

ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

APUNTES SOBRE EL PROYECTO
DE PUENTE SOBRE LA MANCHA

Ante-proyectos de los señores Schneider y Ca., H. Hersent, Jhon Fowler
y Benjamín Baker

Deseando prestar siempre mi contingente al Instituto de Ingenieros chilenos, remito estos apuntes sobre el proyecto de puente sobre la Mancha, tomados de varias fuentes que he tenido oportunidad de consultar, creyendo que ellos sean útiles á nuestra institución, tanto por tratarse de un proyecto grandioso en su concepción y forma, como por que se encuentran analizados en estos estudios, varios sistemas de construcción, de los más modernos. El desarrollo de sus cálculos es por otra parte enteramente instructivo.

Como sería muy largo, traducir separadamente todos los folletos y demás documentos que tengo á la vista y que se han publicado sobre este interesante tema, me limitaré en los presentes apuntes, á resumir de la manera más clara que me sea posible, las diferentes cuestiones que se han presentado; los procedimientos de construcción propuestos por los autores del ante-proyecto; la exposición sumaria de los cálculos, etc., tratando de no omitir ningún dato ó detalle que pueda ser interesante ó nuevo en su forma.

Para dar más claridad á estos apuntes, tocaré cada tema separadamente, principiando por una *exposición de los hechos*,

siguiendo con la *descripción general del puente; sus fundaciones; cubicación de la obra y tiempo de ejecución; superestructura, tipo de viga que debe escogerse y disposición de sus tramos; montaje; transporte y colocación de los tramos metálicos, presupuesto y peso de las ferreterías; cálculos de resistencia.*

§ I

Exposición de los hechos

La idea de unir el continente con la Inglaterra por medio de un puente, no es nueva; ha preocupado constantemente, tanto á los hombres de gobierno, como á los capitalistas é ingenieros. Los hombres de gobierno han estudiado la cuestión bajo el punto de vista de facilitar los canjes de mercaderías entre la Inglaterra y el continente; pero, parece que la idea de unir la costa francesa con la inglesa, por medio de un puente, ha encontrado en este último país, no pocas personas, que han hecho oposición á todo proyecto por motivos de táctica militar; han visto en la realización de una obra semejante, fantasmas, que les han hecho creer que pudiera debilitarse la defensa de las Islas Británicas. No seguiremos este punto de la cuestión, árido de por sí, y escaso de interés por otra parte para una institución científica.

Los capitalistas y hombres de negocios, han estudiado el problema, bajo el punto de vista de tráfico probable; tarifas que convendría establecer; y por último, cuál sería el tanto por ciento remunerador de los desembolsos que semejante construcción ocasionaría.

No creo tampoco, que este otro punto de vista pueda interesar mucho á mis colegas, para seguirlo en todos sus detalles y cálculos que se han hecho, basados en las estadísticas comerciales de ambos países. Bástenos decir, que el resultado de estudios minuciosos hechos por eminentes estadistas, manifiestan, que por fuerte que sea la suma que se emplee en la construcción de semejante obra, ella será reem-

bolsada por las ganancias que pueden obtenerse de la explotación de las líneas férreas que atravesarán el puente.

Pasarémos, ahora, á analizar los diferentes proyectos presentados, en su parte científica, verdadero objeto de estos apuntes.

Desde principios del siglo, un gran número de hombres distinguidos se han dedicado al estudio de este problema, y citaremos los estudios de *Mr. Thomé de Gamand* como los que han contribuído más eficazmente á vulgarizar las ideas de unión entre el continente y la Inglaterra por medio de una obra de arte.

La mayor parte de los proyectos propuestos hasta hace poco, han sido insuficientemente estudiados y todos habían sido tachados de una ejecución casi imposible; y á causa de esto, han caído sucesivamente en el olvido. Se ha pensado entonces, viendo el poco éxito de los proyectos de puentes, en establecer una comunicación entre Francia é Inglaterra por medio de un tunel subterráneo. Los partidarios del puente, por su parte, han estudiado de nuevo la cuestión, y han llegado á demostrar que, su construcción, es actualmente posible; y á la fecha debe mirarse el problema como netamente puesto en el tapete de los hombres técnicos de ambos países.

Los adelantos de toda naturaleza, adquiridos en el arte de la construcción, permiten mirar este problema, con todas las probabilidades de éxito, por grandiosas que parezcan sus proporciones y atrevidos sus tramos proyectados de 500 metros de claro, apoyados en machones que tendrán por base el fondo del canal en sus diferentes profundidades.

El metal previsto para la superestructura, es el acero. Las numerosas aplicaciones que se han hecho en Europa en estos últimos tiempos, sobre todo en el puente del Forth, y que son la consecuencia de los progresos constantes de la metalurgia, no dejan la menor duda sobre la posibilidad de realizar, con el empleo del acero, una economía de 50 por ciento mas ó menos con relación al empleo del hierro en las mismas condiciones y dando las mismas seguridades.

2.—Los ante-proyectos de los señores H. Hersent, Schneider y Ca., Fowler y Baker, aunque completos en todas sus partes, no son presentados por sus autores, como realmente definitivos y por el contrario, creen que se podrán introducir en ellos cambios favorables y útiles si se llegan á hacer nuevos estudios para la ejecución de la obra; pero, cualquiera que sea el juicio que se pueda formar de esta obra, sus autores tendrán siempre el mérito de haber preparado ante-proyectos, con datos bastante precisos para permitir la apreciación y un juicio completo de todos los trabajos que habría que ejecutar.

Los materiales necesarios como materias primas y las máquinas y herramientas que se tendrían que construir para la ejecución de estos trabajos, representan mas ó menos la suma de 1.000,000 de toneladas. Las industrias de la Francia é Inglaterra contribuirían cada una por mitad para su abastecimiento, lo que naturalmente haría que estas industrias tomaran un fuerte desarrollo en ambos países.

3.—Para poder saber con toda precisión el costo de construcción de un puente sobre la Mancha, sería necesario llevar los estudios de los ante-proyectos aún más lejos, y modificar, según las necesidades de la navegación, cuyos intereses se encuentran comprometidos, el número de tramos de 500 metros de luz, y los que, en los bajos fondos, tendrían una luz menor. Habría que estudiar también, detalladamente, las instalaciones considerables que tendría que establecerse en el puerto de Ambleteur y en un punto de la costa inglesa en la proximidad del puente.

Sin embargo, para dar una idea de los gastos, y admitiendo la distribución de tramos representada en la fig. 1, que parece muy razonable, se pueden dar las sumas siguientes:

Por las cepas metálicas y soportes en alba-	
ñilería.....	fr. 380.000,000
Para la superestructura.....	fr. 480.000,000
	<hr/>
Total.....	fr. 860.000,000

ó sean 172.000,000 pesos oro.

Las obras necesarias para la unión de las líneas férreas de Francia é Inglaterra, con las del puente, deberán ser estudiadas y presupuestadas posteriormente de común acuerdo con las compañías cuyas líneas abordan el puente.

Se ha calculado que la ejecución de los trabajos demandaría más ó menos diez años.

