquí te mando unos croquis de las modificaciones que me parece oportuno proponerte; como ves uno se refiere a la disposición general de la estación pequeña y el otro a la de los contrapesos.

Empezaré explicando el primero.

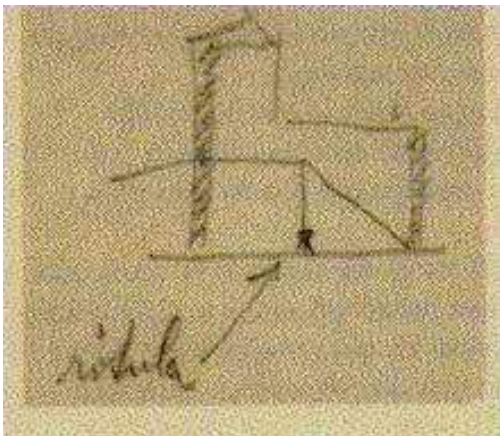
En la disposición dibujada en los ferropusiatos que tengo y en los dibujos que me has enviado (que son los mismos), encuentro como defectos:

- 1°.- que el punto de amarre de los castilletes a tierra está más cerca de la orilla que en el croquis que te mando
- 2°.- que la parte delantera del edificio está por completo ocupada por los soportes metálicos y por los tirantes, no pudiendo por consiguiente aprovecharse para sala de espera o cosa análoga. Para algo ya se podría aprovechar, pero los castilletes creo que estorbarían mucho de todos modos.
- 3°.- Como en esta estación no creo que vivirá nadie no me parece que es necesario dividirla en pisos y en varias habitaciones; de todos modos siempre estaremos a tiempo para hacer esto.

Justificación de mi croquis.- Queda toda la planta libre y desembarazada hasta una altura de 5 metros y pico que es la de los cables sustentadores. En lugar de soportes metálicos pongo unos machones de hormigón o de ladrillo (que aquí los hacen muy duros) y para tener la seguridad de que la presión es vertical, estos machones reciben el esfuerzo de los cables y de los tirantes por intermedio de rodillos. El punto de intersección de los cables, o mejor dicho de los tirantes horizontales, con los tirantes inclinados, caerá como es natural sobre el punto medio del machón. Pero esto de poner los soportes de fábrica no es esencial; yo creo que hará bonito y será de aspecto robusto, pero si te gusta más podemos poner vigas metálicas articuladas en su pie, como está indicado en el croquis de la izquierda.

Para las poleas del cable tractor es verdad que pongo un soporte que cae enfrente de la puerta, pero como sólo tendrá de planta 30 cm x 30 cm no estorbará y la puerta puede ser doble: *push* y *pull* a derecha e izquierda.

El tirante para este soporte lo amarro en el punto medio de una viga horizontal, que se apoya por sus dos extremos sobre las piezas que corren



sobre rodillos encima de los machones (o mejor dicho están quietas). Esta pieza para resistir por flexión no necesita ser extraordinaria. Tampoco necesita serlo el apoyo vertical de las poleas y eso que poniendo como pongo un solo tirante para las dos poleas trabajará por compresión y además por flexión. El último tirante de que hablo, lo amarro a la viga horizontal y no dejo llegar al suelo para que no estorbe; además no pondré una base sino piezas laminadas aunque de poca sección con objeto de que no dejen torcerse al apoyo vertical de las poleas, pues creo que el equilibrio de la proyección horizontal las fuerzas que obran sobre este apoyo es inestable y que dicho apoyo podría girar alrededor de un eje vertical de no impedirlo la rótula que lleva en su parte inferior y los cables que tendrían que saltar fuera de la garganta de las poleas; pero fiar en estas dos cosas no me parece bien, porque aunque la rótula no permita girar alrededor de un eje vertical a la sección inferior del apoyo, si llegase a producirse un movimiento de torsión a lo largo de éste, como es muy largo, la sección superior giraría algo y el cable se gastaría mucho más de lo justo.

Creo que entenderás lo que quiero decir. En cuanto a los diferentes amarres los haré con solidez, de modo que la seguridad depende de que se rompan por tracción piezas gruesas; no de que salten cabezas de roblones. (Ni pondré a los roblones trabajando a tracción). El soporte vertical de las poleas, lleva dos vientos anclados al edificio, a uno y otro lado.

