

La nueva tubería para la Central de Zumarresta

La Central de Zumarresta, que suma su trabajo al de otras centrales próximas para el servicio de la red de San Sebastián, que es propiedad de la «Eléctrica del Urumea», constaba de tres grupos eléctricos de 250 caballos de potencia cada uno. Hace algún tiempo se sumó al caudal de la regata Zumarresta, en el viaje de aguas de aquel salto, el caudal del Urumea, que en aquel paraje se llama regata de Ollín (1), y la maquinaria de la Central hubo de ampliarse con un grupo de 2 200 caballos. La tubería antigua vino a ser muy escasa de diámetro y se le acopló, en el servicio, una tubería nueva, que se encargó a uno de los talleres del país: el de Molinao. La tubería antigua había sido instalada por una reputada casa alemana.

Nos ha parecido oportuno e instructivo comparar las disposiciones de la tubería más moderna con las de la antigua, para llamar la atención sobre algunos detalles de perfeccionamiento de la técnica de esta clase de obras que se han llevado a la práctica en esta región, mejorando paulatinamente los resultados que se alcanzaban anteriormente.

La comparación versará sobre los puntos de detalle más importantes que se observan: Despiezo de los palastros; Sustentación de la tubería; Amarres; Juntas de dilatación; Codos.

Despiezo de los palastros.

El método de cálculo del espesor de una tubería de esta clase, construida con palastros de acero, cosidos con líneas de roblones, es puramente empírico. La situación de un tubo de esta clase, comparada con la de una caldera de vapor, difiere, principalmente, en que los extremos del cuerpo cilíndrico están abiertos y el material no sufre tensiones en el sentido del eje del cilindro, por causa de las presiones internas.

Limitándose, por tanto, al estado elástico provocado por las presiones internas, se ve que las chapas de acero, volteadas según la forma de la superficie cilíndrica, se hallan sometidas a uno doble: en sentido radial y en sentido de través al eje del cilindro. Es más: como en la inmensa mayoría de los casos el espesor de la chapa es despreciable ante la magnitud del radio del cilindro, se supone que la fatiga del material es la misma en todo el espesor, y esta hipótesis equivale a asimilar el estado de la chapa a uno elástico simple, en que no existen tracciones más que en un sentido: el tangente al cilindro, perpendicularmente al eje del tubo.

La línea de ruptura por tracción, envolvente de las dilataciones principales por pura contracción de

la chapa, es la generatriz recta de la superficie cilíndrica, y los esfuerzos de tracción, normales a esta línea de ruptura, se calculan por una simple división: a causa de la presión interna, en cada zona de la sección diametral se produce un esfuerzo total de separación de ambas mitades, proporcional a la presión y al área de la zona seccionada, y este esfuerzo es resistido uniformemente por los dos cortes de chapa que ciñen lateralmente a la zona considerada.

Pero con el despiezo ordinario de los palastros, una de las líneas de ruptura, generatriz recta de la superficie cilíndrica, lleva a todo lo largo una costura roblonada, y esta línea es, evidentemente, más débil que lo restante y hay que proporcionar el espesor de la chapa precisamente a esta línea débil.

Pues bien; la resistencia a la separación de dos bordes de chapas, cosidos con roblones, se calcula empíricamente.

El estudio teórico de la resistencia y deformaciones de una costura roblonada está por hacer, y se comprende que será de una complejidad enorme. Para asimilar una costura a algo que pueda calcularse se elige entre dos hipótesis, conocidas de todo el mundo.

Sea como quiera, la línea de costura es una línea de débil resistencia en que la degolladura producida por el roblonado hace perder 30 por 100 de la tenacidad del resto de la obra, por muy bien que se proporcione el diámetro de los roblones, su separación y el número de filas.

Las cifras de los formularios y las construcciones que vienen de buenos talleres extranjeros asignan a la chapa de acero dulce que se usa para estas obras una fatiga de 6 kilos por mm. cuadrado, en la masa de la chapa; pero esto equivale a tener en la costura una fatiga de 9 kilos, poco más o menos. Trabajando la costura con el coeficiente máximo, en toda el área de la chapa está desperdiciada parte de su resistencia.

Se sigue de aquí que la práctica de disponer en el despiezo a lo largo de una de las líneas de ruptura por tracción de ese estado elástico simple una línea de débil resistencia, como es la costura, es un error y produce desperdicio de material. Sin embargo, así hemos venido haciéndolo hasta hace pocos años.

El autor de este artículo patentó, no hace mucho tiempo, una disposición de despiezo de los palastros, con la cual se ha construido la tubería de Zumarresta. Los palastros son, como los corrientes, de forma rectangular y de dimensiones normales; pero se colocan en obra sesgados de modo que los bordes cosidos dibujan sobre la superficie cilíndrica, no generatrices rectas y directrices según paralelos de la superficie de revolución, sino, por lo contrario, quedan todos en hélices inclinadas a 45° sobre ambos sentidos de estas líneas. La línea de ruptura por tracción simple está con todo el grueso de la chapa, y para abrirse el tubo, según las costuras, habría de romperse por una línea quebrada cuya longitud está en relación con la longitud de la línea de ruptura por tracción simple, como los números $\sqrt{2}$: 1.