§ II

Descripción general del puente

1.—*Ubicación.*—La ubicación que parece debe ser preferida para unir la Inglaterra con el continente por medio de un puente que atravesase el estrecho, se encuentra indicada, se puede decir naturalmente por la *línea de menor profundidad y de menor distancia*; esta línea parte del cabo *Gris-Nez* y llega á la costa inglesa cerca de *Folkestone*, pasando por los bancos de *Varne* y de *Colbart* (fig. 1). La distancia total que hay que atravesar es de 38 kilómetros más ó menos.

El trayecto no es enteramente rectilíneo, presenta dos codos, situados en cada uno de los bancos *Colbart* y *Varne*; se ha adoptado esta disposición para aprovechar la presencia de los bancos y evitar grandes profundidades, disminuyendo, en consecuencia, la altura de los machones proyectados y el *número de fundaciones ó profundidades excepcionales*. Estos bancos están situados casi en el medio del estrecho, distando uno de otro seis kilómetros, y la altura de las aguas sobre su superficie, no es mas que de 7 á 8 metros en las bajas mareas, encontrándose separados por un canal de 25 á 27 metros de profundidad. Entre el banco *Varne* y la costa inglesa, la pro-

fundidad no pasa de 24 metros; pero entre el banco *Colbart* y el *Gran-cux-Oeuf*, el fondo se baja bruscamente hasta 40 metros bajo el cero, para llegar a 55 metros en la mitad de la distancia; después se eleva progresivamente; en estos últimos puntos es donde se encuentran las mayores dificultades de fundación.

Al mismo tiempo, el trazado propuesto en el ante-proyecto da la distancia más corta y permite fácilmente los empalmes de las líneas del puente con las existentes en Francia é Inglaterra.

Por las razones que acaban de exponerse, de una manera sumaria, la ubicación fijada en la fig. núm. 1 ha parecido la más aceptable.

2.—*Cepas y machones en albañilería.*—*Ante-proyecto del señor H. Hersent.*—La primera preocupación tratándose de fundaciones, ha debido ser naturalmente la calidad del fondo del mar y resistencia del suelo, para saber si su naturaleza era tal que pudiera soportar el peso de las construcciones que se proyectan.

En segundo lugar, se han preocupado de la forma que deben tener estos machones, para obtener la mayor superficie posible en la base, sin ocasionar perturbaciones en las corrientes y en las resacas de las mareas del canal. Por último, se han buscado las dificultades de ejecución de dichas obras y las instalaciones que serán necesarias para construirlas con entera seguridad.

Los estudios del fondo del mar, hechos en varias ocasiones, han demostrado, que es suficientemente sólido para soportar obras como las proyectadas. Los sondajes ejecutados en estos últimos tiempos, y publicados por Mr. Thomé de Gamand, á propósito del *túnel sub-marino*, han confirmado, por otra parte, la exactitud de los resultados anteriores sobre la solidez del suelo. Sin embargo, si se decidiera la construcción del puente, deberán hacerse nuevas experiencias, enteramente precisas, para cada machón, para poder resolver de antemano las cuestiones de detalles de cada fundación.

Por el momento, no cabe duda que el fondo del canal

puede ser cargado con 10 á 12 kilogramos por centímetro cuadrado, como se hace á menudo con terrenos fuertes y menos resistentes que la calcárea blanca ó azul que se encuentra en todo el fondo del mar de la Mancha. Las partes blandas se encuentran en la superficie, en contacto con las aguas, y las capas de sedimento ó de arena que pueden cubrir el fondo en ciertos puntos, sobre todo cerca de la costa, serán sacadas para hacer reposar los machones sobre el suelo enteramente resistente.

Los machones se encuentran proyectados, en albañilería, compuestas de blocks de buenos materiales, ligados con morteros de cemento Portland, reposando en el fondo del mar. La superficie de estos machones, al nivel de las altas mareas, en la parte donde se colocarán las cepas metálicas que sostienen la superestructura del puente, será de 650 metros cuadrados. Los paramentos de estos machones tendrán una inclinación de $1/10$ hasta los cajones de fundación para aumentar la base de contacto con el suelo. Estas construcciones representan en plano un rectángulo de 25 metros de largo, y con un ancho correspondiente á cada grupo, según la profundidad del mar en los puntos donde van á ser colocados; estos rectángulos se terminarán en sus extremos por semi-circunferencias, para oponer la menor resistencia posible á las corrientes.

Hasta cierta altura, la albañilería será maciza en todas sus partes, y mas arriba se dejarán algunos huecos, de alguna importancia, formando cámaras que facilitarán la visita de las amarras de la parte metálica, y disminuirán el peso de la construcción, y las presiones que cargarán sobre el fondo. En estos puntos deberá siempre dejarse una sección suficiente á las albañilerías para resistir la superestructura y sobre-carga.

Las albañilerías serán construidas por medio de cajones metálicos, análogos á los usados para las construcciones de puentes por medio del aire comprimido; cajones convenientemente dispuestos para hacer flotar los machones hasta el momento necesario en que deben descansar en el suelo; lo que permitirá hacer la limpia del fondo con exactitud y colocar el

concreto que debe ser interpuesto entre la albañilería y el suelo. Los mismos cajones llevarán una cúpula superpuesta (que se sacará despues) y que permitirá ejecutar tranquilamente la parte de la albañilería comprendida entre las bajas y altas mareas.

Poco más abajo del nivel de las bajas mareas, se proyecta un recogido en el cuerpo de las fundaciones, para corregir las pequeñas diferencias de posición que podrán resultar en la colocación de los cajones. Sobre este recogido, las albañilerías deben tener paramentos de piedra granítica canteada, hasta la altura de la plataforma sobre la cual reposan las columnas de las cepas metálicas; esta plataforma se encuentra á los 15 metros encima del nivel de altas mareas.

Una serie de disposiciones especiales se diseñarán para la unión de las cepas con la albañilería, de tal manera que permitan visitar constantemente estas uniones en todo tiempo y poder darse cuenta precisa y examinar si se producen ó nó averías en cada una de ellas.

El conjunto de los machones ocupa poco más de las doceavas partes de la sección del canal de la Mancha; se ha creído que esta reducción de sección no será sensible y no haga aumentar las corrientes del canal, de manera que provoque erosiones en el fondo, ó pueda producir un aumento sensible de velocidad en las resacas de las mareas.

La luz de los grandes tramos se ha fijado en 500 y 300 metros y no siendo menor de 250 y 100 para los pequeños; en todo caso, se colocarán de manera que ninguno de ellos pueda ser considerado como obstáculo para la navegación de los veleros, por cuanto para la navegación á vapor esta objeción no existe.

Las corrientes, que serán siempre un poco mayores en el centro de los tramos, arrastrarán indudablemente los cuerpos flotantes y á los navíos averiados ó desamparados sin que toquen los machones. Se puede, pues, creer que, dada la luz de los tramos, estos machones no modificarán en nada el

régimen del mar y no serán un obstáculo apreciable para la navegación.

3.—*Superestructura metálica.*—*Ante-proyecto de los señores Schneider y Ca.*—Sobre la plataforma de albañilería de los machones, se fijarán sólidamente cepas metálicas, sensiblemente cilíndricas, cuya altura varía de 40 m. á 42.780 y sobre las cuales reposarán las vigas principales del tablero. Queda, entónces, entre la parte inferior de las vigas y el nivel del agua, en las bajas mareas, una altura libre que varía de 61m á 63m 780; i en las altas mareas, esta altura será de 54 metros á 56m 780.