Los tirantes inclinados t irán anclados en un gran macizo de hormigón. Como te he dicho en cartas anteriores esta estación irá en Colts point (si no disponéis otra cosa) que es donde el terreno esta menos franco, así es que para calcular este macizo echaré por alto; no a tirar dinero, pero sin hacer filigranas de ninguna clase, y suponiendo las hipótesis más desfavorables, (que para moverse en sentido vertical resiste el macizo sólo por su peso; que la tierra y roca que tiene que arrastrar para moverse en sentido horizontal, existen sólo por el rozamiento debido a su peso etc). No se me ocurre más que decirte relativamente a esta estación; en la otra no se me ocurre ninguna variación conveniente. Paso a hablar de los contrapesos.

Antes de entrar en materia debo decir que según lo que he podido calcular los cables que ofreció Feltem-Guillaume deberán romperse bajo una tracción de unas 50 a 55 toneladas; supongo que habrás encargado esos cables.

Por consiguiente si los cargamos con 10 toneladas tenemos un coeficiente de seguridad excesivo (si es que esta palabra puede aplicarse a un coeficiente de seguridad), dadas las perfectas condiciones en que trabajan los cables en tu sistema. Y aunque no pongamos ahora más que 10 toneladas creo que

debe preverse el caso de que el día de mañana queramos cargarlos más: bien porque haga más bonito con menor flecha, o como demostración de lo que puede hacerse, o para que la pendiente del carro en las estaciones sea menor y los viajeros estén más cómodos.

Por todo esto pienso calcular todo de modo que resista una tensión en los cables sustentadores de 20 (veinte) toneladas y de 7 (siete) en el de tracción o sea 14 los dos ramales.

Por razones arriba escritas, y por la conveniencia de poder sobrecargar un 10% de cuando en cuando cada uno de los cables, me parece conveniente disponer de contrapesos de tal modo que el aumentar y el disminuir el peso de cada uno, sea una operación fácil; además disponerlos de modo que el día de mañana puedan cargarse más de las diez toneladas. (Los que he pintado pesarían unas 17).

Para conseguir todo esto no me parecen muy a propósito los bloques de a tonelada del croquis que me mandaste. Además no creo que sea más barato emplear grandes bloques porque suponiendo que salga más barato el kilo, el manejar y colocar en su sitio sesenta bloques de a tonelada, no presenta evidentemente dificultad ninguna, pero es más caro que colocar el mismo peso dividido en bloques manejables por un hombre (aquí los jornales son caros).

De todas maneras creo que debo prescindir del precio, ya que creo andaremos sobrados de dinero y que las diferencias en este caso no serán muy grandes. La disposición que propongo, creo que para contrapesos de igual peso será algo más cara (unas 2.000 pesetas no por los bloques sino por las cajas de hierros laminados. Pero si es mejor no creo repararéis en eso.

He buscado una forma que satisfaga a las condiciones expresadas y me ha parecido lo mejor poner colgando de los cables unas cajas robustas donde sea fácil meter y sacar lingotes de fundición que una vez colocados como pastillas de chocolate, no puedan salirse. Estas cajas no deben tener roblones en los planos de contacto de una con otra para que no puedan estorbarse en los movimientos verticales. Creo que a pesar de las deficiencias del croquis lo entenderás (entre otras deficiencias, en la proyección vertical del cajón visto de canto el ancho acostado y el verdadero es 280 mm pero me he equivocado al pintarlo y lo he dibujado con un ancho según la escala de 400 mm).

Cada cajón tiene dos vigas una arriba formada por dos] y otra abajo por dos ¬ ; la superior es más robusta porque ahí va el amarre. La inferior cuelga de la superior por medio de una T y dos L que dan la vuelta por completo alrededor de la viga inferior cortando el alma y dejando sólo la

cabeza como un hierro plano donde éste es necesario. Esta cabeza se solapa a sí misma en una longitud de unos 60 cm alrededor de la viga superior y por encima de ésta; de modo que aunque se rompieran casi todos los roblones, con que quedara uno donde está la letra R bastaría probablemente. Para meter las tabletas de fundición habrá que presentarlas en esta forma | , empujarlas, en sentido horizontal y cuando estén dentro volcarlas a esta forma - (que es como están dibujadas en el croquis) y entonces no se pueden salir por impedirlo el reborde de los 1 .