(1) Parece que el pueblo vascongado no prestaba individualidad a los ríos del país que habitaba. En vascuence, los ríos no tienen nombre único en todo su recorrido, si bien la influencia de la cultura universal va obligando a unificar el nombre de las corrientes, en las referencias verbales y en los mapas. Antes, el nombre del río era, en cada paraje, el del accidente geográfico que atravesaba. El Bidasoa cruza en uno de sus tramos una floresta que se llama así; pero remontando el curso del río se le llama río Baztán, río Echaurdi, etc. El Urumea, por encima de la confluencia del Zumarresta, se llama Ollín, del nombre del monte que atraviesa. Y cuando se pregunta a un aldeano vasco por el nombre de una corriente de agua, en respuesta se encoge de hombros y dice la regata de «tal» pueblo (la aldea que se atraviesa en aquel tramo). Es chocante que se haya dado en llamar al pueblo de Vera «Vera del Bidasoa». Más conforme a la costumbre sería llamar al río, frente a Vera, «río de Vera.»

Prácticamente podría decirse, en apoyo de la mayor resistencia de esta disposición, que para romperla haría falta seccionar catorce roblones allí donde con el despiezo ordinario bastaría cortar 10.

Las costuras, según líneas helicoidales, tiene antecedentes en la manera de forjar tubos para resistir presiones enormes, como los cañones de artillería o los de escopeta, formados con paquetes de alambres arrollados en hélice. También en los Estados Unidos se fabrican tubos, no con chapas, sino con planos anchos, platabandas, de muy poco espesor, arrollados, en hélice, que con máquinas poderosas se rebordean formando saliente uno de los bordes cosidos, para que no fuera aumentándose continuamente el diámetro del tubo al superponerse un borde a otro, de una vuelta a la antecedente. De aquí a la disposición del autor, con palastros ordinarios, no hay más que un paso.

Ocurre a primera vista, y no ha dejado de oponerse al sistema de despiezo de que hablamos, la consideración de que el método vulgar dispone de mayor espesor para prevenir la oxidación del material. La objeción no tiene fundamento alguno. En primer lugar, el plan, que consiste en aumentar el grueso de la chapa para prevenir suficiente resistencia, a pesar de la oxidación, no tiene ninguna justificación. La velocidad de la oxidación no puede verse, ni se debe echar espesor a esta destrucción, como carne a una fiera que no se puede combatir. Debe disponerse la obra en forma de que con revestimientos o pinturas adecuadas se prevenga semejante dilapidación.

En segundo lugar, de nada vale que, con el sistema corriente resista toda la chapa, a pesar de haberse enroñado en parte del espesor, si no resiste la costura. La objeción de que hablamos estaría en su lugar si la costura no se oxidara y el resto sí; pero la costura se oxida como lo demás; todavía más que el resto, por varias razones. Y el tubo ordinario quedará fuera de servicio antes de que la chapa, en la generalidad de la superficie, quede profundamente carcomida, cuando está debilitada suficientemente en aquellos segmentos de chapa, entre roblón y roblón, que también se oxidan, como el resto. Comparando una tubería según el nuevo despiezo, con otra según el antiguo, si se produce una oxidación igual por todo, las dos tuberías dejarían de estar en seguridad en el mismo momento; que sucedería cuando el espesor del óxido hubiera profundizado en la costura. Entonces la tubería nueva estaría debilitada por igual en todo su ancho y la tubería antigua estaría sólo en la costura; pero, ¿qué importa? La resistencia es uniforme en todo, con el nuevo método, y superabundante en casi todo, con el método antiguo; pero como la seguridad hay que referirla a la única línea de ruptura más débil, la consecuencia es la misma seguridad para ambos sistemas. Es como si degolláramos un tirante en un solo corto trozo; ¿de qué serviría el suplemento de diámetro de todo el resto, con oxidación o sin ella?

La tubería de Zumarresta tiene un diámetro de 800 milímetros, y en la zona inferior se ha supuesto que había de resistir a una presión de 210 metros de agua, suma de la estática y de algunos golpes de ariete previstos. La chapa tiene el espesor de 9 milímetros, trabajando con un coeficiente de fatiga de 9,3 kg. por milímetro cuadrado. Para un tubo

igual, con la disposición ordinaria del despiezo de los palastros, el espesor, para la misma fatiga, debía ser entre 12 y 13 milímetros. La economía es, como se ve, decisiva.

El roblonado de las costuras es de doble fila en todas ellas. Sabido es que en las construcciones corrientes el roblonado en sentido transversal es de simple fila. Pero la longitud de las costuras en total es la misma en ambos sistemas, porque sólo depende del tamaño de las chapas, y puede usarse con el nuevo sistema cualquier dimensión corriente. El mayor gasto de roblonado apenas recarga el coste y, desde luego, no admite comparación con la economía radical producida en el espesor de la chapa.

Sustentación de la tubería.

Era costumbre generalizada, que va cayendo en desuso, sustentar estos tubos sobre pilas de sección rectangular, de mampostería u otras fábricas, encima de las cuales se hacía descansar las piezas metálicas, sobre una cama de hormigón, cama que, a veces, se elevaba en los costados hasta abrazar todo el contorno del tubo. La construcción se hacía, en verdad, a la inversa: se montaba el tubo sobre soportes provisionales y se elevaba, bajo su traza, los pilares, hasta recibir el peso sustentado.

Esta disposición tiene muchos inconvenientes. En primer lugar, el metal no puede dilatarse libremente con las variaciones de temperatura, porque la fábrica se adhiere fuertemente al tubo en los resaltes de las cabezas de los roblones, y aun sin ellos; de aquí se sigue que el tubo queda sometido a esfuerzos que no se ha podido tener presente y, para prevenirlos, hay que reforzar espesores, con mucho gasto. Por su lado, las fábricas, con el empuje del tubo, que tiende a dilatarse, se rajan y, en sucesivos movimientos, van arruinándose, sacando al tubo de su posición de montaje y agravando los esfuerzos imprevistos.