Como se vé, estas alturas son más que suficientes para dejar libre paso á cualquier navío. La colocación del tablero sobre cepas metálicas casi cilíndricas, tiene la ventaja que la altura libre mínima de 54 metros, es franca sobre todo el largo del tramo, lo que no se ha realizado en puentes análogos, como el construido en el Forth, en el cual la altura libre al centro es de 45^m60, pero esta altura no se mantiene sino sobre el tercio central de la luz; en los otros dos tercios de los extremos, la altura libre disminuye progresivamente hasta llegar a 15 metros, apenas cerca de los machones de albañilería.

Para conciliar en lo posible las exigencias de la navegación con la economía de las instalaciones del puente, se han admitido tres tipos de grupos de tramos:

- 1.º grupo.—Tramos alternados de 300 y de 500 metros.
- 2.º grupo.— Id. id. de 200 y de 350 metros.
- 3.º grupo.— Id. id. de 100 y de 250 metros.

Los tramos mayores corresponden con las mayores profundidades, y los más pequeños en los bajos y cerca de las riberas.

El sistema de viga escogido es el de *barras simples y rígidas, sin líneas superabundantes* para estar seguros de la repartición de los esfuerzos; las barras secundarias que se han admitido, tienen exclusivamente por objeto reducir la longitud de ciertos elementos y disminuir las trepidaciones de las barras

estiradas y dar, á las que trabajan á la compresión, una relación conveniente entre su largo libre y la menor sección transversal, lo que permite evitar de tener que tomar en cuenta el coeficiente de compresión que aumentaría el peso de dichas barras.

El nivel de las vías férreas se encuentra á 72 metros encima de las bajas mareas. Se habría podido reducir esta altura, colocando las vías en la parte inferior de las vigas maestras; pero en este caso, habría sido preciso dar á las piezas de puentes, dimensiones, y por consiguiente, pesos muy considerables. Levantando las vías, como se ha hecho, se obtiene una notable economía en el peso, economía que, no es absorbida ciertamente, por el aumento de gastos que resultará en los viaductos de acero del puente. El número de vías es de dos y el tablero propiamente dicho tiene 8 metros. Pero el ancho del puente es variable; la mayor distancia entre los ejes de las vigas principales es de 25 metros (espacio necesario para asegurar la estabilidad de la obra) suponiéndola sometida á la acción de un viento violento.

Las vías tienen la trocha común de 1^m 50 entre los ejes de los rieles, los cuales se encuentran colocados entre canales para impedir los desrielamientos. Un piso de palastro ondulado, cubre el tablero del puente y permite el acceso, en todas sus partes, á los agentes del servicio; entre las vías y fuera de ellas, hay veredas sobre las cuales los agentes pueden circular y favorecerse de los trenes. Puede también colocarse sobre el tablero toda clase de señales, cambios, etc., etc.

Para evitar los estorbos de la navegación, se establecerán faros en los machones, los cuales guiarán á los navegantes indicándoles perfectamente la distancia á que se encuentran de las costas de Inglaterra y de Francia y los bancos de Colbart y Varne.

No se ha estudiado el proyecto de puente con cuatro vías, porque para el tráfico probable calculado, es suficiente la instalación de dos vías, y para satisfacer los escrúpulos militares,

se propone poner en los extremos dos tramos giratorios que permitan cortar el puente.

§ III

Fundaciones.—Cubicación de la obra.—Tiempo de ejecución

ANTE-PROYECTO DEL SEÑOR H. HERSENT

1.—*Disposición y dimensiones de los machones de albañilería.*
—Según los sondajes, siendo el suelo suficientemente resistente para soportar con toda seguridad, los machones con su sobre-carga, se ha calculado la superficie de la base de dichos machones, de manera que el terreno sea cargado con 10 kilogramos más ó menos por centímetro cuadrado. Para los machones cuyas fundaciones irán á 55 metros bajo las más bajas mareas, las dimensiones, el cálculo de las secciones de albañilería, las cargas por centímetro cuadrado, son las siguientes:

Largo en la base.....	57.00 m.
Id. á la altura de bajas mareas.....	47.50 m.
Id. debajo de la corniza.....	42.00 m.
Ancho en la base.....	32.00 m.
Id. á la altura de bajas mareas.....	22.50 m.
Id. debajo de la corniza.....	17.00 m.
Superficie en la base.....	1604.00 m. ²
Id. á la altura de bajas mareas.....	960.00 "
Id. debajo de la corniza.....	651.00 "
Volumen exterior.....	86000.00 m. ³
Id. de los huecos.....	28800.00 "
Id. de la albañilería.....	57200.000 "
Carga por centímetro cuadrado en la base sobre el suelo de la fundación..	9.80 k.
Carga por centímetro cuadrado al nivel de baja marea.....	5.75 k.
Carga soportada por la albañilería en la base de las columnas de las cepas...	8.20 k.

El examen de estas cifras, manifiesta que las dimensiones están bien calculadas y sólo bastaría demostrar que la base parece suficiente para resistir á los esfuerzos transversales y longitudinales (entre los cuales el viento es sin disputa el primer factor). El largo de un tramo soportado por un machón es de 400 metros, y la superficie expuesta al viento sobre este largo es poco más ó menos de 7590 metros cuadrados. La superficie herida por el viento en las columnas metálicas de las cepas es de 622 metros cuadrados. Sobre el basamento de 20 metros es de 370 metros cuadrados y sobre la parte inferior de la pilastra es de 1570 metros cuadrados. Si se admite que la intensidad del viento y la presión ejercida por las corrientes es de 270 kilogramos por metro cuadrado, los esfuerzos que se ejercerán en cada una de las superficies serán de:

$$7590 \times 270 = 2.049.300 \text{ kilogramos.}$$

$$622 \times 270 = 167.940 \quad "$$

$$370 \times 270 = 99.900 \quad "$$

$$1570 \times 270 = 423.900 \quad "$$

Las *momentos solicitantes* de estas fuerzas serán:

$$2.049.300 \text{ k.} \times 137.1 \text{ m.} = 280.959.030 \text{ kilogrametros.}$$

$$167.940 \text{ " } \times 95.4 \text{ " } = 16.021.479 \quad "$$

$$99.900 \text{ " } \times 66.0 \text{ " } = 6.593.400 \quad "$$

$$423.900 \text{ " } \times 28.00 \text{ " } = 11.869.200 \quad "$$

$$\text{Total..... } 315.443.106 \text{ kilogrametros.}$$

Es decir, que el momento solicitante, que tiende al volcamiento del machón, en su base es de 315.443.106 kilogrametros. Por otra parte, el *momento resistente* se puede calcular como sigue:

Un tramo de 400 metros de largo pesa...	7.164,000 kilóg.
Dos columnas metálicas.....	2.010,000 "
Un machón de albañilería.....	148,695,000 "

Peso total..... 157.849,000 kilóg.