Estas cajas van guiadas, pero aun suponiendo que fallara alguna guía no importa que se toquen una a otra, porque las partes que se habrían de tocar son verticales y lisas.

Es necesario que no se desvencije, y aunque no creo que lo haría poniendo sólo las piezas verticales de que hasta ahora he hablado, pongo por sí acaso los dos hierros planos de 6 ó 8 mm de grueso i i. Van en el plano medio C C y no en los AA o BB, porque si hiciesen algo de curva hacia afuera yendo en estos planos, podrían engancharse unos con otros, cuando los cajones estuviesen a diferente altura. Estas piezas i i sirven también para que la viga superior del cajón no trabaje por flexión (aunque podría resistir a la flexión muy bien). La viga inferior no sufre flexión ninguna, si se hace los lingotes de fundición tal como están pintados; sólo sufre una ligera compresión.

No he pintado arriostamiento ninguno entre los dos ramales AA y BB de los 1 y de la T, pero se puede poner uno en el medio por ejemplo.

Con esta disposición puedes observar que no es necesario poner roblones que mermen sitio en el sentido del ancho (280 mm). En los otros sentidos no importa que quiten algo de sitio porque es un tanto % mucho menor el sitio desperdiciado.

En el sentido del ancho, los 300 mm de que disponemos van bastante bien aprovechados.

Todo el material de este cajón trabajará a pocos k/mm².

Las guías, no guían cada una un cajón sino un lado de uno y otro lado del contiguo esto es para poder sacar y meter los lingotes. Creo como tú que es lo mejor guiarlos sólo por su parte inferior y con este objeto he pintado un tarugo saliente en el cajón sin detallar la unión. También creo que se debe dejar un huelgo de bastantes milímetros.

La sección de las guías resulta un poco rara; voy buscando que las superficies en contacto sean lisas, sin roblones, y que las guías puedan sujetarse no sólo por sus extremos superior e inferior, sino por puntos intermedios. Si se me ocurre o me envías alguna forma mejor ya la pondré.

Creo que ya he explicado quizá con más extensión de la debida lo que propongo. Como lo he escrito y pintado algo deprisa puede que haya algún detalle imposible, y en este caso espero que lo veré a tiempo.

Mientras me contestas por telégrafo supongo que me vas a contestar aprobando, y si así lo haces no perderemos tiempo ni trabajo; pero que esto no te induzca de ningún modo a decir que sí si no te gusta, porque diez días no representan gran cosa. **Y** ni que decir tiene que no tengo en ello amor propio ninguno y que con la misma buena gana trabajaré si dices que no o si dices que sí.

Y para que puedas enviar el telegrama con pocas palabras ahí va una clave:

la primera palabra del telegrama después de las serías se referirá a la estación; la segunda a los contrapesos.

Cada una de estas dos palabras pueden ser: *acepto*, *niego* o *escribo*.

Acepto significa que te parece bien y que no tienes nada que decir, o que lo que tienes que decir carece de importancia y me lo dirás por el correo, pero que por el momento no he de preocuparme y he de suponer completa aceptación.

Niego significa que no te parece bien y que debo sujetarme a los dibujos y medidas que me has enviado con toda la aproximación posible.

Escribo significa que no puedes decir que sí ni que no y que necesitas una explicación más larga, que me envías por correo. Esta será la palabra que pueda hacer perder más tiempo, porque aunque algo pueda hacer, siempre tendré que esperar al correo. Pero si la aplicas a los contrapesos (para lo cual debe ir en segundo lugar) tiene menos importancia este retraso, porque lo primero que hay que hacer son las estaciones.

Si deseas aplicar la misma palabra a la estación y a los contrapesos no necesitas repetirla, sino sólo ponerla una vez. Así por ejemplo *acepto* significa que aceptas ambas cosas.

Esta será la primera parte del telegrama que puede constar de **1 ó** de 2 palabras. Si no empieza por *acepto* *niego* o *escribo*, será que prescindes de la clave y que me lo explicas en lenguaje corriente.

Si aceptas la clave, después de poner la primera o dos primeras palabras, puedes querer decir alguna aclaración o modificación que pueda decirse en muy pocas palabras. Entonces debes poner: ***estación*** y todo lo que venga detrás se referirá a la estación; y después (si es que has hecho alguna observación a la estación) ***contrapesos*** y todo lo que venga detrás se referirá a los contrapesos.