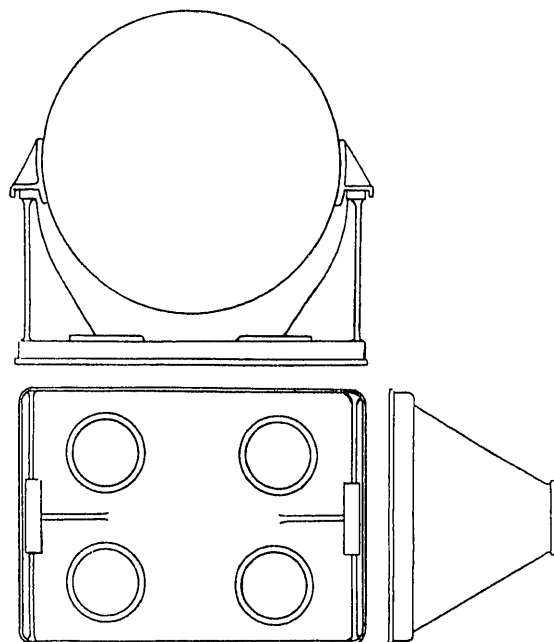
Al mismo tiempo, la superficie metálica en contacto con la fábrica se oxida, porque no está accesible para las operaciones de pintura. El efecto no es grave en aquella porción, siempre en contacto con el hormigón, y en algunos puntos donde el mortero de cemento se había adherido perfectamente a la chapa, la preservación era permanente. Pero en aquellas líneas que limitan la superficie de apoyo en que la fábrica se destruye y el metal queda inaccesible, aunque descubierto, la oxidación es inevitable. No hay más que tocar esta región de la chapa en las tuberías viejas para notar la aspereza de la chapa carcomida.

Para evitar estos inconvenientes comenzaron a venir del extranjero tímidos correctivos, que consistían en intercalar entre las superficies de apoyo hierros cintrados, según la superficie del tubo. Se facilitaba algo el deslizamiento del tubo sobre sus apoyos, pero los demás inconvenientes quedaban sin resolver.

En la tubería de Zumarresta se usa una disposición más moderna.

Los inconvenientes están radicalmente salvados porque los apoyos están coronados por cojinetes fundidos, que separan enteramente el tubo de las fábricas.

cas y lo mantienen al aire, resbalando sobre otras superficies metálicas, trabajadas, y con un acceso fácil a toda la superficie de la chapa para las operaciones

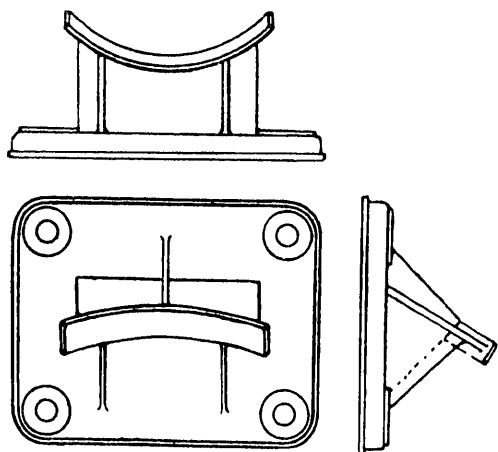
Croquis A₁

Amarres.

El tubo, descansando en sus apoyos o retenido en ellos, sufre tendencias al desplazamiento, que son muy diversas, cuando está vacío o cuando está en carga. De vacío, el tubo resbala sobre sus apoyos, por su peso, a lo largo de la pendiente de la ladera donde está montado, que tiene, frecuentemente, gran inclinación. En carga, la presión interna provoca fuerzas dirigidas según las bisectrices de los ángulos que forman las rasantes o las alineaciones sucesivas de la traza.

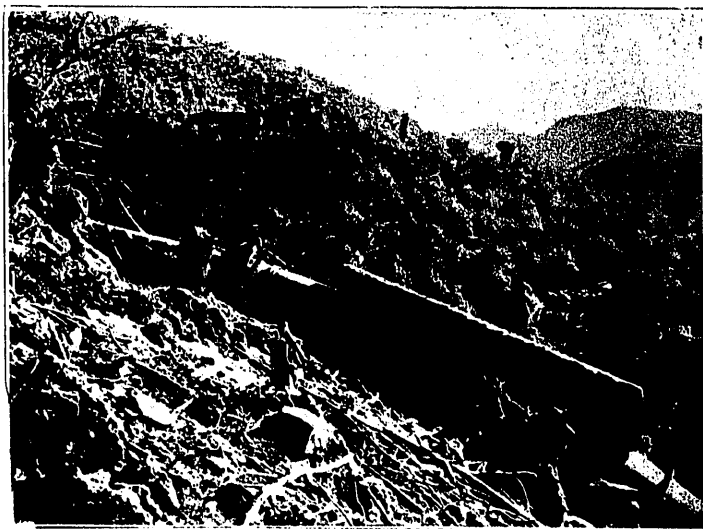
Para oponerse a unas y otras tendencias al desplazamiento se usaban macizos de mampostería, que se erigían sobre la obra de metal en cada vértice del trazado y que, gravitando verticalmente sobre la obra de metal, la mantenían en su sitio. El medio no sólo es caro, sino que no opone a la dirección de cada fuerza perjudicial una resistencia adecuada y agra-

de pintura. El cojinete va bien fundado sobre la superficie de coronación del machón o pila, y el apoyo abarca 90° de la circunferencia total. (Croquis A.)