La abscisa x del punto de pasaje de la resultante con relación al centro del machón, es

$$x = \frac{315.443,106}{157.849,000} = 1 \text{ m. } 99$$

La superficie de un machón es de 1,604 metros cuadrados y su momento de inercia i' con relación al eje menor del machón, tiene por valor 355,349; de donde el radio de giración

$$r^2 = \frac{355,349}{1,604} = 221 \text{ m. } 5$$

La mitad del largo del machón $n = 28 \text{ m. } 5$, por consiguiente

$$\frac{r^2}{n} = d = \frac{221,5}{28,5} = 7,77$$

El coeficiente de estabilidad, es decir, la relación entre el momento solicitante en la base del machón, comparado con el momento que diera una compresión ó en la arista extrema del lado del viento, sería de:

$$\frac{d}{x} = \frac{7,77}{1,99} = 3 \text{ m. } 90$$

2.—*Cajones de la fundación.*—Largo sería dar detalles de estos aparatos, y se necesitaría la ayuda de láminas bien ejecutadas para llegar á dar una idea completa de su ejecución. Por este motivo, me limitaré á dar una descripción sumaria de esta parte de la obra.

El cajón metálico, que servirá para la fundación de cada machón, tendrá la forma exterior y dimensiones correspondientes á la profundidad prevista y se compondrá de dos par-

tes enteramente distintas: la inferior de dos metros de altura, abierta abajo; y la superior, cuyas paredes exteriores protegerán y envolverán la albañilería del cuerpo del machón y formará una sola cámara que tiene por superficie la del machón. Amarras especiales y piezas transversales, serán necesarias para contener y mantener la rigidez de los palastros de las paredes.

La parte inferior, destinada al empleo del aire comprimido, y á soldar, por decirlo así, la albañilería del machón con el suelo, se compondrá de una muralla exterior metálica limitando el contorno, y de tabiques verticales dividiendo la superficie horizontal, en compartimentos de 50 á 60 metros cuadrados cada uno. Estos compartimentos, susceptibles de ser ocupados y visitados, separadamente ó en conjunto, por medio del aire comprimido, servirán para limpiar el suelo en el fondo del mar y tallarlo convenientemente para tener una superficie de asiento horizontal. Se llenarán después con concreto, haciendo así la unión entre el suelo y las albañilerías que se encuentran construidas encima de las cámaras de trabajo. Cada uno de estos compartimentos, ó cámaras de trabajo estará provisto de sus esclusas de aire, tanto para la visita como para la extracción de los materiales y escombros y demás aparatos necesarios para echar el concreto.

Las fundaciones de los primeros machones, cerca de las costas, podrán ejecutarse sin dar lugar á innovaciones en los medios ordinarios empleados para esta clase de construcciones. La experiencia adquirida en estos primeros trabajos permitirá sin duda determinar los mejores procedimientos que deben emplearse para la limpia del suelo y la manera de llenar los compartimentos de toda la base, para profundidades superiores á 20 metros bajo la más baja mar.

Hasta ahora, los trabajos de fundaciones ejecutados por medio del aire comprimido, no han pasado de 20 á 25 metros de profundidad bajo el agua, y excepcionalmente, se ha bajado á 30 y aún á 35 metros; pero, á estas honduras se ha constatado algunos accidentes, que parecen ser la consecuencia de

la fatiga de los trabajadores, á causa de la falta de disposiciones convenientes para la compresión y descompresión de los obreros.

Los buzos, que pescan esponjas y el coral, van hasta 50 metros de profundidad y sufren, por consiguiente, la compresión y descompresión que se produce en esas profundidades en el aire comprimido; no es, pues temerario afirmar, que será posible visitar el suelo del fondo en todos los machones, ántes de poner el concreto en la base de las cámaras de trabajo.

Se puede también admitir, que el fondo puede ser limpiado de antemano por medio de aparatos especiales que no exijan el empleo del aire comprimido; otro tanto se puede decir del relleno con concreto de las cámaras de trabajo de los cajones de fundición; y á este propósito se han examinado los resultados que se obtendrían, si se hiciere descender el concreto en la cantidad necesaria para llenar un compartimento, de una manera continua, por una chimenea de 120 metros; y se ha llegado á tener la convicción, que si el concreto puede expulsar el agua de dichas cámaras, para tomar su lugar, el relleno se ejecutaría de una manera satisfactoria. Aún, este procedimiento de echar el concreto de una manera continua, es muy preferible al del servicio de valdes, etc., etc., que da lugar á la formación de lechadas que debilitan los concretos.

Dadas las disposiciones que se admitan para las cámaras de trabajo, ellas darán la forma definitiva de los cajones en su parte inferior y las líneas de resistencia y por consiguiente su osamenta. El cajón será formado de una pared exterior inclinada, y de paredes verticales fuertemente reforzadas, y en la parte que debe estar en contacto con el suelo tendrá una forma de cuchillo. Todas estas murallas verticales serán ensambladas con el peso metálico, que repara las cámaras de trabajo de la parte superior. Cuando los cajones están suficientemente cargados, los cuchillos tocarán el fondo en el momento de baja mar, y ellos deberán tener dimensiones importantes á causa de las presiones que tienen que soportar, y para su construcción se tomará muy en cuenta los resultados de las

primeras experiencias que se pueden hacer en los machones de las orillas, y á este respecto, las campanas para sacar los enrocamientos empleadas en los puertos de Brest y de Cherbourg han dado ya indicaciones muy precisas.

La parte superior al piso metálico del cajón, servirá para contener las albañilerías proyectadas y protegerlas del contacto inmediato del agua; por consiguiente, las paredes metálicas del cajón serán impermeables y sostenidas por amarras verticales y horizontales para mantener invariablemente las formas. Estas disposiciones permitirán construir las albañilerías en seco y á medida de las necesidades del trabajo. La parte superior del cajón encima del nivel de bajas mareas, será movable y podrá utilizarse, sucesivamente en varios machones. Serán cúpulas de paredes metálicas ajustadas las unas á las otras, que protegerán la construcción de las albañilerías, y permitirán poner los zócalos al abrigo de las agitaciones del mar.

Este conjunto de disposiciones, como se ha visto, permitirá ejecutar las albañilerías como si estuvieran en tierra, aunque realmente se encuentran flotando en el mar. Este procedimiento se ha usado con éxito en los diques de *Saigón* y de *Missierry* en Tolón, donde 45,000 metros cúbicos de albañilería, es decir, más de 100,000 toneladas, flotaron en un cajón durante varios meses.

3.—*Albañilerías*.—Las albañilerías de los machones están provistas con buenos materiales calcáreos que se encuentran á los alrededores del cabo *Gris-Nes*, en *Marquire* i en *Boulogne*, y los morteros para toda la construcción serán compuestos de 500 kilogramos de cemento Portland por metro cúbico de arena silicatada ó granítica, excluyendo todas las arenas calcáreas ó esquistosas que sean susceptibles de descomponerse. Para cubrir los fierros y viguetas del piso del cajon metálico, y tener una superficie unida, se pondrá una capa de concreto de 1.^m 5 á 2 metros de espesor y encima se levantarán las albañilerías ordinarias de piedra devastada hasta la altura de

bajas mareas, dejando en el interior, como ya se ha dicho, huecos, para disminuir el peso de la construcción.