Así por ejemplo.

acepto estación soportes metálicos, significa que lo aceptas todo menos los machones de hormigón y que debo hacer éstos metálicos.

Y este otro

niego acepto contrapesos 14 toneladas significa que en la estación debo atenerme a los planos de Madrid y que la idea de los contrapesos, te parece bien como lo propongo, pero debo hacerlos para 14 toneladas y no para 17.

Como esto es tan largo no cuento nada más. Los del tranvía no han contestado; ya volveremos a darles prisa.

Escribí a D. Valentín diciéndole iba a mandarte una carta muy larga. Si te parece oportuno mándale ferropusiatos de los croquis. Yo no puedo hacerlos hoy por ser fiesta y no quiero perder el correo.

Estoy muy bueno. Recuerdos de Balzola. Abrazos a todos y para ti de tu hijo que te quiere

Gonzalo

Toronto 8-VI-9 14

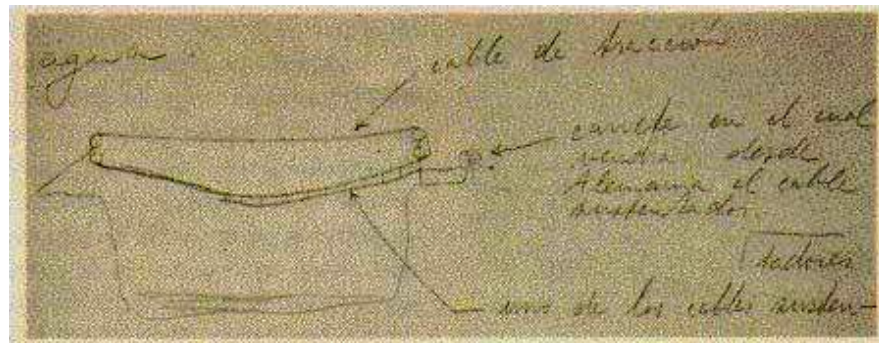
Querido Padre: Esta mañana he recibido muchas cosas: periódicos, una carta de Mamá con otra de Basabe, una tarjeta de Luisa y tu telegrama: *Acepto con trapesos diez toneladas.*

Así los haré en efecto, capaces de diez toneladas solamente. Por lo visto te parece (y yo lo encuentro muy natural) que no es necesario prever el deseo de una carga mayor.

El contrapeso del cable de tracción lo haré también *capaz* de 10 t. No se si con arreglo a tu telegrama debería reducirlo, pero como no tiene importancia a mi modo de ver el que la caja de este contrapeso sea un poquito mayor de lo que debería ser, y tiene la ventaja de no tener que encargar dos modelos diferentes, así lo haré de no recibir orden en contrario. Por lo demás aunque se cargara dicho contrapeso por completo la tensión de 5 t en el cable de tracción que puede soportar 18, no le pondría en peligro. Y tengo cierto interés (bien entendido, siempre que no opines tú en contra) porque he formado el proyecto de utilizar el cable de tracción para pasar los otros cables. (Pasar primero el de tracción), colocarle sobre las poleas en debida forma y utilizarle entonces).

Claro es que el pasar el cable de tracción será una operación mucho más fácil que el paso de los otros, en igualdad de circunstancias, pues que se puede pasar con la tensión de 1 tonelada y aún con menos sin que toque en el agua.

Pues bien: Si colgamos un cable sustentador del cable de tracción en la forma indicada, de modo que venga a ser una carga uniformemente repartida, y no damos tensión ninguna al cable grueso, la flecha que harán



dicho cable grueso y el ramal inferior del de tracción del cual cuelga, será sólo 26 m si la tensión en el cable de tracción es 5 t.

Si cuando haya llegado a la orilla el cable S, hacemos que no haya ningún enlace en una longitud a b (de unos 50 m por ejemplo), creo que no habrá inconveniente ninguno en que tiremos del cable S hasta llevarlo a su sitio. Claro que en planta se saldrán cada uno un poco de su plano vertical en esta forma.



Pero si la distancia a b es bastante grande no veo en ello inconveniente.

