

la resolución de triángulos esféricos y de las aplicaciones de las fórmulas de interpolación.

Además de la Gran Cruz de Isabel la Católica, poseía otras varias distinciones y condecoraciones, entre ellas, la Cruz de Carlos III y la encomienda de Isabel la Católica, ganadas en su juventud; con motivo del viaje á España del Presidente de la República francesa, M. Loubet, le fué concedido, en 1906, el Gran Cordón de la Orden tunccina de Nichan-Iftikhar.

Murió cristianamente, como siempre había vivido, recibiendo los Santos Sacramentos con fervor edificante y rodeado de su familia, á cuyo dolor se asocia la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS en nombre de todos los Ingenieros.

¡Descanse en paz el sabio y virtuoso Ingeniero, honra y prez del Cuerpo á que perteneció!

M. DE E.

La protección de las instalaciones hidráulicas contra el hielo

POR

A. KAMINER Y J. VICHNIAK

(CONCLUSIÓN) (1)

Teoría del Dr. Luscher. — Este Ingeniero suizo, al refutar la antigua teoría del hielo de fondo, halla que la formación del sorbete debe explicarse por el encuentro de las capas frías, que contienen las partículas de hielo, con las capas más calientes. Dice: «El hielo flotante en el agua no soporta ninguna diferencia de temperatura sin helar de nuevo en seguida y constituir nuevos montones de hielo»; en otras palabras, sorbete. Afirma, por consiguiente, que la destrucción del sorbete por el calor provoca su formación en cantidad todavía más considerable, creando con ello la coexistencia de capas calientes y frías, y que una temperatura uniformemente baja, que tiene los cristales de hielo en suspensión, es, por consiguiente, preferible á estas alternativas de calor y de frío, que contribuyen á acumular el sorbete y á hacerlo viscoso.

El Sr. Luscher, en apoyo de su teoría, cita sus observaciones y experimentos hechos en Rusia y en Suiza, tales como:

1.º La presencia del sorbete, raro con el gran frío continuo, es muy frecuente durante los cambios de temperatura. (Esta observación, como se verá, parece contradecir la hecha por el señor Lokhtine).

2.º La destrucción rápida de los álabes de las turbinas, que se desprende por medio de un chorro de vapor, y la carencia del sorbete durante el resto del día, en aquellas que se desprende en frío por medio de herramientas ó por un chorro de agua bajo presión, conducida por un tubo de hierro dispuesto en el interior.

3.º La disminución de la obstrucción de las turbinas, cuando la desaparición de compuertas, que cerraban contra el aire frío el canal de desagüe encima de la planta de agua, permite al aire exterior enfriar las turbinas y sus alrededores.

4.º La carencia del sorbete en los canales cubiertos, donde la temperatura permanece sensiblemente constante, que el señor Luscher ha observado en dos grandes fábricas. Citamos su observación tal como él la ha descrito:

«Dos grandes fábricas, las dos sobre torrentes muy expuestos á los hielos de fondo, el Lutschine en Lauterbrunnen y el Ródano

en Wallis, ambas con canales de traída y conducciones forzadas de gran longitud, y presentando también condiciones de conjunto muy análogas, por la influencia del hielo de fondo funcionan de un modo muy distinto. La primera no sufre obstrucciones; en cambio, la segunda sufre muchas.

» Las turbinas y la altura del salto son análogas en ambas (45 y 65 metros).

» La primera tiene un canal de conducción de algunos centenares de metros, compuesto hasta el castillo de agua con tubos de palastro, de unos 2 metros, aproximadamente, de diámetro, instalados en la tierra y solamente una corta obra de toma para el umbral de la gravilla, las compuertas de toma y de vaciado. Esta obra es un trozo de canal descubierto y de sección muy grande. Del castillo de agua se desprende la conducción forzada, de un kilómetro, aproximadamente, de longitud, cubierto en parte, para la uniformidad de temperatura como el canal de conducción. La velocidad de agua en la conducción alcanza al máximo 3 metros por segundo.

» La otra fábrica, por el contrario, en el Ródano, tiene un canal de conducción de varios kilómetros, en gran parte abierto, con una velocidad aproximada de 1,50 á 2 metros, demasiado grande según nuestras consideraciones. En algunos centenares de metros va en subterráneo. Este canal de conducción desemboca en un depósito preparado en forma de estanque abierto para igualar las variaciones de presión. De éste se desprende la conducción forzada de unos centenares de metros de longitud, al aire libre, con un diámetro de 2,50 metros, aproximadamente.

» Las perturbaciones que sufre esta fábrica consisten en un fuerte desarrollo de hielo de fondo en el canal descubierto y en la acumulación de éste, con desarrollo de sorbete en el depósito hasta la completa obstrucción.

» Al principio de estas perturbaciones, ó en los casos de menor importancia, se manifiestan primeramente en las turbinas por la obstrucción de los álabes, y esto más en las pequeñas turbinas auxiliares que en las turbinas de fuerza motriz propiamente dichas.

» Está fuera de duda que las diferencias que ocurren en ambas fábricas se debe á ser distintas sus instalaciones.»

5.º La formación de los depósitos de hielo sobre las piedras cuya temperatura, así como la del agua donde se hallan, es ligeramente superior á 0 grados. Esta última observación fué hecha en el Narova (Rusia) durante el invierno de 1898-1899, así como en el Aar en Suiza, durante el invierno de 1890-1900. El Sr. Luscher ha medido durante algún tiempo las temperaturas del aire, del agua, de la tierra y de las piedras sobre las que se formaban los depósitos de hielo, con ayuda de termómetros especiales, que en las proximidades de 0 grados marcaban la centésima de grado.

Anotó el resultado de estos experimentos en un amplio cuadro del cual nos da una pequeña idea el extracto que damos á continuación:

	Aire.	AGUA		Tierra bajo 0,30 m. de agua ó 0,40 en arena.	Piedra núm. 1.	OBSERVACIONES
		A 0,30 m.	En la superficie.			
11 Febrero á las nueve de la mañana .	— 6°	0°08	0°05	0°20	.	Formación de hielo de fondo. La vispuera nevó por la temperatura de 0°
16 Febrero á las siete de la mañana	— 5°	0°03	0°01	0°22	0°025	Nada de hielo de fondo
18 Febrero á las siete de la mañana	— 13°2	0°04	0°04	0°20	0°015	Mucho hielo de fondo en la piedra. En el agua existen numerosos cristales.