Para establecer una perfecta unión entre las diferentes partes de la albañilería de cada machón, se colocarán cada 4 metros más ó menos, dos corridas de piedra tallada, las cuales traerán como resultado favorecer la mejor repartición de las presiones y uniformar el recogimiento ó descenso natural de las albañilerías. A partir del nivel de las bajas mareas, los huecos serán terminados por bóvedas con sus respectivas chimeneas, que permitan el fácil acceso para la visita y colocación de las amarras ó anclas de las columnas de las cepas del puente. Los paramentos de las albañilerías sobre el nivel de las bajas mareas, serán de piedra tallada granítica, para que tengan suficiente resistencia contra los agentes atmosféricos y demás causas de destrucción á que se encuentren sometidos; y, por último, las últimas hiladas, que forman la plataforma sobre la cual descansarán las columnas metálicas de las cepas, serán de piedra tallada y granítica, para asegurar una buena trasmisión de las presiones en toda la superficie del machón. Al rededor de la plataforma se pondrá una baranda para proteger á los agentes de servicio cuando tengan que visitar los machones.

4.—*Montage.*—*Trasporte y colocación de los machones y soportes.*—A causa de la gran dimensión de los cajones de fundación y de la gran cantidad de materiales que se necesitan, se proyectan los arreglos necesarios para el establecimiento de puertos en los puntos vecinos al lugar donde se colocará el puente; que será probablemente, del lado de Francia en *Ableteure* y en la costa inglesa en *Talkertone*. En *Ableteure*, se construirán dos molos dejando una entrada libre de 250 metros en lugares donde la profundidad de agua sea de 7 á 8 metros en baja mar. Dos estacadas de madera, separadas de 150 metros y formando muelles, dejarán un recinto protegido, que dará acceso al puerto artificial, que será escavado en parte, donde se encuentra el actual puerto. Este puerto artificial ó pantano, tendrá 6 metros de hondura en baja mar por 700

metros de largo y 350 de ancho, de manera que permita las instalaciones necesarias para la construcción y armadura de varias vigas al mismo tiempo; y utilizar el fondo, en la construcción de los cajones de fundación.

Se harán también varias otras instalaciones más ó menos importantes, para asegurar un trabajo cómodo y continuo en todos los talleres que hay que instalar y atender simultáneamente, á la armadura de las ferreterías, lanzamiento de los cajones de fundación; elaboración del concreto, embarque y transporte de materiales, tallado de piedras, etc., etc.

La primera parte de los cajones de fundación, donde se encuentran las cámaras de trabajo, cubiertas con su piso metálico á 3m. ó 4.5 metros de altura, serán construidas en un pantano cerrado, y se pondrán á flote abriendo las puertas de las esclusas en los momentos de altas mareas de aguas vivas, para ser conducidos inmediatamente al *ante-puerto* donde hay más hondura y se podrá continuar el trabajo y colocar las paredes laterales de los cajones hasta los 12 ó 15 metros debajo del nivel de bajas mareas. Se principiará inmediatamente á lastrear el cajón por medio de una capa de concreto de 2m. á 2.5 metros de espesor, lo cual dará la estabilidad necesaria para que sea fácilmente remolcado y transportado á puertos donde existan mayores profundidades de agua, y cuando el cajón se encuentre sumergido de 10 á 12 metros, es decir, cuanto sea posible sumergirlo á la salida de las estacadas de protección, el cajón será elevado con su lastre de albañilería, al lugar que deberá ocupar y se procederá entonces a guiarlo convenientemente, limpiar el fondo del mar y completar su inmersión.

5 —*Colocación de los cajones* —La operación mas importante, y talvez la más delicada, de este gran trabajo, será *colocar con precisión los machones en su lugar definitivo, cuando los cajones de fundación se encuentren aún flotando, para que el largo de cada uno de los tramos de la superestructura sea más ó menos el mismo que se ha proyectado.*

Será preciso, evidentemente, tomar muchas precauciones,

evitar el mal tiempo, hasta que la experiencia aconseje los medios más eficaces. Se procederá á hacer la inmersión del cajón en baja mar, para poder tocar fondo y fijar los cajones en poco tiempo, y levantarlos después si las triangulaciones han demostrado que su inmersión ha sido defectuosa, y poder volver á comenzar otra vez las mismas operaciones á la otra baja marea hasta que verificada su posición se reconozca exacta. La manera de conducir estas operaciones, será analoga á la empleada por los señores H. Hensent y Castor, para clavar los machones del puente de *Arlés* sobre el *Ródano* (ver una de las figuras) valiéndose de grandes pontones fuertemente anclados al fondo, que servirán para mantener los andamios necesarios para guiar los cajones. Ingenieros expertos deben verificar constantemente la posición de estos pontones teniendo presente las desviaciones debidas á la flotación.

Estos pontones deben estar provistos de tornos, máquinas á vapor, etc., para poder obrar con seguridad y con la energía necesaria, y concluida las operaciones de un machón, estos mismos tornos deben poder levantar las anclas de amarra de los pontones.

Los pontones formarán al rededor de cada machón, en el momento de la inmersión, una cintura de protección que atenuará la acción de las olas, pudiendo aún tomarse con este objeto otras precauciones, y aún echar aceite que, como se sabe, según las últimas experiencias hechas por el almirante Clavé tranquiliza completamente la superficie del mar. De esta manera, se puede tener una especie de recinto cerrado y protegido al rededor del cajón, donde el mar esté siempre tranquilo y permita el embarque y carguío de materiales en todo tiempo. La experiencia, por otra parte, dirá las demás precauciones que serán oportunas; pero es casi seguro que se podrá trabajar sobre los cajones de fundación, como sobre islas flotantes.

Como lo hemos hecho notar, para proteger las albañilerías superiores, y colocarlas según alineamientos precisos, cada cajón estará provisto de una parte metálica, que se llama cúpula

por su forma exterior. El montaje y desarmadura de esta parte de los cajones no ofrecerá dificultades de ningún género.

6.—*Arreglo del fondo.*—Antes de sumergir los cajones, se reconoció fácilmente por medio de sondages, cuál es la naturaleza del fondo sobre el cual el machón va á descansar y si es horizontal ó nó. Estos reconocimientos permitirán asegurarse de antemano, si el suelo es suficientemente resistente ó si será necesario hacer trabajos de encastramiento de los cajones de fundación. Todos estos trabajos de emparejadura del suelo y escavaciones en el fondo para encontrar los machones, serán necesarios probablemente en las orillas, y en esos puntos, el empleo del aire comprimido no presenta la menor dificultad. Para profundidades mayores de 20 a 35 metros, á las cuales no se ha llegado sino excepcionalmente hasta ahora, se tomarán indudablemente las precauciones necesarias, que la experiencia aconseje, para que el empleo del aire comprimido sea fácil y corriente. Para establecer las fundaciones á profundidades superiores á 35 metros, que son 24 más ó menos, la experiencia adquirida en las anteriores, permitió talvez mejorar los medios de trabajo y los procedimientos empleados, para poder hacer prácticamente lo que no se ha hecho sino excepcionalmente. Y en tales casos, si se temiera del empleo del aire comprimido, no faltarían otros medios á causa de la naturaleza rocosa del fondo, lo cual facilita el ataque valiéndose de instrumentos rotatorios ó de va y ven, que serían movidos desde las plataformas, ó bien usarse para estos trabajos instrumentos especiales.