A la longitud de las cuerdas que hacen el papel de suspensiones entre ambos cables, la haría igual a d distancia que separa los dos cables en planta con lo cual creo que lo que se saldría el cable tractor de su plano vertical sería muy poco, y que en mi croquis lo he exagerado.

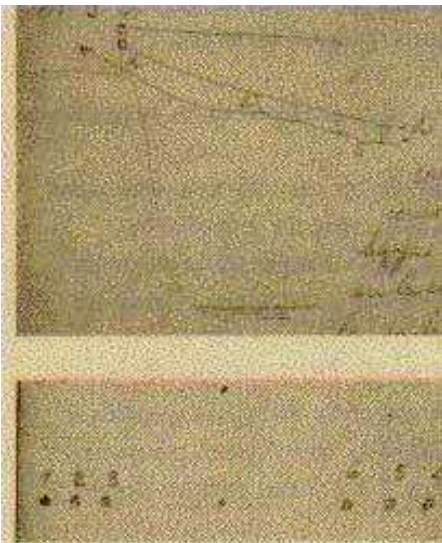
Una vez colocado el cable sobre las poleas y amarrado a su contrapeso y por el otro extremo, sería fácil creo, romper los enlaces y moviendo despacio el cable de tracción un hombre cuidaría de quitarle los cabos que quedarían atados a él, antes de que llegara a pasar por la garganta de la polea.

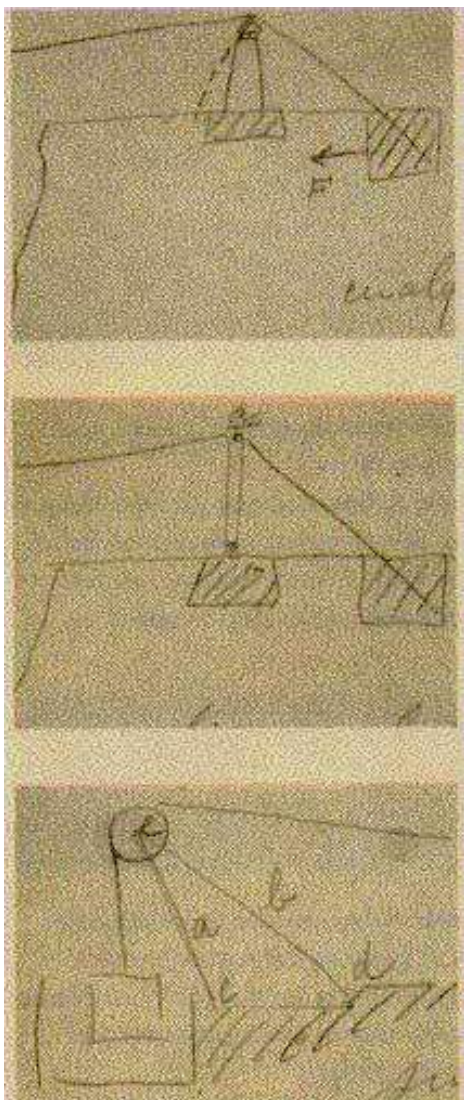
Y enseguida vuelta a empezar con otro cable sustentador.

Claro que el orden por el cual iríamos pasando los cables sustentadores sería el indicado o el simétrico.

Te escribo esto para ver qué te parece la idea, pues hay tiempo muy de sobra de que me contestes por correo.

Y dejando esto voy a decirte otra cosa. Aunque en tu telegrama aceptas los machones de hormigón que te propuse me ha entrado después el





requerimiento de lo siguiente: que si por cualquier defecto en la cimentación o por cualquier otra fatalidad se tambaleasen o moviesen un poco los machones habría riesgo de que la silla saliéndose de encima de los machones describiese el camino señalado de trazos, con las funestas consecuencias que comprendes pues es más que probable que se rompieran los cables (y aunque no se rompieran). Claro que esto no debe pasar; más pasaría. Pero en primer lugar es posible que en esa estación no lleguemos a la roca firme que calculo está a unos 5 m de profundidad, y si nos encontramos primero con un buen firme de cantos o fragmentos de roca (con el cual tropezamos cuando intentamos taladrar) será bastante.

En segundo lugar la fuerza F parece que puede influir perniciosamente sobre los cimientos de los machones.