(1) Véase el número anterior.

Teoría de aluvión glacial del Sr. Lokhtine. — Ingeniero de Caminos, ruso, publicó, en 1907, un interesante libro, en el que expone su teoría de aluvión glacial, fruto de muchas y detenidas observaciones y experimentos efectuados en el Neva y sus afluentes, así como en otros ríos rusos, sujetos á la formación del sorbete. Esta teoría explica suficientemente todas las particularidades del fenómeno estudiado, no explicadas frecuentemente con claridad por las teorías precedentes, y presenta tanta claridad en su exposición que la admitiremos con preferencia á estas últimas.

Ahora bien, antes de elevar una nueva construcción, el señor Lokhtine tiende á despejar el terreno. También hace tabla rasa de la antigua teoría del hielo de fondo, inutilizando del mismo golpe la distinción hecha por el Sr. Barnes. El método que emplea no es muy nuevo, pero no por eso deja de ser menos ingenioso.

Procede de la manera siguiente: Suponiendo exacta en todos sus puntos la teoría antigua, y partiendo de ella, hace experimentos que tienen necesariamente que venir á parar en probar la exactitud de esta teoría. Ahora bien, siendo los resultados contrarios á los que se habían previsto, á pesar del mucho cuidado puesto en la ejecución de estos experimentos y su frecuente repetición, demuestran claramente la falsedad de la teoría, cuyo éxito debería asegurar el triunfo definitivo.

Obtenido este primer punto, pasa el Sr. Lokhtine á la segunda serie de experimentos, que sirven para demostrar la veracidad de su propia teoría. Impidiéndonos los límites de nuestro artículo ser muy extensos, nos contentaremos con resumir el estudio del Sr. Lokhtine, citando sus principales experimentos y, para mayores detalles, recomendando esta interesante obra.

Uno de los experimentos de la primera serie consistía en llenar de agua del río Neva, recalentada previamente para destruir todo resto de hielo, un vaso especialmente fabricado para este uso, cerrándose por una cubierta de resorte, provisto de una arandela de caucho. Esta disposición se sumergía varias veces en el Neva, en sitios y profundidades distintas (en el fondo ó cerca de la superficie), donde cada vez se dejaba durante un tiempo suficiente para la formación de hielo, pero siempre superior á veinticuatro horas.

¿Cuál debía ser el resultado de este experimento? Según la teoría del hielo de fondo desde el momento en que los medios y las temperaturas eran iguales, tanto en el interior del vaso como en el río, y que este último daba lugar á la formación de cristales de hielo, debían hallarse igualmente en el agua del vaso. Ahora bien, no pudo descubrirse nunca en el interior del vaso nada de este hielo de fondo, que, en cambio, lo recubría abundantemente en el exterior.

Se metieron en el vaso objetos como ramas de pino, piedras, cordeles, etc., con objeto de que recogiesen los cristales de hielo y así descubrir su aparición; pero quedaron intactos, mientras que los sumergidos en el río, al lado del vaso, se retiraron completamente cubiertos de hielo. Sucedió siempre igual en todos los estados atmosféricos y temperaturas de aire y agua.

El mismo resultado se obtuvo llenando el vaso con agua del Neva, conteniendo sorbete y dejándolo en el río durante un deshielo y una nueva helada sucesivos. Durante el primero se fundió en ambos el sorbete, formándose nuevamente en el río durante el segundo, y no hallándose resto alguno en el vaso.

Análogos experimentos se han intentado con botellas y cajas de formas y materias distintas, dando siempre resultados parecidos, á saber: todos estos recipientes se extraían sin encontrar en su interior vestigios de hielo, pero recubiertos exteriormente de una capa de sorbete, á veces tan espesa que impedía reconocer la primitiva forma de los objetos, que tomaban el aspecto de bloques de hielo redondeados.

Ahora bien; la carencia de sorbete en el vaso provenía probablemente de la inmovilidad del agua en él contenida, mientras que la del río estaba agitada. Previendo esta objeción el señor Lokhtine, sumergió igualmente su aparato en un remolino, que lo sacudió tan rudamente, que la cuerda que lo sostenía estuvo á punto de romperse; pero esta vez, lo mismo que las precedentes, no se halló rastro de hielo.

Un resultado diferente se obtuvo sumergiendo el vaso abierto en los mismos lugares, llenándose, por consiguiente, de agua fluvial. Salía cubierto de depósitos de hielo, tanto interior como exteriormente.

Estos experimentos prueban suficientemente que lejos de formarse en el fondo sobre los objetos que cubren el lecho del río este hielo, tan injustamente llamado «de fondo», es arrastrado por la corriente que lo deposita sobre los objetos con que se encuentra.

Se le ve, por lo demás, claramente cuando se observa el agua sacada cerca de los torrentes del Neva á la profundidad de algunos metros. Presenta primeramente un aspecto turbio, amarillento, lechoso; después se aclara poco á poco, mientras que su superficie se cubre con una delgada capa de hielo que se espesa con rapidez, y si se tiene el cuidado de sumergir en ella algunos objetos, se les retira cubiertos de un depósito de sorbete que está en suspensión en el agua examinada.

¿De dónde lo ha tomado este agua? ¿Dónde y cómo comienza el sorbete? El Sr. Lokhtine da á estas preguntas unas respuestas apoyadas en experimentos convincentes. El primero, que puede llamarse experimento de laboratorio, se hizo cerca del pueblo de Lesnoi, en los alrededores de Petrogrado, con ayuda de una disposición preparada á este efecto.