7.—*Rellenos con concreto, etc.*—Se ha creído que renovando las experiencias hechas en el puente de *Kehl*, se llegaría á echar el concreto en la cámara de trabajo de los cajones de fundaciones, al aire libre y de una manera del todo satisfactoria, aún para grandes profundidades. Una de las disposiciones que se ha tenido presente, consiste en rellenar un compartimento de 90 metros cuadrados de superficie, de un solo golpe, es decir, sin interrupción en el trabajo, haciendo salir el agua y lechadas que se formen y el barro que puede quedar en el

fondo del suelo, por un orificio especial colocado en la parte superior del compartimento. Para obtener este resultado, será preciso que el tubo de palastro de acero de la betunera, tenga un diámetro suficiente para conducir todo el concreto sin mucho frotamiento, es decir, 0.175 más ó menos. La capacidad del tubo deberá llenar completamente hasta arriba, encontrándose cerrado en la base por una válvula que se abrirá para echar instantáneamente la cantidad total de concreto destinada á llenar un compartimento. El concreto será así introducido en 15 á 20 minutos, y una vez completamente lleno, la chimenea debe aún tener concreto en cantidad suficiente para cargar y ejercer presión é impedir que el agua pueda penetrar en la chimenea durante la operación. De la misma manera se procederá para los demás compartimentos y se tendrá la convicción que las bases de los machones no deja que desear, puesto que la operación será idéntica para cada una de sus partes.

Una sola objeción se ocurre cuando se describe este procedimiento, es la posibilidad de confeccionar 120 metros cúbicos de concreto en 15 a 20 minutos. Sin embargo, no parece que sea difícil de obtenerse este resultado, á causa de los poderosos medios mecánicos que tendrán que ponerse en acción en la ejecución de esta obra,

Un machón sumergido y reposando en el suelo á 55 metros bajo baja mar, tendrá las dimensiones siguientes:

Desplazamiento en baja marea.....	70513 m. ³
Id id en alta marea.....	75970 m. ³
Diferencia de las mareas.....	5460 m. ³
Volúmen del machón.....	86000 m. ³
Id de los huecos.....	28800 m. ³
Id de la albañilería.....	57200 m. ³
Peso del cajón.....	1160 m. ³
Peso de la albañilería.....	148870 ton.
Carga sobre el suelo.....	150030 ton.
Superficie del machón en la base.....	1604 m. ²

Carga en kilogramos por centímetro cuadrado.....	9.93 k.
Peso de las cepas metálicas.....	2010 ton.
Peso del tablero.....	7164 ton.
Carga total sobre el suelo.....	157880 ton.
Carga en kilogramos por centímetro cuadrado.....	9.8 k.

Desde el nivel de bajas mareas, se continúan las albañilerías con paramentos de piedra granítica canteada, hasta 20 metros, es decir, 15 metros sobre el nivel de las más altas mareas, para poner la base de las columnas metálicas, en cuanto sea posible al abrigo de las olas. Este trabajo representa un volumen de 12,000 metros cúbicos.

Si en el fondo se tuvieran terrenos, en los cuales las corrientes pudieran ocasionar erosiones, que pudieran perjudicar las fundaciones de los machones, se protegerían éstos con enrocados de bloques de concreto, puestos unos sobre otros formando talvez al rededor de los machones, resultado que se puede obtener descendiendo los bloques por medio de tornos y no dejándolos caer libremente.

Admitiendo como cierto, que por medio de pontones anclados se encontrarán los cajones de fundación garantidos contra la acción de las crestas de las olas y reventazones, y por consiguiente, que solo hay que defenderse contra las ondulaciones de las olas, las cuales podrán tener cuando más 100 metros de distancia entre la cúspide de una ondulación y la cúspide de la otra y 2m.50 de profundidad; resultará que en un cajón de 57 metros de largo, se verificará una desnivelación á su alrededor y tendrá un movimiento de balance, que no será más que una fracción del que experimentan los navíos colocados al lado del cajón. A medida que el cajón se sumerja y llegue á grandes profundidades, teniendo una masa considerable, no podrá sufrir sino muy poco los efectos de las desnivelaciones de la superficie, y tomará entónces el aspecto de isla flotante y permitirá fijar con precisión su posición en el mar.

Para atender á los trabajos, serán necesarias verdaderas maestranzas, etc., para la elaboración y armadura de ferretería, etc., etc. Además se proyectan 5 vapores de 250 caballos de vapor para las máquinas soplantes y sus accesorios para suministrar el aire comprimido en la cámara de trabajo de los cajones de fundación, 10 vapores de 300 caballos y 1,000 toneladas de carguío, para la conducción de los materiales y 25 pontones con sus anclas, teniendo cada uno su máquina, tornos, etc.; 5 remolcadores ó vapores de servicio para las diversas maniobras marítimas; 2 grúas flotantes de 50 á 60 toneladas para el montage y desarme de las cúpulas de los cajones de fundación; 30 pontones insumergibles para el servicio del puerto, el trasporte de accesorios, etc. Y en los malecones se instalarán grúas de diferentes fuerzas correspondientes á las maniobras de toda clase de materiales.

8.—*Cubicación y plazo de ejecución.*—El cuadro siguiente indica de una manera sumaria, la importancia y número de machones que hay que ejecutar, en cuya construcción se emplearán 4.000,000 de metros cúbicos de albañilería y 76,000 toneladas de acero.

DESIGNACIONES	ALBAÑILERÍA			CAJONES DE FUNDACIÓN	
	N.º de machones	Cubo por machón	Cubo total	Peso de un cajón en kilógrs.	Peso total en kilógrs.
Pilares de 5m. bajo baja mar.	14	17300m.3	242200 m3	311000	4354000
« de 10m. « «	6	20500	123000	386300	2317800
« de 15m. « «	8	24500	196000	446800	3734400
« de 20m. « «	18	28600	504000	551600	10108800
« de 25m. « «	30	31900	957000	618600	18558000
« de 30m. « «	16	37600	601600	697000	11152000
« de 35m. « «	2	40500	81000	790200	1580400
« de 40m. « «	6	43400	260400	873800	5242800
« de 45m. « «	4	48000	192000	966400	3865600
« de 50m. « «	4	52600	210400	1058200	4232800
« de 55m. « «	10	57200	572000	1163200	11163200
Totales.....	118		3339600		76309800

Si se quieren ejecutar estas obras en 10 años, es preciso admitir que se emplearán dos años en preparación de las canteras, arreglos de los puertos etc, es decir, que el trabajo demorará propiamente 12 años, El trabajo de las fundaciones, deberá terminarse por lo ménos un año antes que la superestructura; i como podrá ser comenzado un año antes no ocasionará retardo al conjunto. El conjunto de los trabajos se dividirá en dos faenas, una en cada ribera, y resultará para cada faena la obligaciones de hacer en 10 años 2000 000 metros cúbicos de albañilería, i 40,000 toneladas de cajones de fundación; ó sea cada año 200,000 metros cúbicos de albañilería i 4,000 toneladas de cajones de hierro. En los trabajos marítimos de Tolón se hicieron fácilmente 200 metros cúbicos de albañilería sobre un cajón por día; en Boulogne y en Calais, el estado del mar permite hacer uso de dragas 200 á 250 días por año; resulta

de este hecho que si se emplean en los trabajos del puente de la Mancha vapores más apropiados y más fuertes, se podrá trabajar fácilmente 40 ó 50 días más por año, es decir, 250 á 300 días, ó sea un término medio de 275 días por año. Descontando algunos días de fiestas, es probable que se trabajará 250 días, lo que exigiría para las albañilerías como trabajo diario medio $\frac{200,000 \text{ m.}^3}{250} = 800$ metros cúbicos.