Por todo lo cual estoy haciendo el proyecto poniendo en lugar de dichos machones unos soportes metálicos articulados en su base. Claro es que pienso cimentarlos muy bien; pero si cediera algo el cemento no pasaría nada más que una inclinación que tomarían dichos soportes.

En cuanto a los cables voy a hacer que lleguen hasta el punto a . El modo de penetrar por ventanas y la manera de impedir que entre la lluvia por estas ventanas a las cuales como es natural no se las podrá poner cristales ya lo tengo pensado. Los cables sólo tendrán que deslizar entre blandos lienzos y si este rozamiento nos parece pernicioso los forraremos por el sitio donde rozan. Y cuando haga buen tiempo se quitarán esos lienzos.

En la estación grande los soportes a y b no los pondré articulados en los puntos c y d sino empotrados. Aunque las articulaciones me gustan más, no encuentro fácil el ensamblaje de articular a la vez a y b en el eje e y siendo una unión rígida la de estas dos piezas arriba, y no siendo la sección de a despreciable al lado de la de b , aunque sea más pequeña no creo que debemos buscar la articulación abajo.

De todo esto ya me enviarás, las contraórdenes que consideres necesarias; yo mientras tanto sigo sin esperarlas.

Aunque con el tiempo es muy aventurado hacer cálculos creo que si no empezamos a trabajar a principios del mes que viene no será mucho después. Y creo que lo harán de prisa porque aquí aunque trabajan pocas horas al día (sobre todo los empleados de oficinas particulares) llevan las obras muy de prisa.

Respecto al edificio ya creo te habrán dicho de Bilbao lo que allí hemos escrito: Que nos veremos obligados a hacer una cosa de buena apariencia pero menos artística que lo de tío Luis Landeche. Yo lo siento porque el dibujo de tío Luis me gusta mucho, pero nos iba a costar mucho dinero y tiempo y quizá lo hicieran mal.

Uno de estos días te mandaré ferropusiatos de lo que vamos a hacer. Nada más por hoy. Ayer escribí a Luz una larga carta que creo llegará con ésta. Lo que quieras a todos y te abraza tu hijo.

Gonzalo

He recibido una carta de Costa y otra de Valls dales recuerdos y también a Santano y a todo el personal en el Centro.

Madrid, 26-6-9 14

Querido Gonzalo: He tardado en contestar a tu carta del 8 porque estoy muy ocupado estos días y quería hablarte despacio de una novedad que podría adoptarse en el transbordador; pero eso de hablarte despacio no ha resultado. Pienso ir con Luz dentro de tres o cuatro días a buscar casa para pasar el verano en los alrededores del Bidasoa y probablemente de allí a París para ocuparme del nuevo globo y ver si consigo ponerlo en marcha, cosa no muy fácil. Antes de marcharme quiero dejar algo arreglado todos los asuntos del Centro y por eso no he tenido lugar de estudiar detenidamente la modificación de que te hablo. Había empezado a trazar algunos croquis, los he terminado a la carrera y he añadido una ligera explicación (hojas A) para enviártelo todo. Ello es, en resumen una cosa a medio inventar aún y, si se ha de construir alguna vez será necesario antes, volver a estudiar el asunto con calma y hacer un verdadero proyecto.

Claro es que *de ninguna manera debes retrasar La obra tal como La llevas proyectada por atender a esta nueva idea*. Pero como a mí me parece interesante, creo conveniente que si es posible, la tengas en cuenta, al construir, para que luego no sea muy difícil aplicarla. Me refiero principalmente a las dificultades que podría haber para instalar el cable C' y conectar el tambor T con el motor.

En suma; si puede ensayarse la solución al construir el transbordador, se ensaya; si no lo crees prudente, por no retrasar la inauguración, procuras dar facilidades para que se ensaye más adelante; y, si aún esto último ofrece dificultades, no te ocupas del asunto.

Se conoce que interpreté mal la clave telegráfica. Y no sería inconveniente en que las cajas de los contrapesos sean grandes, por si conviene aumentar el peso de la barquilla más adelante, pero esto me parece muy poco probable; además si llega ese caso estaremos ganando mucho dinero y no nos importará que la obra cueste unos miles de pesetas más o menos de manera

que no es necesario tenerlo muy en cuenta. Resumen: haz los contrapesos como te parece.