Croquis A

Esta disposición se usa para tubos de poco peso relativo. Cuando, por la magnitud de los tramos y el gran diámetro del tubo, el peso sobre cada apoyo es grande, usamos una disposición aún más despejada, como el croquis demuestra, para la tubería del salto de Arínzano (Estella), que lleva un apoyo cada doce metros y tiene el diámetro de 1,20. El peso es recibido en dos patillas cosidas al tubo, de acero moldeado, que descansan en otras almohadillas que lleva la silla de apoyo. Las superficies están trabajadas, alisadas, y pueden engrasarse sin dificultad, dejando lleno de grasa un orificio preparado para ello. (Croquis A₁.)



va mucho aquellos inconvenientes que antes hemos relatado, por rodear de fábrica a toda la obra metálica. Los apoyos, aunque muy sólidos, era frecuente que cedieran a los empujes, especialmente por golpes de ariete. La fotografía adjunta es de un codo saliente de la tubería antigua de Zumarresta, donde no sólo ha habido que disponer amarres no previstos en el proyecto, sino que la dilatación del tubo ha producido averías, fugas y otros inconvenientes.

En la tubería nueva de Zumarresta, todos estos amarres están proyectados como de ordinario los tirantes de las obras metálicas en general. A cada tendencia posible, de vacío o en carga, en la misma línea del esfuerzo que ha de producirse, se opone un tirante proporcionado a la fuerza que ha de resistir. Los tirantes de ambos sistemas toman apoyo o bien en la roca de la ladera, si existe suficientemente compacta, o en macizos de fábrica que se construyen debajo de la tubería. Casi siempre pueden templarse por medio de tornillos y tuercas, y, cuando su arraigamiento se afirma en macizos de fábrica, atraviesan éstos y se anclan en la forma ordinaria en los paramentos opuestos.

La fotografía adjunta muestra el anclaje de unos tirantes de Zumarresta.

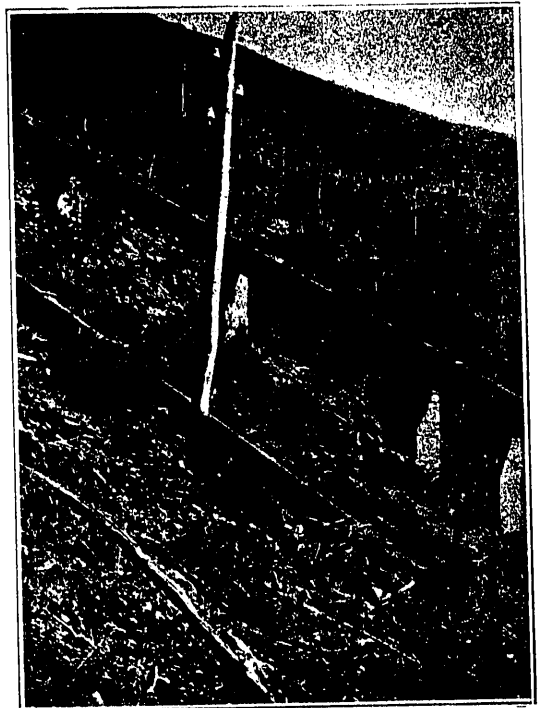


te en su línea a cada esfuerzo perjudicial y auxiliarse, para lograr economía, de la solidez de las rocas del subsuelo, cuando existen suficientemente duras y voluminosas.

Se puede comparar en la fotografía adjunta la situación accesible y elevada de la tubería nueva con la disposición antigua, que a trozos penetra en trincheras que se llenan de detritos y vegetación que, por la humedad y acciones químicas, aceleran la oxidación del tubo, a que no puede oponerse adecuadamente una protección de pintura.

Suelen amarrarse los tirantes al tubo en las mismas bridas de los codos o de alguna pieza especial. Para eso se forjan piezas en forma de estribos de dos ramas, con espigas roscadas, y estas espigas entran en dos orificios consecutivos de una brida, formando una argolla, en la cual se engancha el tirante por un extremo.

La obra queda enteramente despejada sobre sus apoyos y puede inspeccionarse y conservarse con absoluta limpieza. Los amarres pueden hacerse con la solidez estrictamente necesaria, oponerse directamen-

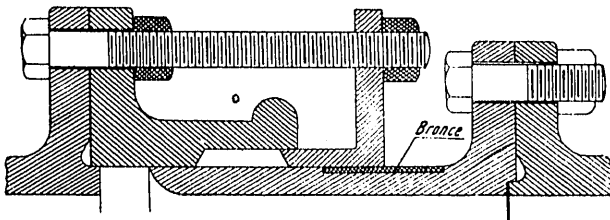


Juntas de dilatación.

Dos puntos vamos a considerar: primero, la estructura de estas piezas especiales, y segundo, su reparación a lo largo del trazado:

1.º La estructura puede ser de dos modos: la telescópica, que se compone de piezas de tubo abiertas por sus extremos, que enchufan una en otra, estando provista la junta, para evitar fugas, de una guarnición de prensa-estopas. Otro modelo consiste en piezas enteramente metálicas y cerradas cuya superficie externa lleva, a guisa de rebordes, una porción de chapas, que alternativamente se sueldan por sus bordes internos y externos, formando un acordeón que, sólo por la elasticidad del material, permiten cierta sensible dilatación en el sentido del eje. Presentan graves inconvenientes.