Como no parece posible hacer cómodamente sobre un cajón de machón más de 100 metros cúbicos de albañilería al día, resulta que para obtener un avance de 800 metros cúbicos diarios, cantidad necesaria de trabajo para construir la obra en 10 años, sería preciso conducir la obra de tal manera que se encontraran en inmersión 8 cajones de fundaciones al mismo tiempo, y alistar y hacer las preparaciones de los siguientes para que los trabajos marchen en esta forma de una manera continua.

(Continuará.)

DOMINGO VÍCTOR SANTA MARIA.



PROYECTO DE PUENTE SOBRE LA MANCHA

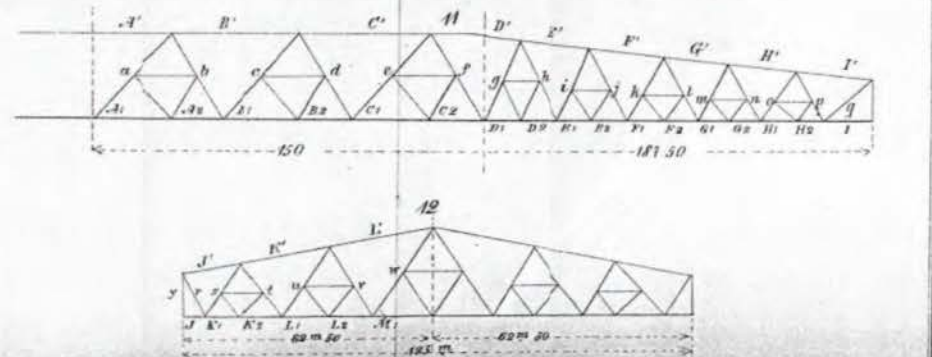
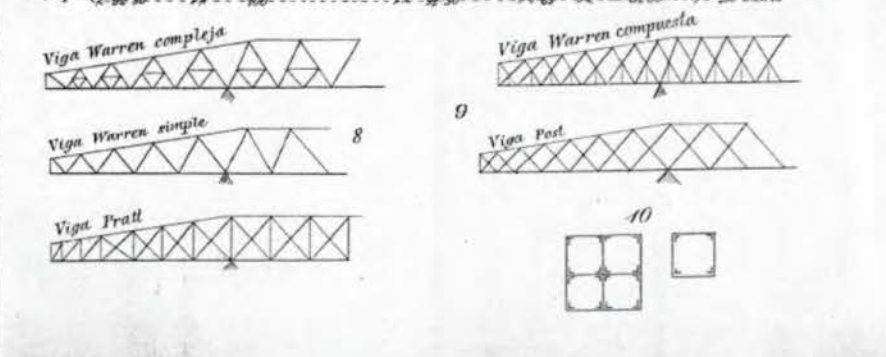
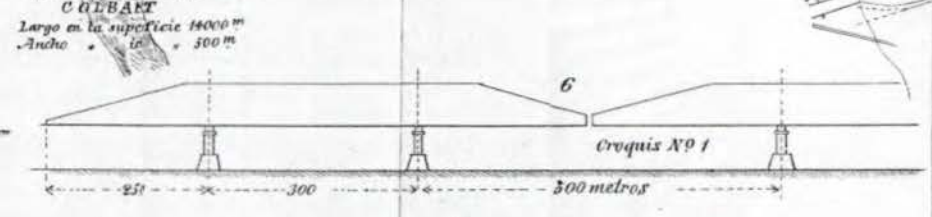
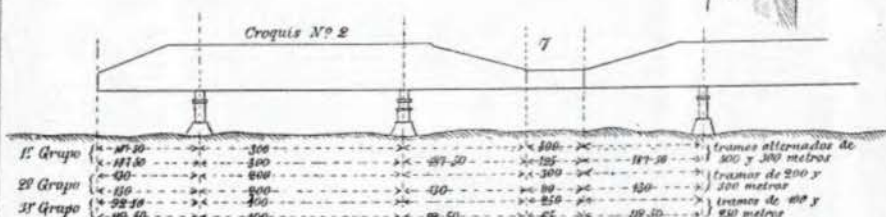
Perfil longitudinal del paso de la Mancha