Se instalaron allí tubos por donde corría el agua que salía de dos pozos próximos, previamente enfriada en tres grandes toneles unidos entre sí; desembocaban los tubos en una caja grande de paredes de vidrio para permitir observar el agua del interior. Dentro de la caja se colocó: ramas de pino, cuerdas y piedras, destinado todo á recoger el sorbete si se formaba, pero en todos los experimentos hechos con esta instalación, el agua llegaba invariablemente á la caja sin vestigio alguno de hielo y solamente después de enfriarse en la caja abierta, su superficie comenzaba á helarse. Primeramente aparecían manchas turbias que poco á poco se unían entre sí formando una delgada capa de hielo que rápidamente se hacía muy espesa. Si se rompía, se hallaba debajo la misma agua clara y limpia que se congelaba en seguida de igual modo.

Ahora bien, el resultado varió completamente desde el momento en que se reemplazaron los tubos por canalones de madera, dispuestos en zizás, de pendiente suave y divididos en tramos sucesivos por medio de viguetas, con salto entre cada tramo. Esta nueva instalación constituía una especie de pequeño río artificial, tanto más cuando que estando los canalones descubiertos, la superficie del agua quedaba en contacto con el aire frío. En varios sitios de este recorrido se colocaron termómetros y distintos objetos para poder comprobar mejor los resultados del experimento, cuyos resultados los describe el Sr. Lokhtine de la manera siguiente:

«Desde que todo el aparato estuvo dispuesto, se dejó correr por los canalones el agua de los toneles. Al principio del recorrido no manifestó el agua ninguno de los fenómenos propios de la formación del hielo. El termómetro marcó en este sitio temperatura superior á 0 grados, pero á medida que el agua avanzaba por los canalones se enfriaba gradualmente, llegando á 0 grados. En la superficie aparecían pequeños puntos casi rasantes al agua, que se confundían con ella, y gracias á su transparencia

se ocultaban completamente en la masa de agua y desaparecían á la observación de la vista. Hasta que no se retiró una rama del agua no se vió que estaba cubierta de una masa de partículas que le daban igual aspecto al observado en los experimentos efectuados en el Neva; pero solamente se adhiere á la rama en esta forma una parte muy insignificante de partículas; la gran mayoría era arrastrada por el agua acumulándose delante de las viguetas bajo el aspecto de una solución azulada, semitransparente y esponjosa. Este revestimiento de hielo creció gradualmente por encima de la vigueta, envolviéndola completamente hasta cubrir bajo su masa la corriente de agua. El agua se dilata en este momento, en contradicción con las leyes hidrológicas, y se forman gradualmente colinas de depósitos de hielo. A medida que el amontonamiento de hielo aumenta, el agua se acumula de más en más en la presa, rompe la masa de hielo y arrastra una parte más lejos, á través del canalón. El resto, saliendo de los canalones con el excedente del agua, se hiela inmediatamente por el aire y se cubre de una capa de hielo.»

Resulta de todos estos experimentos que para la formación del sorbete es indispensable el contacto del agua con el aire frío.

Ahora bien, no contentándose el Sr. Lokhtine con las demostraciones obtenidas con la ayuda de una corriente de agua artificial, intenta alcanzar iguales resultados con ríos verdaderos. Para este fin preparó una estación de observación en la orilla del Neva cerca del pueblo de Ivanovskoïe. Tres veces al día se tomaban las temperaturas del agua y del aire y todos los días se sumergían en el río diversos objetos, en sitios distintos, tanto agua arriba como abajo del torrente, en aguas descubiertas, como bajo la capa glacial, con el fin de comprobar la existencia del sorbete.

Al principio de estas observaciones el río quedaba descubierto en una extensión de unos 12 kilómetros, comprendido un torrente. Esta parte habitualmente se hiela después que el resto del río, si no queda descubierta durante todo el invierno. Sin embargo, cerca del torrente, el lado izquierdo del río, por donde no pasa la corriente principal, se recubrió de una delgada capa glacial que dejaba percibir la masa de sorbete que de agua arriba arrastraba la corriente, su cantidad aumentaba de día en día en día, hasta el punto de que hacia mediados de Enero tocaba casi el fondo. Igualmente, los objetos sumergidos en el Neva á distintas profundidades, debajo de un sitio descubierto, se retiraban siempre cubiertos de una capa de cristales de hielo, delgada al principio del invierno y espesa al final. Un pedazo de hielo de 6 libras sumergido el 2 de Enero, se retiró el 6 del mismo mes, dando un peso de 9 $\frac{1}{2}$ libras.

«Para convencerse definitivamente de que el sorbete era arrastrado por la corriente de agua arriba, y de que no se formaba bajo el hielo en la sección cubierta por este último, no era suficiente contentarse con las observaciones hechas únicamente en el Neva.» También estudió el Sr. Lokhtine algunos afluentes de este río, cubiertos completamente de una capa glacial, sin claros ni grietas, que permitiesen comprobar si el sorbete podía formarse en ríos cubiertos, tanto más cuanto que presentaban igualmente todas las condiciones de temperatura, como del fondo y corriente, necesarias para la formación del hielo de fondo.

Ahora bien; no solamente salieron libres de sorbete los objetos que se sumergieron, sino los que habían sido cubiertos en el Neva lo perdían al ser sumergidos en estos ríos, y bloques de hielo sólido se fundían rápidamente, perdiendo del 15 al 20 por 100 de su peso. La pérdida era tanto mayor cuanto más se profundizaban en el agua estos bloques.

Esta diferencia en el método de congelación entre el río y sus afluentes, observada en el Neva y en el Tosna, se ha comprobado

igualmente en otros ríos, y especialmente en Siberia, en el Angara y en el Irkut.

Dice el Sr. Lokhtine:

«Existen ríos como, por ejemplo, el Angara, que desemboca en el lago Baikal, que, á pesar de las grandes heladas, que exceden de 30 grados Reaumur, no se hielan hasta el mes de Enero y quedan cubiertos de una espesa bruma, parecida á la producida por el agua hirviendo, y, sin embargo, se ve aquí igualmente afluentes del Angara, de corriente tranquila, como, por ejemplo, el río Irkut, que se hielan al principio del invierno y en los que no se observan, en modo alguno, el fenómeno llamado hielo de fondo. En el Angara toda la masa de agua participa de la refrigeración, y acumulando masas enormes de hielo de fondo efectúa su congelación con una lucha obstinada y con grandes amontonamientos de hielo; en cambio, en las aguas tranquilas del Irkut solamente se hiela la superficie, y el manto glacial que la cubre evita la refrigeración ulterior de las masas de aguas corrientes.»