La junta usada en Zumarresta es telescópica. Puede usarse para estas piezas, o bien, acero moldeado o bien hierro fundido. Cuando la presión no es tan grande que necesite espesores descomunales, el hierro colado, que cuesta en este país menos de la tercera parte del acero moldeado, y que puede cargarse en estas piezas a razón de dos kilogramos por milímetro cuadrado gracias a los refuerzos eficacísimos que las partes cilíndricas, muy cortas, reciben de las bridas, es más económico.



Croquis B

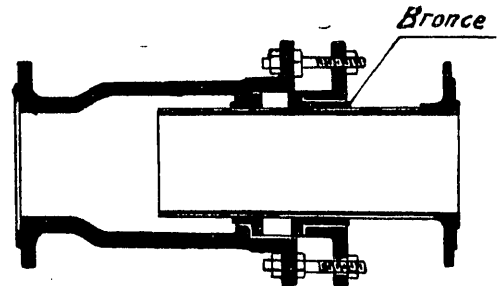
La disposición más económica requiere sólo tres bridas: las dos que corresponden a las piezas enchufadas y las del aro prensa-estopas. Para evitar una cuarta brida se usa la disposición dibujada. Los pernos que acoplan una de las bridas (la de la pieza hembra) van prolongados y llevan las tuercas de ariete de la estopada. (Croquis B.)

La inmensa mayoría de estas piezas, construídas de antiguo, no llenan su misión porque están enroñadas. La causa consiste en que la pieza macho, en aquella zona, que con el juego de las dilataciones entra y sale en el aro de la estopada, no puede pintarse evidentemente o se desnuda de su capa protectora. Estando desnudo el metal en esa zona y al descubierto en largas temporadas en que el tubo lleno juega muy poco con los cambios de temperatura, se oxida y, por consiguiente, el juego telescópico se hace imposible.

Las buenas juntas que venían de Alemania hace años, traían una guarnición de bronce, en forma de casquillos, en la pieza hembra, como se indica en la figura; pero la precaución era inútil, porque no es la figura esa la que se enroña, sino la contraria.

El remedio que aplicamos desde hace años consiste en hacer la pieza macho de bronce; pero, como sería muy caro el fundirla de este material, nos limitamos a un revestimiento de latón, en la pieza ma-

cho, de poco espesor, y sólo en la zona que alcanza a descubrirse en el juego de dilatación. Se hace un rebajo a la pieza macho, que se llena con una chapa de latón, bien soldada y recalada, para el ajuste perfecto. Después se tornea al mismo tiempo la superficie



Croquis C

cilíndrica de la pieza en la región de hierro colado y en la de latón. Es preciso vigilar que la zona protegida sea verdaderamente la que se descubre, pero que la guarnición no llegue a la estopada, porque si no podría penetrar el líquido a presión entre la camisa de latón y el hierro colado y producirse una fuga. De este modo, las juntas de dilatación libre, montadas como antes hemos explicado para el resto de la tubería, resbalan y juegan perfectamente, llenando su misión, que es ahorrar esfuerzos al material, y, sobre todo, esfuerzos imprevistos.

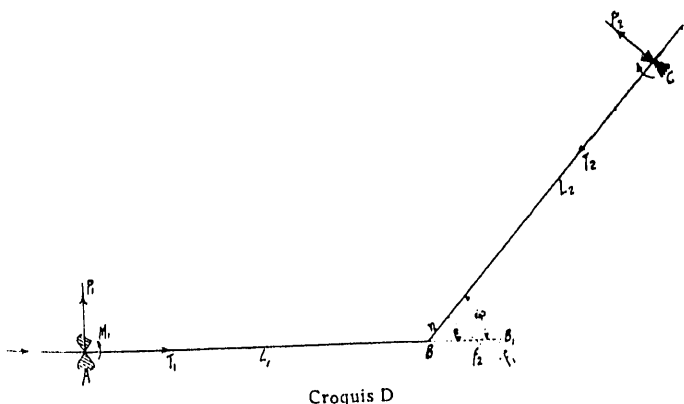
Hay que llamar la atención sobre este punto: todo adelanto en el cálculo y previsión de la resistencia de materiales; toda especulación teórica que aclare un fenómeno mecánico, trae aparejado un ahorro de riqueza, un rendimiento mejor de nuestro trabajo. Sabiendo lo que ha de pasar exactamente, se proporciona la obra a la necesidad. Un ejemplo interesante de esto, en la materia que tratamos, es lo que ha sucedido con el cálculo del golpe de ariete por movimiento variado del líquido dentro de las tuberías. Durante muchos años, el cálculo de este movimiento variado se hacía a tuestas, y la previsión de todos los incidentes era imposible. De aquí que, en la instalación de turbinas, el golpe de ariete fuese una especie de fantasma temible, que se trataba de alejar a todo trance. De eso provienen todas aquellas disposiciones que han terminado en las válvulas de compensación, que se abren al tiempo de cerrarse los distribuidores, y en los deflectores para desviar el chorro de las ruedas Pelton y dar lugar a intervenir muy lentamente el cierre de las agujas de la admisión de agua.