Conforme con todas las otras cosas que me dices en tu carta.

No sé aún cómo embalarán los cables en Colonia pero les diré nuevamente que hagan unos carretes y me den un croquis de cómo han de ser éstos para enviartelo. De todos modos podrás arreglarte bien sobre todo, teniendo en cuenta que has de recibir dos cables de tracción y ocho sustentadores, de suerte que aunque tuvieras alguna avería (que seguramente no tendrás) habría remedio.

La manera que propones de pasar los cables sustentadores creo que dará buen resultado. No habrá inconveniente en que el cable de tracción sostenga un tensor de diez toneladas, si esto tiene alguna ventaja, pero no entiendo porqué lo has creído necesario. Si en vez de diez toneladas pones ocho, la flecha será próximamente de 33 mm y no creo que eso pueda ser un inconveniente. Así se haría trabajar algo menos al cable, pero, de todos modos, la cosa no tiene gran importancia.

No sé que tendrás pensado para cortar los amarres después de haber atado las dos puntas del cable sustentador, aunque comprendo que puede hacerse de muchas maneras. Si piensas que vaya un obrero suspendido de los cables, no dejes de exagerar todo lo posible las precauciones de seguridad para que ni aún por descuido del obrero pueda producirse un accidente.

Con recuerdos de los compañeros s del Centro te abraza tu Papá

De casa no te digo nada porque sé que tus hermanas te escriben casi todos los días.

Toronto 27-X- 9 14

Querido padre: En las últimas cartas que te he escrito, te contaba que sabíamos por conversaciones extraoficiales que nos habían concedido la prórroga solicitada de un año, y que los planos que presentamos estaban aprobados, así como admitida la formación de la sociedad canadiense para funcionar con más facilidad, en lugar de la constituida en Bilbao. Sin embargo en la carta que le escribieron a Balzola, anunciaban la concesión de la prórroga, pero nada dicen de los planos. En vista de ello fue nuestro amigo Mac Intyre a hablar con Langmuir, y después de dos o tres visitas y algunas conversaciones telefónicas con Jackson hemos podido poner en claro lo siguiente:

Con los planos están conformes pero necesitan más detalles. La conformidad la ha manifestado Jackson en conversaciones con Howard, que yo no he presenciado, pero no es de suponer que éste mienta en cosa como

ésta, y además tenemos una carta dirigida por Jackson a Howard, de la cual tiene copia D. Valentín en la cual del modo como manifiesta que querría se cambiase un detalle, parece deducirse que está conforme con lo demás. Dice que no dará el permiso para empezar las obras, hasta que no tenga más detalles relativos a las ataduras de los cables, contrapesos, carro y barquilla etc. Muchos de estos detalles, de fabricación parece que debe suministrarlos la casa constructora; otros ya haremos nosotros, y ya nos iremos arreglando; en cuanto a lo que estáis haciendo en España, me ha enviado Costa planos de las suspensiones de los puentecillos en ambas estaciones, y de la barquilla y carro. Por lo que pueda hacer falta sería muy conveniente que además de enviarme un par de azules más de esos, para poder dar copias y quedarme yo con una por lo menos, me enviase dos o tres copias de todo lo que haga.

Ya procuraré hacer valer el argumento de que como han de darnos el permiso para empezar a pasar viajeros después de hechas las obras, parecen innecesarios previos y minuciosos detalles, pero ya sabes lo difícil que es el hacer entender las cosas a veces. Es una lástima que Jackson nos tenga esa enemiga; para mí sería muy agradable poder entenderme amistosamente por él, siguiendo sus consejos, dejándome guiar etc. Pero como no hace más que poner dificultades y parece que se entiende mejor sólo con Howard, me parece más conveniente, dejar que éste lleve la mayor parte de las conversaciones, y como no siempre puedo yo entenderme perfectamente con Howard, resulta una situación pesada, pero con todo, ya procuraremos que las cosas marchen.