Ahora bien, los cristales de hielo formados en la superficie contienen frecuentemente impurezas de todas clases, de mayores ó menores dimensiones, como barro, granos de arena, plantas del fondo y gruesas piedras. ¿No es esto una prueba evidente de que debe formarse en el fondo del río?, objetan los partidarios de la teoría del hielo de fondo. No, responde el Sr. Lokhtine, porque este fenómeno tiene otra explicación, que no dejando de ser plausible, está de perfecto acuerdo con toda la teoría. Distingue dos casos:

a) El atascamiento del sorbete, formado por el barro, granos de arena y otras minúsculas impurezas, se produce por el encuentro en el agua de dos aluviones: aluvión arenoso ó limoso y aluvión glacial (es el nombre que él da al sorbete), los dos arrastrados por la corriente.

Durante este encuentro, los cristales del segundo se hielan alrededor de las menudas partículas del primero y las elevan á la superficie ó bien las tienen en suspensión en el agua. Múltiples experimentos practicados con objetos sumergidos en el río, han demostrado en efecto que:

El atascamiento del sorbete es mayor en las proximidades del fondo, por donde pasa la mayor parte del aluvión limoso, que en las superficies que tocan directamente el lecho del río, donde los aluviones no pueden penetrar y no contienen ningún resto de cristales de hielo ni de granos de arena.

El sorbete se atasca tanto más, cuanto que la corriente que le arrastra es más rápida; queda inmaculado en el agua tranquila. Estos hechos demuestran una vez más que los cristales de hielo que cubren los objetos sumergidos en el fondo de las corrientes de agua no se forman en el sitio, sino que son arrastrados por la corriente.

b) El sorbete que flota en la superficie del agua y contiene, incrustados en su masa, piedras, plantas acuáticas y otros restos bastante gruesos, es un sorbete de formación anterior al primero. Formado como éste en la superficie y llevado en seguida por la corriente hasta el fondo, se deposita allí sobre todos los objetos que encuentra, pero después de permanecer allí durante un tiempo más ó menos grande, remonta á la superficie atraído por los calientes rayos del sol y en su movimiento ascendente arrastra con él los objetos alrededor de los que se ha helado. Algunas veces, sin embargo, sea que el objeto en cuestión es muy pesado ó que el sorbete no se ha adherido con bastante solidez, se desprende este último, no guardando de su estancia en el fondo más que la marca en la cara por donde ha estado unido.

En esta forma, todos los fenómenos sobre que se apoyaba la antigua teoría hallan nuevas explicaciones, comprobadas con experimentos. Igualmente resulta con dos hechos, que á primera

vista parecen estar en contradicción con toda la teoría del señor Lokhtine.

Consiste el primero en la carencia completa de sorbete, aun durante los mayores fríos, en la cascada de Kolpino, formada por uno de los afluentes del Neva, á pesar de su gran rapidez, que impide la formación de la capa glacial; pero el Sr. Lokhtine demuestra que esta misma rapidez es la que impide, en vez de favorecerla, la formación del sorbete, por ser muy pequeña la distancia descubierta recorrida por el agua de la cascada; todo el recorrido dura menos de un minuto. Ahora bien; este tiempo no es suficiente para la formación del sorbete, que, según han demostrado los experimentos del laboratorio de Lesnoi, exige quince minutos á la temperatura de menos 6 grados.

El segundo fenómeno, que hace poner en duda la exactitud de la nueva teoría, es la disminución de los depósitos de aluvión helado durante las grandes heladas, que tienen lugar con un tiempo en calma. Ahora bien; se sabe que con carencia de viento el frío intenso provoca la formación de una capa de hielo en sitios hasta entonces descubiertos. Resulta evidente, por consiguiente, que siendo menor la extensión sujeta á la formación del sorbete, disminuya la cantidad de éste.

Presentados estos dos fenómenos en esta forma, no perturban en nada la claridad y la unidad armoniosa de la teoría del señor Lokhtine, que explica la formación del sorbete únicamente por el contacto del aire frío con el agua, cuya corriente es demasiado rápida para permitir la congelación de estos cristales de hielo en una capa unida é inmóvil y que el autor resume en los términos siguientes:

«En un río de corriente tranquila, el enfriamiento se concentra en la superficie y se termina con la capa glacial. En un río impetuoso, ese enfriamiento no puede sostenerse en la superficie; se extiende por toda la masa de agua y se manifiesta por la acumulación del llamado hielo de fondo. Su presencia en el agua del río es así un indicio de que ésta no puede congelarse en toda su extensión, ó bien en ciertas secciones, como consecuencia de condiciones desfavorables á la congelación.»

*
* *

El estudio de todas estas observaciones más ó menos exactas é interesantes no tiene únicamente un interés teórico, sino que servirá para la mejor comprensión en lo que sigue respecto á las medidas tomadas por distintas fábricas hidráulicas para combatir á su mayor enemigo y elegir, en su caso, las armas más apropiadas para asestar golpes decisivos en esta lucha encarnizada, entablada por el hombre contra los hielos.

III. La lucha contra los hielos. — ¿Cómo deben protegerse contra los hielos las instalaciones hidráulicas? Es este un problema que no por ser de interés local deja de ser menos importante, porque son bastante numerosas las fábricas que tienen que sufrir este perjuicio. Así sucede especialmente en el Canadá, Siberia, Norte de los Estados Unidos, Rusia, Alemania, Inglaterra, Francia y regiones elevadas de Suiza y otros países. Todas estas fábricas se han visto obligadas forzosamente á buscar algunos medios prácticos para combatir á este enemigo, que amenazaba paralizar el funcionamiento durante una parte, mayor ó menor, del invierno.

Los Ingenieros de las instalaciones hidráulicas de las regiones septentrionales han conseguido elaborar algunos métodos de defensa contra los hielos, apoyándose algunas veces sobre los estudios teóricos de la formación de las distintas clases de hielo y otras después de muchos ensayos y gran número de fracasos.

Estos procedimientos, sin ser todavía perfectos, merecen ser citados, porque realmente prestan grandes servicios á las fábricas

hidráulicas, y aunque no se han fijado todavía definitivamente, se perfeccionan de día en día.