Pero todas estas complicaciones provenían del desconocimiento exacto del fantasma o golpe de ariete, y se le sacrificaba un derroche de agua que es, en ciertas ocasiones de sequía, en los saltos de agua, como la sangre en el cuerpo organizado, que no hay que derramar a troche y moche. A cada variación algo repentina de la carga se perdía un volumen más o menos considerable de agua por esas válvulas o deflectores, y se perdía, además, la fuerza viva del golpe de ariete, que compensa, sin embargo, con la sobrepresión que produce, la depresión subsiguiente, que se ha de causar forzosamente a la apertura ulterior de la distribución. En los saltos de mucha altura es precisamente donde menos temible es el golpe

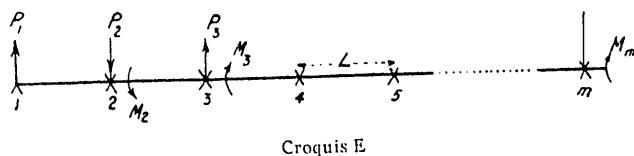
de ariete, y el autor suele elegir como mejor el plan de admitir la sobrepresión, a reserva de consolidar algo más la tubería, pero aprovechando íntegramente el agua y la altura del salto. En resumen, es decisión más económica.

De este modo, la reflexión, que permitió calcular bien el golpe de ariete, ha producido una economía de explotación y otra de construcción de aparatos inútiles y perjudiciales, y, análogamente, toda reflexión sobre los múltiples efectos que sufren estas obras es provechosa. Decimos esto a propósito de la distribución de las juntas de dilatación: unos intentan ahorrarlas, y las suprimen, dejando sometido el tubo a dilataciones contenidas por topes, que cuestan mucho dinero, y con peligro de que se produzcan tensiones inadvertidas, para compensar las cuales se proyecta exceso de secciones, que equilibran con creces el gasto de las juntas de dilatación. Otros, las distribuimos a sentimiento, dudando si colocarlas en tal o cual ángulo brusco del trazado. Todo ello por no tomarnos el trabajo de calcular en cada caso el esfuerzo suplementario que la obra sufre durante el corrimiento por variaciones de temperatura.

Este efecto se calcula, sin embargo, fácilmente, y reproduzco aquí el cálculo entresacado de la Memoria del proyecto del salto de agua en la Laguna Grande de Gredos, para ahorrar trabajo a alguno de mis compañeros que necesite aplicarlo.



de las dimensiones y estructura del resto de la obra, y que hemos de calcular previamente para determinar las circunstancias de ese empotramiento parcial que tiene el tubo en sus apoyos.



Para ello, supongamos que un tubo (viga recta) se halla apoyado a distancias L , iguales (que es el caso práctico) en apoyos que se suceden indefinidamente, 1, 2, 3... m., y veamos qué giro toma cada sección cuando se aplica un momento flector M en el apoyo m . Se supone el tubo cortado en el apoyo 1.

En este primer apoyo el momento es nulo, y la reacción del apoyo P_1 , multiplicada por la luz L , nos da el momento flector en el segundo apoyo.

Conocidos el momento en el apoyo 1 y el del apoyo 2, el teorema de los tres momentos nos da toda la sucesión de ellos y de los valores de las reacciones de los apoyos, por tanto, y conocido el momento flector, podemos integrar el giro de la sección normal en cada tramo e ir sumando todos estos giros parciales hasta el apoyo indeterminado m .

Así podríamos formar el cuadro siguiente:

APOYOS	Momentos flectores $M_m = P_1 \cdot L \times$	Giro de la sección integrado en cada tramo. $\frac{P_1 L^3}{2EI} \times$	Giro de la sección del apoyo con relación a la del apoyo 1. $G_m = \frac{P_1 L^3}{2EI} \times$	Relación $G_m : M_m$ $\frac{L}{2EI} \times$
1	0		0	1
2	+	1	+	0,500
3	—	4	—	0,600
4	+	15	+	0,571
5	—	56	—	0,579
6	+	209	+	0,577
7	—	780	—	0,577
8	+	2 911	+	0,577

Sea un tubo que forme un ángulo y que, por una causa cualquiera, haya de correrse sobre sus apoyos, sin abandonarlos, de la izquierda, región donde, lejos del apoyo, está amarrado, a la derecha, donde tiene, a cierta distancia, una junta de dilatación. El vértice ha de venir de la posición B a la B_1 , deslizando una longitud ϵ sobre el apoyo A.

Se trata de calcular la fatiga a que se le somete por el estado elástico despertado por este corrimiento. Esta fatiga se superpondrá a las demás procedentes de la presión, de la gravedad, etc., etc. Ahora prescindimos de todo, excepción hecha de la deformación por corrimiento.

Al correrse el tubo, se desarrolla en cada sección transversal un momento M , un esfuerzo cortante P y un esfuerzo axial T ; despreciamos la deformación causada por el empuje axial y por el esfuerzo cortante, a causa de la pequeñez de estas deformaciones.

El momento M_1 o M_2 en las secciones de apoyo produce un cierto giro de estos planos, que depende

La primera columna indica los apoyos sucesivos. La segunda, el valor del momento flector en cada apoyo, que es un múltiplo de $P_1 L$; producto de $P_1 L$ por los números inscritos, que son, como nos dice la intuición, cada vez mayores y de sentido alternativamente contrario.

En la tercera columna se ha inscrito el giro que una sección que va avanzando de izquierda a derecha sufre en el espacio entre dos apoyos, que es la integral definida entre ambos límites, del producto del momento de giro multiplicado por el factor $1 : EI$.