En vista de la situación, nos parece a Balzola y a mí que debemos hacer gestiones con algunas casas constructoras, siendo nuestra idea que debemos dejar los contratos en el menor número de manos posibles, (lo mejor sería que un contratista serio y responsable se comprometiera a hacerlo todo), y con este objeto vamos a hacer Howard y yo un viaje para tantear dos casas importantes:

Una es, Hopkins, de Montreal, y la otra The United States Steel Products Company de Nueva York. Con los representantes de la última en Toronto hemos tenido algunas conversaciones Balzola y yo; no sé exactamente cómo pero parece que trabajan en colaboración con The Trenton Iron Co. Trenton, N. J. U.S.A. y han hecho transportes aéreos muy importantes para mineral, y uno al menos para viajeros en el Tirol, que sube al pico de Kohlererberg. Todos éstos son del sistema Bleichert que es el que tienen patentado y explotan; a mí me han dado un par de folletos de propaganda bien editados, y aunque en el texto no dice nada, he podido ver en los croquis y dibujos que usan contrapesos tensores para alguno de sus cables. En cambio no he visto que usen varios cables independientes, como en tu sistema. Todo esto es una digresión, que se me ocurre por la cuestión de nuestras patentes, que no sé en

qué estado se halla. Solemos decir que tenemos patente, sin poder concretar mucho, cuando nos apura algún preguntón.

Y para concluir con todo lo relativo a planos: ahora sólo vamos a tantear, con las casas constructoras, pero nos conviene que enviéis instrucciones cuanto antes, de lo que se ha de hacer relativo a la compra de cables. Esto ya te lo he dicho en otras cartas; dispénsame que insista, y, bien puede pasar que envíes las instrucciones antes de que podamos hacer uso de ellas. También insistiré sobre ampliación sobre la noticia que me dio Costa, de que tendremos que hacer aquí las poleas del carro. Con la prórroga actual, las podréis hacer allí acaso?

Respecto a la constitución de la sociedad, o mejor dicho aceptación de la sociedad aquí constituida, por la Comisión del Parque, dicha sociedad, irán Balzola y Mac Intyre, y quizá vaya v funcionamiento yo también a Sainte Catherines a hablar con nuestro abogado Mr. Collier, porque ha manifestado Langmuir, que encargará de este asunto al abogado de la comisión, Mr. Staunton, para que éste se entienda con el nuestro. No creo que tengamos ninguna dificultad por este lado porque Staunton parece muy buena persona, y ha dicho que ya arreglará las cosas como nosotros queremos.

La carta dirigida por Langmuir, a Balzola, nos echa una chillería regular. Ha sido redactada por Jackson, y sabemos esto porque además de que los cargos que nos hace son los mismos que nos echó Jackson en cara el día que tuvimos una conversación a principios del mes pasado, hemos comparado el tipo de la maquina de escribir, con el de otras cartas, y hemos llegado a la conclusión de que ha sido escrita en las oficinas de Jackson y Langmuir. Parece ser que el primero es el único enemigo que tenemos. D. Valentín tiene copia de todo.

Cuando vaya a N. Y. iré probablemente a ver a Spilsbury, y veremos a ver qué cara pone. Supongo que estará suave, y además en las condiciones que estamos no pienso tener con él en caso contrario más consideraciones que las debidas a su edad, y la cortesía conveniente con todo el mundo.

Me parece que me ha salido esta carta un poco incoherente porque además de las dificultades mecanográficas, y que es tarde para el correo, ha cargado el fuego la patrona y estoy sudando, como un chino. Pero en fin ya la entenderás.

Di a Costa que me dispense, y que no he de quedar mal con él por mucho tiempo, y a él y a todos los del Centro que me acuerdo mucho de ellos. En casa lo que quieras de tu hijo que te abraza.

Gonzalo

P.D. No he sacado copia para D. Valentín. Tú le dirás algo si te parece.

COORDINACIÓN

ROSARIO MARTÍNEZ VÁZQUEZ DE PARGA

PILAR CARRIZOSA

DOCUMENTACIÓN: TERESA SÁNCHEZ LÁZARO

COLABORADORES: JESÚS IRIBARREN , JOAQUÍN MARTÍ, MARÍA SEPÚLVEDA

DISEÑO GRÁFICO: PILAR CARRIZOSA

FOTOCOMPOSICIÓN, FOTOMECÁNICA E IMPRESIÓN:

ARCE, CORPORACIÓN GRÁFICA, S.L.

PAPEL: REGISTRO AHUESADO, 130g . TIPOGRAFÍA: GARAMOND

EDITA: FUNDACIÓN ESTEYCO



**FUNDACION
ESTEYCO**