Todos los medios de defensa actualmente empleados los dividiremos en dos categorías, colocando en la primera todos los que tienden á impedir la formación de los hielos y particularmente del sorbete (esfuerzo lo más racional y mejor dirigido que puede hacerse en este dominio), con el fin de reservar á la segunda los procedimientos que tienden á la destrucción de los hielos, que no se ha podido ó no se ha sabido impedir á tiempo su formación y la defensa, propiamente dicha, de las fábricas contra este enemigo.

1.º Medidas preventivas. — Ya hemos visto que en un río ó canal de conducción de gran caudal no es de temer el hielo de superficie más que durante su formación y su fundición, y esto nada más que ocasionalmente. Es, pues, inútil y aun peligroso destruirlo, como se hace algunas veces ya formada la capa glacial, porque muy pronto se formaría nuevamente, y probablemente de un modo peligroso para las fábricas hidráulicas instaladas en esta corriente de agua, ó bien porque la carencia de la capa glacial dejaría libre campo para la formación del sorbete, que siempre es perjudicial.

Con respecto á este último que se forma como consecuencia del contacto del agua con el aire frío, puede impedírsele aproximarse á la instalación, tomando el agua en sitios donde este contacto no exista, ó bien impedir su formación, aun suprimiendo el citado contacto.

Para realizar el primer caso, se puede, por ejemplo, con el auxilio de un sifón, tomar el agua á cierta profundidad, y en rigor aun en la superficie, teniendo cuidado de rodear la toma con una pantalla vertical suficientemente sumergida. Ésta puede estar constituida por una rejilla que el sorbete se encargará de llenar.

Para impedir el contacto del agua con el aire frío se puede conducir el agua por canales cubiertos ó en subterráneos, lo que resulta bastante costoso y difícil, á veces imposible, ó bien favorecer la formación de una capa glacial que preservará de frío al río. Esta capa debe cubrir la corriente de agua ó canal de conducción á alguna distancia agua arriba de la instalación. En cuanto á los témpanos y sorbete arrastrados por las aguas, la práctica ha demostrado que no son peligrosos, puesto que bajo la capa glacial se funden, ó bien se adhieren á su superficie inferior sin aumentar casi su espesor. Pueden, sin embargo, serlo cuando constituyen una gran cantidad ó cuando el canal sea de poco caudal.

Cuando quiera provocarse la formación del hielo de superficie, deben distinguirse dos casos:

a) Existe la capa glacial, pero presenta algunas lagunas. Puede obtenerse la congelación de éstas por medio del procedimiento llamado de los colchones, propuesto y descrito en la forma que sigue por el Sr. Lokhtine, que lo ha experimentado:

«Se eligió un claro en la corriente rápida del Neva, sumergiendo en la superficie unas colchonetas compuestas de ramas de pino, de 5 metros de longitud, colocadas con sus ramas ligadas entre sí y formando una especie de jaula á una distancia de unos 2 $\frac{1}{2}$ metros una de otra. Como en experimentos anteriores se había comprobado que es completamente inútil colocar cualquier cosa en la parte inferior del claro para contribuir á la congelación, porque los objetos sumergidos, cubriéndose en seguida de hielo y helándose, son arrastrados al momento por los témpanos que vienen de arriba, ó bien conducidos debajo del hielo, se decidió colocar estos colchones en la parte superior del claro. En el primer momento la colchoneta se sumerge á bastante profundidad, pero algunas horas después se eleva á la superficie, debido

á la congelación de las partículas de aluvión helado. Con esto, así que la velocidad de la corriente disminuye en parte entre las ramas, sobre todo en el sitio donde las últimas se han colocado formando un haz espeso, sobreviene una congelación rápida que se extiende por ambos lados. Bajo la capa de hielo delgada y transparente que se forma en estos sitios, se acumulan rápidamente partículas del aluvión helado, que se congelan y aumentan el espesor de la nueva capa de hielo. Uno de estos claros de dimensiones exiguas se recubrió de hielo al cabo de seis horas, y veinticuatro después se podía andar por encima. En un gran claro de 450 metros cuadrados de superficie, se formó en veinticuatro horas una capa de hielo que excedía en mucho la superficie del colchón; entonces se comenzó á añadir ramas, y la congelación se efectuó más rápidamente; se tardó tres días en cubrirlo completamente.

Un procedimiento análogo se emplea en Noruega, donde al principio del invierno se reúnen sobre el lago ó sobre el canal de entrada todos los pedazos de madera flotantes que facilitan la formación de la capa glacial y destinados más adelante á transformarse en pasta de papel.

b) El río ó canal de que se trata está completamente desprovisto de capa glacial. Se presenta entonces el caso de provocar la congelación de toda la superficie del agua.

Si se trata de un canal de conducción, se obtiene muy fácilmente la congelación cuando la velocidad de la corriente no excede de un metro. Se hace, pues, preciso en las regiones frías no aumentar demasiado esta velocidad aunque esta obra resulte más costosa.

En un canal de conducción de poco caudal se puede utilizar el siguiente procedimiento ensayado en la fábrica de Sonage: se paraliza durante algún tiempo y completamente el funcionamiento de la fábrica, lo que suprime todo movimiento de las aguas del canal. La superficie se congela entonces y la capa así formada libra al agua inferior del contacto con el aire, la marcha de la fábrica puede entonces hacerse con carga reducida.

Sin embargo, esta práctica supone que se dispone de un sorcorro de vapor suficiente para permitir la paralización de la fábrica hidráulica. Esto, por lo demás, no sucede sin peligro, porque la formación de un demasiado grande espesor de hielo en el canal, puede dar lugar á empujes peligrosos para la estabilidad de las obras.

Cuando se trata de un río de corriente demasiado rápida, para congelarse naturalmente puede procederse de la siguiente manera empleada frecuentemente en el Canadá: practicar inmediatamente antes del punto donde empieza el canal de conducción, un amplio depósito de agua en calma, que se cubrirá rápidamente de capa glacial. Esta última impedirá entonces la formación del sorbete en el agua que baña á la fábrica. El agua en calma durante algunos kilómetros es suficiente para hacer desaparecer el sorbete en toda la parte inferior del río. Este depósito puede conseguirse fácilmente inundando el terreno por medio de una presa. El agua cubrirá igualmente las cascadas y los saltos, si existen en este sitio.