En la cuarta columna se ha totalizado el giro de cada sección de apoyo, desde el primero.

Y, por último, en la quinta columna se anota la relación o cociente entre el momento flector y el ángulo que la sección de apoyo ha girado.

El resultado es que, a medida que aumenta el nú-

mero de apoyos, esta relación se acerca rápidamente a un valor límite, que es

$$\frac{0,577}{2EI}$$

Deducimos de esto que el empotramiento del codo de la tubería en cada apoyo del vano equivale a que para un momento M_1 el plano de la sección tomará un giro de

$$0,288 \frac{M_1 L_1}{EI}$$

Podemos pasar ahora a calcular la deformación del trozo de tubería angular.

Prescindimos de los apoyos, reemplazándolos por los esfuerzos correspondientes.

La estática pura nos proporciona tres ecuaciones entre estos valores:

- (1) $T_1 - T_2 \cos \omega - P_2 \sin \omega = 0$
- (2) $P_1 + P_2 \cos \omega - T_2 \sin \omega = 0$
- (3) $P_1 L_1 - P_2 L_2 - M_1 + M_2 = 0$

El valor de T_2 (esfuerzo axial de la parte derecha que resbala hasta la primera junta de dilatación) se calcula fácilmente y es conocido.

Quedan cinco incógnitas, y nos faltan dos ecuaciones para determinarlas.

Apliquemos el teorema del mínimo del trabajo elástico, de Castigliano.

Despreciamos, por insignificante, el trabajo de deformación de la fuerza axial y del esfuerzo cortante.

El momento flector de la rama L_1 es, en función de la distancia del punto de aplicación, al apoyo A , distancia que llamaremos X_1

$$M_1 - X_1 P_1$$

Y en la rama L_2 , análogamente,

$$M_2 - X_2 P_2$$

El trabajo elástico de deformación en la rama L_1

$$\frac{0,288}{2EI} M_1^2 L_1 + \frac{M_1^2 L_1}{2EI} + \frac{3L_1^3 P_1^2}{6EI} - \frac{L_1^2 M_1 P_1}{2EI}$$

en el cual el primer monomio expresa el trabajo del momento M_1 , girando el plano de la sección, el ángulo

$$\frac{0,288 M_1 L_1}{EI}$$

que antes calculamos.

El trabajo de deformación de la rama L_2 es

$$\frac{0,288}{2EI} M_2^2 L_2 + \frac{M_2^2 L_2}{2EI} + \frac{3L_2^3 P_2^2}{6EI} - \frac{L_2^2 M_2 P_2}{2EI}$$

El valor de los momentos M_1 y M_2 ha de hacer mínimo el trabajo de deformación. Igualando a cero la suma de las derivadas de los antedichos trabajos

de deformación en cada rama, con relación a M_1 y M_2 , tendremos

$$(4) \quad 0,288 L_1 (M_1 + M_2) + M_1 L_1 + M_2 L_2 - \frac{1}{2} P_1 L_1^2 - \frac{1}{2} P_2 L_2^2 = 0$$

Para establecer la quinta ecuación observaremos que hay una relación geométrica entre las líneas f_1 y f_2 y el corrimiento ϵ del codo sobre el apoyo izquierdo, como puede verse en la figura

$$(a) \quad \epsilon \sin \omega - f_1 \cos \omega = f_2$$

La flecha f_1 se calcula muy fácilmente, y es

$$\frac{0,288 L_1 M_1 L_1}{EI} + \frac{M_1 L_1^2}{2EI} - \frac{P_1 L_1^3}{6EI}$$

y la flecha f_2 , análogamente

$$\frac{0,288 L_2 M_2 L_2}{EI} + \frac{M_2 L_2^2}{2EI} - \frac{P_2 L_2^3}{6EI}$$

Sustituyendo ambos valores en (a) se tiene

$$(5) \quad \left(\frac{0,288 L_1 M_1 L_1}{EI} + \frac{M_1 L_1^2}{2EI} - \frac{P_1 L_1^3}{6EI} \right) \cos \omega + \epsilon \sin \omega - \left(\frac{0,288 L_2 M_2 L_2}{EI} + \frac{M_2 L_2^2}{2EI} - \frac{P_2 L_2^3}{6EI} \right) = 0$$

Las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) determinan las cinco incógnitas del problema. La resolución algebraica de estas ecuaciones es bastante laboriosa. Más vale sustituir los valores conocidos en cada caso, y suele simplificarse la resolución.

Por ejemplo: hay un codo en la tubería de Zumarrista en que los valores acotados anteriormente son:

- $L_1 = 7,00$ m.
- $L_1 = 3,00$ »
- $L_2 = 10,00$ »
- $\omega = 8^\circ 35'$

Los valores de ϵ y de T_2 difieren mucho, según se trate del tubo vacío o lleno. Tanteado el caso, se ve que la situación peor corresponde al caso del tubo vacío, en que T_2 es pequeño relativamente, pero el valor de ϵ es grande, porque, con el tubo vacío, las oscilaciones de la temperatura del metal son grandes. Alcanzando a 50° , admitiremos que el tubo se contrae a razón de medio milímetro por metro desde el amarre hasta el codo.

La chapa tiene en aquel sitio 4 mm. de espesor, y los valores resultantes son.