nivel de altas mareas



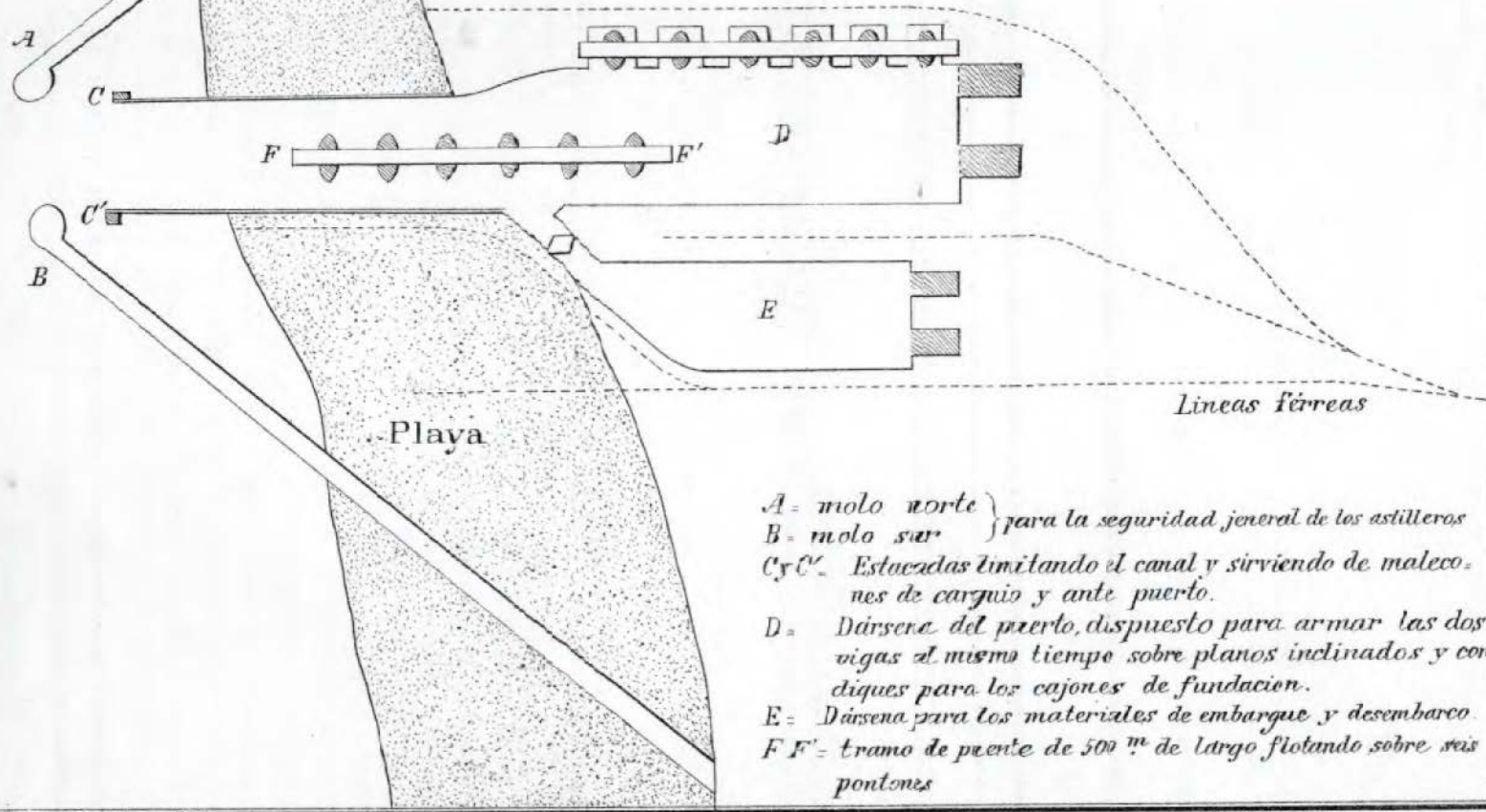
INGLATERRA

PLANO UBICACION del PUENTE



PROYECTO DE PUENTE SOBRE LA MANCHA

Astilleros y puerto proyectados en Ambletzise para la construccion y armadura de las ferreterias etc. etc.



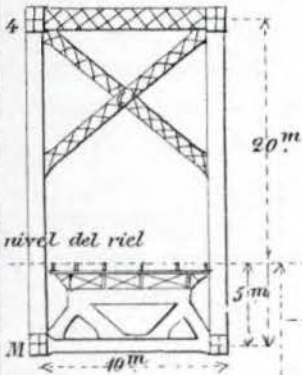
- A - molo norte*
- B - molo sur*
- C y C' - Estacadas limitando el canal y sirviendo de malecones de carguo y ante puerto.*
- D - Dársena del puerto, dispuesto para armar las dos vigas al mismo tiempo sobre planos inclinados y con diques para los cajones de fundacion.*
- E - Dársena para los materiales de embarque y desembarco.*
- F F' - tramo de puente de 500 m de largo flotando sobre seis pontones*

PROYECTO DE PUENTE SOBRE LA MANCHA

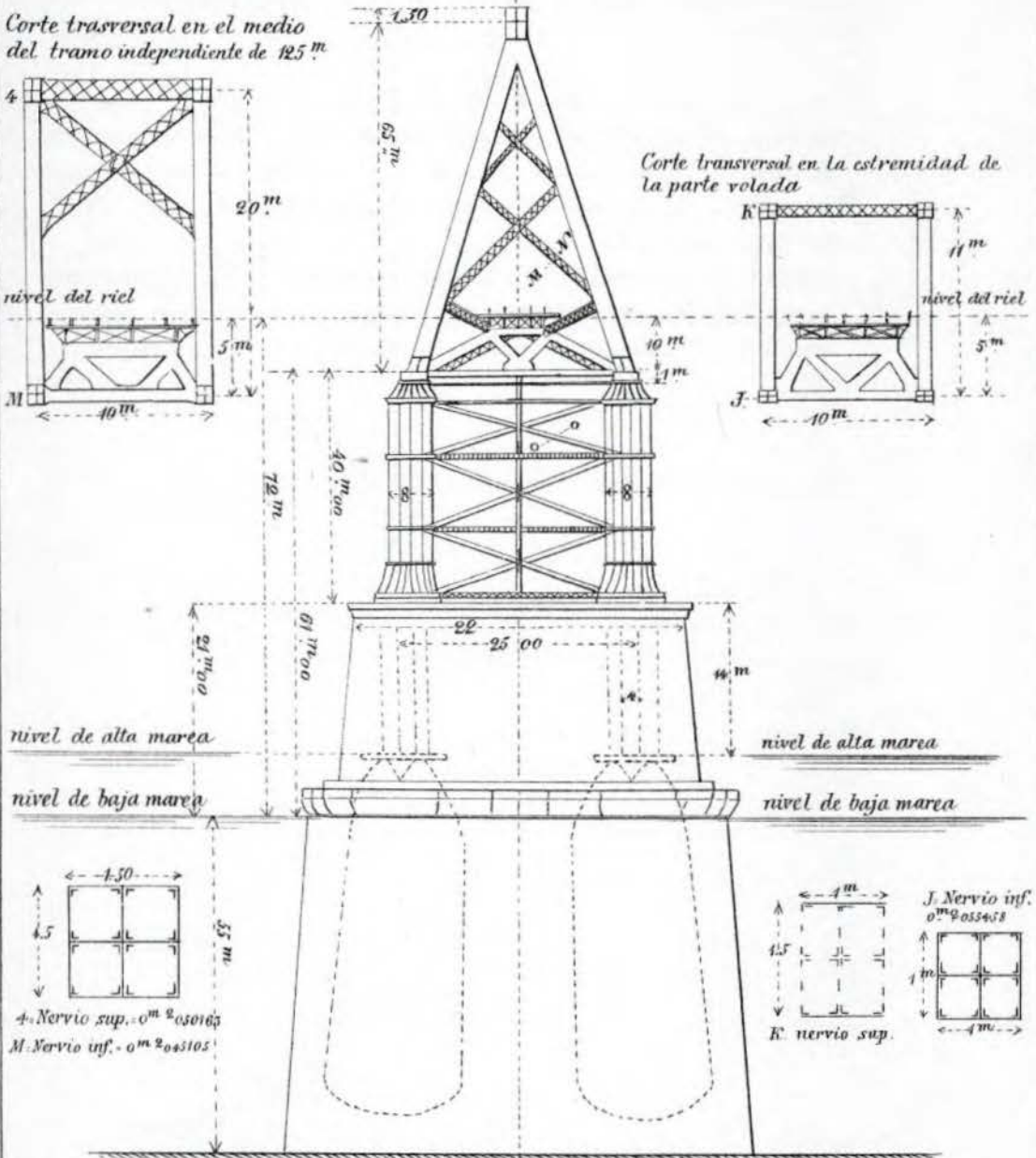
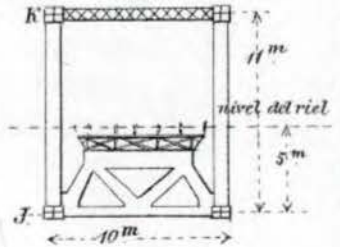
Superestructura - Ante proyecto SCHNEIDER y CA

Corte transversal sobre un machon.

Corte trasversal en el medio del tramo independiente de 125 m.



Corte trasversal en la extremidad de la parte volada



4. Nervio sup. - 0^m 2 050163
M. Nervio inf. - 0^m 2 043105

J. Nervio inf. 0^m 2 055468
K. nervio sup.