Esta disposición puede modificarse un poco. En esta forma, un grupo de centrales hidroeléctricas, recientemente instalado en el río Winnipeg, en el Canadá, ha preparado antes de cada central un amplio depósito de varios kilómetros de extensión agua arriba. Una vez que se terminen estas obras se transformará el río en una serie de estanques y de lagos que englobarán todas las cascadas y saltos de agua que forma el río en este recorrido é impedirán en sus aguas toda formación de sorbete.

Es preciso evitar también las alternativas de partes cubiertas y descubiertas que frecuentemente se encuentran en los canales

cubiertos ó en subterráneo, igualmente que las causas de estancamiento, de remolinos y de disminución de velocidad, que todas favorecen la formación del sorbete. Estos últimos fenómenos pueden impedirse con la instalación de rejas parecidas á las de la fábrica de Friburgo (Suiza), construída en 1909 y que el Comandante Hoc describe en la forma siguiente:

«Detrás de estas rejas el paso abierto al agua va ensanchándose de agua arriba á agua abajo, de modo que la sección sea en cada punto proporcional al volumen que proviene de la longitud de reja agua arriba y que por consecuencia la velocidad del agua sea constante. Desde esta reja hasta las compuertas de las conducciones forzadas, el canal está en subterráneo, la cámara de presión sólo está desarrollada muy moderadamente y la toma de las compuertas cilíndricas se hace en superficie.»

La instalación de Friburgo presenta también el ejemplo de otro procedimiento, que es conveniente imitar y que consiste en quitar durante el tiempo de las heladas parte ó aun todas las rejas, cuyos barrotes están separados de 3 á 4 centímetros y que se componen de cuadros móviles que se basan sobre encuadramientos de hierro en forma de T, dejando únicamente las rejas, que sirven para detener los cantos, formadas con barrotes verticales, orientados á 45 grados y espaciados en 10 centímetros, cuyas rejas difícilmente puede atascarlas el hielo. La supresión de las primeras rejas no presenta inconveniente alguno, porque el agua en esta época es muy clara y casi solamente arrastra hielo, mientras que quedando en su sitio, se transforman rápidamente en murallas de hielo.

Una medida análoga se ha empleado en la fábrica americana de Holwood (Pensilvania, Estados Unidos), construída en el Susquehanna River, cuyas turbinas principales, y particularmente las de las excitadoras, se ven á veces bloqueadas por el sorbete y por los hielos que se forman en la superficie del río durante los fuertes descensos de temperaturas. Cuando después de un ruido característico se reconoce la presencia del sorbete ó de témpanos en los pasos de las turbinas, se abre un cierto número de rejas colocadas delante de las cámaras de agua.

Igual precaución se toma con las turbinas de las excitadoras y aun se procura durante el período peligroso no servirse de éstas, empleando otras accionadas por motores eléctricos, y algunas veces reemplazar las excitadoras por una batería de acumuladores de que dispone la central.

Según el Sr. Luscher, las fábricas hidráulicas rusas emplean, generalmente, rejas cuyos barrotes están espaciados de 10 á 15 centímetros y turbinas con los álabes espaciados en proporción, que aunque realmente perjudican el rendimiento, evitan, en cambio, los atascamientos por el sorbete, y, como consecuencia, la paralización de la fábrica.

El Sr. Hoc aconseja quitar ó elevar en parte los cuadros de rejas, aun con turbinas ordinarias, en cuanto se perciba que el sorbete amenaza atascar estas rejas y paralizar el funcionamiento.

2.º *Medidas defensivas.*—Cuando se haya descuidado tomar á su debido tiempo las medidas necesarias para impedir la formación del sorbete ó de los témpanos, ó bien cuando hayan resultado infructuosas, se hace preciso defender enérgicamente las centrales contra estos enemigos flotantes que amenazan con la paralización del funcionamiento.

Cuando se trate de hielos que provengan de un deshielo brusco ó de un amontonamiento de témpanos, que alcanzan frecuentemente dimensiones tan considerables que no pueden ser separados por los obreros, ni por medio de construcciones ordinarias, se recurre á la dinamita. En esta forma se procedió el 22 ó 24 de Abril de 1909 para contener la inundación de las centrales

construidas en el Niágara de las que ya antes hemos hablado. Con auxilio de la dinamita se abrieron canales sobre el hielo para que por ellos pudiese circular el agua, y posteriormente se reunieron en un solo canal de la mitad de la anchura del río, alcanzando 12 metros de altura.

Se procede algunas veces en igual forma en presencia del sorbete, cuando éste se eleva del fondo en masas enormes ó, cuando arrastrado abundantemente por la corriente, se adhiere á la cara inferior de la capa glacial, aumentando en mucho el espesor de ésta; el Sr. Barnes cita un caso de esta especie, donde hubo precisión de emplear la dinamita para practicar un canal sobre espesas masas del sorbete, debiendo á continuación, para sostenerlo abierto, efectuar un trabajo á brazo, ejecutado por varios hombres armados de perchas.

Esto último se emplea frecuentemente como única medida, porque el sorbete raramente forma masas tan espesas que hagan necesario el empleo de explosivos. Habitualmente estos últimos no son de utilidad alguna cuando el sorbete es fluido y esponjoso.

Por el contrario, el trabajo á brazo (que consiste en agitar constantemente el sorbete de arriba abajo en las rejas para forzarle á que las atraviere con el agua) puede prestar grandes servicios. Puede hacerse por medio de aparatos de paletas, como tienen en algunas fábricas, la de Montbovon en Suiza, por ejemplo, por cadenas ó sencillamente por obreros. En este último caso, que es el más frecuente, es necesario disponer de un numeroso personal, porque se hace preciso colocar un obrero por metro corriente. Además, como la labor es muy penosa, la mitad de los obreros debe descansar mientras los otros trabajan. Este sistema no se emplea, por consiguiente, más que cuando la defensa contra el sorbete dura poco tiempo: algunos días en otoño y en la primavera.