- $\epsilon = 0,012$ m.
- $T_2 = 3\,700$ kg.
- $I = 81\,635 \times 10^{-8}$

Las ecuaciones anteriores escritas sustituyendo valores conocidos resultan

- (1) $T_1 - 0,149P_2 = 3\ 659$
 (2) $P_1 + 0,989P_2 = 551$
 (3) $3P_1 - 10P_2 - M_1 + M_2 = 0$
 (4) $4,5P_1 + 50P_2 - 5\ 016M_1 - 12\ 016M_2 = 0$
 (5) $4,5P_1 - 166,6P_2 - 10\ 548M_1 + 70\ 160M_2 = 29\ 193$

que, resueltas, dan los valores

$$\begin{aligned} P_2 &= 182 \text{ kg} \\ P_1 &= 371 \text{ kg} \\ M_2 &= 841 \text{ m kg} \\ M_1 &= 134 \text{ m kg} \\ T_1 &= 3\ 686 \text{ kg} \end{aligned}$$

El momento flector de 841 m kg es muy poco sensible para el tubo de que se trata. Y, aunque la dimensión L_2 fuera tan corta como 3,00 m. por ejemplo, no llega el momento flector a valores que sean de considerar.

El ángulo de $8^\circ 35'$ corre, por tanto, en el trazado, casi como si fuera recto el tubo; pero con ángulos más acentuados de 20° o más, o con tiradas largas que exijan corrimientos de varios centímetros, hay que calcular estos efectos con cuidado, para sumarlos a los del trabajo como viga de varios tramos por la acción de la gravedad, y componer las deformaciones de todos estos efectos para que el trabajo elástico de comparación no pase del límite admisible.

Codos.

Un codo hecho de chapa, por labor de calderería, no puede construirse exactamente con el ángulo re-

querido, y, si se monta tal como sale del taller, al acoplar las piezas a los cambios de rasante o de alineación del trazado, se fuerza el metal y se le exige fatigas imprecisas, de las que antes hemos hablado.

Hasta ahora acudíamos a un remedio, que era medir lo más aproximadamente que sea posible en el taller el ángulo del codo ya formado, y corregir el error, siempre pequeño, por medio de una cuña que, en el torno, se podía refrentar exactamente con el ángulo de corrección.

La solución que se ha aplicado en Zumarresta es radical, y consiste en prescindir de los codos hechos de calderería y formar cada ángulo con una pieza fundida, corta, en forma de cuña, que se trabaja exactamente en el torno.

Es muy fácil lograr una aproximación de cinco minutos, que sobra en la práctica.

La pérdida de carga producida por la brusquedad del codo es despreciable, en comparación de la total pérdida de carga en la tubería. Claro está que esta solución se aplica a los ángulos de poca inflexión y no a los codos del colector, en ángulo recto, por ejemplo.

Resumen.

En resumen, lo que se ha descrito son perfeccionamientos nimios; pero, en conjunto, permiten obtener una obra que dura más, que se conserva con menores gastos y que es más barata, para lograr el mismo fin.

Emilio AZAROLA
Ingeniero de Caminos

Draga de Succión sistema "Fruehling", "Consulado de Bilbao", adquirida por la Junta de Obras del Puerto de Bilbao

Del día 9 al 18 del pasado mes de julio se verificaron en el puerto de Bilbao las pruebas de la draga de succión sistema "Fruehling", que la Junta de Obras del Puerto de Bilbao ha comprado a la casa F. Schichau, de Elbing, que posee uno de los astilleros más importantes de Alemania.

Las características principales de dicha draga son:

Eslora	57,90 metros.
Manga	10,82 "
Puntal	4,70 "
Capacidad de la cántara.....	600,00 m ³
Carga máxima.....	1 000 toneladas
Calado máximo	4,00 metros.
Profundidad del dragado...	15,00 "

Clase de construcción, la más elevada del Lloyd Alemán para dragas.

Como se ha indicado, esta draga ha sido construida de conformidad con las prescripciones del sistema "Fruehling", y especialmente concebido para efectuar dragados en fango; y como además está provista de todos los adelantos modernos conocidos en la técnica del dragado de arenas, resulta el tipo representado por la draga "Consulado de Bilbao" especialmente adecuada para los trabajos en los puertos, tanto para efectuar dragados en fangos como en arenas.

Es de advertir que las dragas del sistema "Fruehling" están dispuestas para dragar en marcha; es decir, sin necesidad de que queden fondeadas sobre el terreno a dragar, con lo que se aprovecha la misma propulsión del buque para aumentar el rendimiento del trabajo. A este efecto, disponen en la popa y en el eje un tubo, que desciende en forma inversa de las demás dragas de succión, en cuya extremidad inferior se dispone de una especie de enorme rastra o cabeza dragadora, cuya boca y borde cortante puede variar de posición con relación al tubo, según la resistencia del terreno y la profundidad a dragar.

Dicho tubo, que, como se ha dicho, va alojado en el centro de la popa del barco, que está partida, se sujeta al casco en su extremo delantero, suspendiéndose por el otro de un fuerte cabrestante, de fácil y sencillo manejo, con el que se gradúa la penetración del borde cortante en el terreno fangoso o arenoso, según su consistencia y los resultados de la práctica; y como la draga sigue avanzando por la acción de las hélices que van dispuestas en cada una de las dos partes de la popa partida, se produce el desgarramiento del terreno, cuyos productos se acumulan en la boca dragadora, siendo empujados por los que nuevamente se desgarran, para ser absorbidos por las bombas, en un estado de consistencia que ninguna otra draga ha alcanzado. Este resultado justifica el que haya sido adoptado no