Un segundo procedimiento consiste en la evacuación del sorbete por medio de pasos para hielo, canales anchos y poco profundos, porque se ha comprobado que un paso de 25 centímetros de profundidad evacua tanta cantidad de hielo como uno de 50. El ancho puede alcanzar a 6 metros en dos tramos de 3 metros, separados por un caballete metálico que soporta una pasadera de maniobra, y provistos ambos de viguetas. Resulta más práctico todavía emplear una anchura de 7,50 metros en tres tramos de 2,50, porque resulta mucho más fácil el manejo de las viguetas.

El paso citado debe establecerse en la orilla, hacia donde la corriente se dirige, naturalmente; es decir, en la orilla cóncava. Siendo el canal de evacuación continuación del de paso, debe tener una pendiente bastante fuerte ó un nivel muy bajo con relación al otro, porque el ejemplo de la fábrica de la Brillane ha demostrado que una diferencia de un metro no impide que el canal se obstruya completamente por un muro de hielo. En efecto, no siendo la corriente bastante fuerte para arrastrar el sorbete evacuado, éste se une rápidamente y forma un amontonamiento que eleva el agua del canal.

Para conducir el sorbete á los canales de paso se emplea, en los de anchura y velocidad pequeñas, obreros provistos de rastriños, que con ayuda de una viga flotante oblicua dirigen el sorbete. Un procedimiento igual se emplea en una central del Lena (Siberia), donde los obreros provistos de largas perchas desprenden el sorbete del fondo y lo dirigen hacia el canal de evacuación. Algunas veces pescan el sorbete flotante por medio de redes y lo arrojan á las orillas.

Cuando el canal es más ancho ó mayor la velocidad, no son suficientes estos procedimientos. Se emplea entonces estacadas, que pueden ser fijas ó flotantes. Estas últimas deben tener masa suficiente para que un cierto número de obreros pueda circular sobre cada elemento sin alterar la estabilidad de la estacada. La

unión entre dos elementos consecutivos está guarnecido con tela, para asegurar la continuidad de la superficie destinada á guiar al sorbete. La madera puede frotarse con aceite para impedir la adherencia del hielo.

Las estacadas flotantes no son realmente útiles más que cuando el sorbete no aparece en cantidad muy considerable. De otro modo, debido á su extrema fluidez, se sumerge con el agua debajo de la estacada y sale por el otro lado, frecuentemente, en cantidad mayor todavía.

Para evitar esta huida del sorbete, se ha construido en Saint-Maurice, y á su ejemplo en la Brillane y en Ventavon, disposiciones especiales formadas por combinaciones de estacadas fijas y flotantes.

La instalación de defensa de la fábrica de Saint-Maurice, en el Ródano, realizada después de algunos ensayos, comprende:

a) En la toma, en el mismo río, una estacada fija montada sobre armadura metálica, de 50 metros de longitud, aproximadamente, y que queda colocada durante toda la época de los grandes fríos, que dura de Octubre á Marzo.

b) En el canal dos estacadas fijas precedidas de una plancha colocada entre dos aguas, que separa la masa de agua en dos capas superpuestas, antes de arrojar la capa superior á un paso de hielo apropiado.

c) Delante de las rejas de la cámara de presión una cortina de madera sumergida en el agua unos 50 centímetros.

Habiendo dado buenos resultados esta instalación, se imitó por las fábricas de la Brillane y de Ventavon, en el río Durance, cuando en 1909 tuvieron que combatir una invasión de sorbete que obstruyó las rejas y canales de conducción, provocando la paralización del funcionamiento de estas fábricas. Hasta una vez, en Febrero, el canal de la Brillane estuvo á punto de desbordarse.

Después de varios tanteos, se instalaron en el canal de conducción de Ventavon dos estacadas fijas y una en el de la fábrica de la Brillane-Villeneuve. El primero de estos canales tiene 14 kilómetros de longitud y, aproximadamente, de caudal unos 50 metros cúbicos en seco; el segundo no tiene más que 7 kilómetros y 60 metros cúbicos de caudal.

El funcionamiento de estas instalaciones ha permitido poder sacar la conclusión de que las estacadas fijas son las únicas disposiciones que verdaderamente prestan algunos servicios en la lucha contra los hielos. Por lo menos esta es la opinión de los Ingenieros de las fábricas que las han utilizado. La eficacia de las estacadas es tanto mayor, cuanto se acepte la idea de perder un importante volumen de agua. Sin embargo, es necesario colocar en toda la extensión del canal dos ó tres estacadas fijas, por lo menos, si se quiere evitar que el sorbete obstruya la cámara de presión.

En el paso de hielo pueden instalarse viguetas que permitan reglar la evacuación, según el espesor del sorbete que flota en las capas superiores del agua del canal.

Ahora bien, todo esto no es aplicable más que á las fábricas que no tienen que soportar temperaturas inferiores á 15 grados y en las que el caudal del canal no es muy considerable.

En efecto, las estacadas no son suficientes de modo alguno para la protección contra los hielos de aquellas fábricas sometidas á grandes fríos.

La instalación de la Brillane, antes descrita, ha funcionado siempre con temperaturas mayores que el citado límite.

Por otra parte, hemos visto que los canales de paso de hielo y las estacadas poseen el inconveniente de perder mucha agua, lo que es tanto más de tener, cuanto que en invierno la cantidad de agua disponible para la fábrica raramente es suficiente para las necesidades propias.

En efecto, en esta estación los ríos casi no están alimentados más que por los manantiales de fondo, porque los pequeños afluentes están aprovechados y los glaciares no dan agua. Resulta, por consiguiente, preferible evitar la necesidad del empleo de estacadas, sobre todo en las fábricas de gran capacidad, por medio del empleo á su debido tiempo de las medidas preventivas.

El punto más sensible de la fábrica y el más temible en el ataque por los hielos es el constituido por las rejas, pues, como ya hemos visto, es donde el sorbete constituye muros impermeables que impiden la circulación del agua; por esta razón se han ideado muchos procedimientos destinados á asegurar la protección de las rejas.

Uno de ellos, empleado en el Canadá, consiste en sumergir las rejas metálicas. Éstas toman entonces la temperatura del agua que las rodea, y ya no son conductoras del frío exterior. Los vértices de las rejas que sobresalen del agua, deben construirse con madera, que, como aisladora, no deja pasar el frío.

Las rejas que se elevan encima del nivel del agua, pueden protegerse con un cobertizo, caldeado por medio del vapor ó electricidad, de modo que el hierro conduzca á toda su longitud una pequeña cantidad de vapor. Este procedimiento se perfecciona hasta construir un pabellón especial que protege las rejas y puede ser caldeado en caso necesario. Sirve al mismo tiempo para proteger del frío á los obreros que ordinariamente trabajan al aire libre.

Las compuertas metálicas y las cámaras de las turbinas corren igualmente el riesgo de ser bloqueadas por el sorbete, cuya formación se activa por la baja temperatura del metal. El procedimiento más comúnmente empleado en el Canadá para la protección de las compuertas consiste en cubrir el agua con planchas de madera fijas, á una armadura también de madera, que forme dos lados verticales y un techo puntiagudo ó en pendiente.

Otro método mejor exige el empleo de latas ó alambres fijos á una armadura de metal ó de madera, por medio de cemento ó en otra forma. Estas construcciones alcanzan generalmente dimensiones tan considerables, que es preferible ejecutarlas al mismo tiempo que los edificios de la fábrica.

En algunos casos, los peligros corridos por las rejas, compuertas, puertas, esclusas, etc., han exigido la instalación de la calefacción por calor, lo que permite, con ayuda de un sistema de tubos, conservar libre de agua todas las partes de la fábrica. Instalaciones por el estilo se han establecido en las fábricas de Ottawa, donde, según el Sr. Hendry han dado excelentes resultados.

En la fábrica de Sawinigan se insufla el aire caliente en las rejas, tanto en las partes salientes como en las sumergidas en el agua.

En la fábrica de Holwood, ya citada, se ha utilizado un procedimiento análogo, donde se admite el vapor en la cámara de agua de la turbina helada, con el fin de recalentar y fundir el hielo adherido á las partes metálicas.

En Europa se ha empleado igualmente el caldeo de las rejas y de sus proximidades. El Sr. Luscher describe una instalación de este género, establecida en una fábrica de fuerza motriz, donde las turbinas, recubiertas con toldos cerrados, se han caldeado por vapor, conducido por tubos en serpentín, que recorrian lo largo de las aberturas de los álabes.

La fábrica hidroeléctrica de Trollhättan, en Suecia, consiguió en 1915 conjurar el peligro de los hielos, caldeando sus instalaciones de defensa por medio de la electricidad.

Por último, en Francia, la fábrica de Cusset, cerca de Lyon, desde hace algunos años ha instalado la calefacción por tubos de vapor, que pasan al espacio cerrado constituido alrededor de las rejas por una plataforma.

¿Cual es, pues, la utilidad práctica de este procedimiento? Sobre este punto divergen mucho las opiniones.

Las fábricas canadienses, igualmente que las de Trollhättan, afirman que su empleo ha prestado excelentes servicios.

Los Ingenieros de la fábrica de la Brillane hacen una distinción, hallando que, si el caldeo de las rejas puede ser bastante eficaz cuando se emplea ampliamente en las fábricas de caída alta cuyo gasto no excede de 1,5 metros cúbicos á 2 metros cúbicos por segundo, es absolutamente impracticable cuando se trata de fábricas de gran caudal, porque consideran que sería necesario una cantidad enorme de calorías para elevar de -4 á $+1$ grado un gasto medio de 40 ó 50 metros cúbicos. El Sr. Barnes considera, sin embargo, que podría efectuarse este caldeo muy económicamente.

El Sr. Luscher, por el contrario, declara categóricamente que el caldeo de las rejas y sus proximidades, no solamente no es de utilidad alguna, sino francamente perjudicial, porque dice, si el calor hace fundir momentáneamente el hielo pegado alrededor de las rejas y de las partes metálicas de las máquinas, la diferencia de las temperaturas producidas en esta forma provoca una nueva formación del sorbete en cantidad mucho más abundante que la destruida precedentemente. Apoya su razonamiento con el ejemplo de la fábrica de Cusset, antes citada, que emplea turbinas de Francis; no ha podido conseguir por este procedimiento separar el hielo ni evitar las obstrucciones producidas por el sorbete. Se puede presumir, dice, suceda igual en todas las fábricas que utilizan el caldeo de las rejas.

El Comandante Hoc parece que abunda en las mismas ideas del Sr. Luscher, influido por el fracaso del empleo del caldeo de las rejas en la fábrica Cusset. Añadamos que este procedimiento se ha utilizado sin éxito alguno en la fábrica de Sonage.

El problema del caldeo de las partes metálicas de las fábricas hidroeléctricas, como medida de defensa contra el peligro de los hielos, y particularmente contra el ataque del sorbete, queda, pues, planteada, debiendo ser discutida, tanto más cuanto que las revistas técnicas no se han preocupado hasta el presente en igual forma que lo han hecho con los otros problemas del mismo género. Es, pues, de desear que las medidas de protección de las fábricas hidroeléctricas contra los hielos tomen en el porvenir, en las monografías de estas fábricas, un puesto digno de la importancia que representan.

H.

LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS POSTES DE MADERA

El Sr. D. Uldarico Torras, Director de los talleres de construcciones metálicas de su nombre, ha tenido la bondad, que agradecemos, de enviarnos las siguientes observaciones acerca del artículo traducido del Sr. Delamarre sobre resistencia mecánica de los postes de madera, que publicamos en el núm. 2.198, para mejor ilustración de este asunto:

«La fórmula (7) es exacta, pero no la que el Sr. Delamarre ya califica de «un poco empírica», y menos la consecuencia que saca. En realidad, son igualmente resistentes los postes largos y cortos, si sus dimensiones son las apropiadas á la carga que han de soportar. Ahora, si se comparan entre sí un tipo de postes, más ó menos comercial, nos dará un caso particular que no debe generalizarse.

En la nota de la página 535, y refiriéndose á la figura 5.^a, dice: «en una línea en pendiente resulta que los postes son desigual-