

IDEAS SOBRE LA IMPERMEABILIDAD EN LOS CANALES

Por JOSE MARTINEZ RAYON

Ingeniero de Caminos

y

PABLO HINNEN KOPRIO

Ing. Dipl. Escuela Politécnica de Zürich.

Presentan los autores una serie de normas o sugerencias para conseguir la impermeabilidad de los canales en los más diversos casos, recalcando al final la acertada idea de que en modo alguno debe confiarse esta propiedad al entucido.

Los canales de conducción de aguas, sean para aprovechamiento hidroeléctrico, para regadíos o para abastecimientos de aguas potables a poblaciones, y tanto en sus tramos a cielo abierto, en túnel natural o artificial, en sifón o en sus acueductos, llevan, en la casi totalidad de los casos, sus secciones de paso revestidas de fábrica, y normalmente, en nuestro tiempo, tales revestimientos son de hormigón en masa, o armado en los acueductos, sifones y algunos tramos especiales.

Tales revestimientos, cuando no constituyen una parte integrante de la estructura resistente propia del canal (sifones, acueductos, muros de contención, etcétera), se ejecutan para regularizar las secciones de la excavación disminuyendo el coeficiente de rugosidad de las paredes de la sección mojada, para defender tales paredes de los efectos de erosión de los agentes atmosféricos y de la corriente del canal y para evitar pérdidas de agua en terrenos permeables.

En los sifones, acueductos, canales con muros laterales, etc., la estructura resistencia es a la vez revestimiento y se proyecta el conjunto de manera que se asegure la estabilidad estática y elástica de la obra, a la par que las mejores condiciones de circulación de la corriente de agua que el canal ha de conducir.

Cuando se estudia un aprovechamiento hidroeléctrico con canal de conducción, o el establecimiento de regadíos a base de canales y acequias de importancia, o un abastecimiento de aguas potables para grandes poblaciones con conducción rodada, el ingeniero proyectista ha de tener muy presente las dos fases fundamentales de la obra que proyecta para que, en un futuro más o menos próximo, cumpla la finalidad propuesta. Estas dos fases son la de construcción y la de explotación, en cada una de las cuales la situación de la obra es muy distinta, las solicitudes y acciones exteriores que ha de soportar diferentes y hasta en algunos casos contradictorias, y las

averías que pueden sobrevenir dispares y en algunos casos imprevistas.

Los sifones, acueductos, muros, etc., durante la construcción y después de terminados hasta que la obra se pone en servicio normal, a pesar de no estar las estructuras en carga, soportan efectos exteriores más desfavorables que cuando la obra está ya funcionando; por ejemplo, los efectos de variaciones de temperatura son más acusados y peligrosos, porque cuando ya se echa el agua la masa líquida actúa como estabilizador de las temperaturas que soportan las fábricas.

Los tramos a cielo abierto o en túnel con revestimientos, por una parte, están antes de ponerse en servicio más afectados por los agentes atmosféricos, pero, por otra parte, al circular el agua se pueden producir fenómenos que, de no haber sido tenidos en cuenta en el proyecto, pueden ocasionar graves averías y serios contratiempos.

Posiblemente se olvidan en parte estos detalles al proyectar las obras del tipo de las que nos ocupan, no se toman en la construcción las precauciones debidas para prevenirlas o no se las da la importancia que realmente tienen, y al poco tiempo de poner la instalación en servicio surgen las averías que entonces es preciso reparar con grandes dificultades, que obligan, en muchos casos, a suspender la explotación y que ocasionan, en definitiva, unos gastos y unas pérdidas muy superiores al coste de los trabajos y obras que se hubieran debido realizar a su debido tiempo durante la construcción, o al menos antes de comenzar la explotación.

Consideramos por esta razón muy conveniente y oportuno hacer un ligero repaso de las normas a seguir y precauciones a tomar en el proyecto, en la ejecución o en el período previo a la puesta en servicio, según las características de los distintos tramos de un canal revestido para conducción de agua.

Tramos a cielo abierto.

Es preciso tener un conocimiento perfecto de las características geofísicas de los terrenos en que se asienta el canal, pues según sean éstos serán las precauciones y normas constructivas que se hayan de tomar en el proyecto y en la ejecución de la obra.

Cualquiera que sea la clase de terreno en que se excava el canal, y cualesquiera que sean los productos de excavación o de préstamo que se empleen para la construcción de los terraplenes, es fundamental, en primer lugar, que la obra se ejecute de manera que no se puedan producir asentamientos del terreno o de los terraplenes después de hacer los revestimientos; las excavaciones se habrán de ejecutar ajustadas al perfil teórico, y si incidentalmente se producen excesos de excavación, rellenarlos con mampostería en seco o hidráulica, con hormigón pobre o con la misma fábrica prevista para el revestido, según su importancia; los terraplenes se habrán de consolidar y compactar según los materiales empleados para que sean totalmente estables, sin que a la larga ocasionen asentamientos o entumecimientos.

Si agentes exteriores al canal, empujes del terreno, aguas manantiales o freáticas, aguas de escorrentía o cualquier otra causa puede motivar la falta de estabilidad de forma o volumen del terreno en las proximidades de la obra, que afecten a los futuros revestimientos, se deberán ejecutar las obras complementarias precisas, muros de contención estables, drenajes eficaces, zanjales de coronación de desmonte y de pie de terraplén, desagües amplios y bien elegidos y cuantas la topografía y condiciones del terreno aconsejen, sin buscar una economía aparente en la construcción, que después se traduce en grandes gastos de explotación.

Conseguida, o asegurada dentro de los términos previsibles, esta estabilidad del terreno de emplazamiento del canal, vamos a enumerar las precauciones a tomar en cada tipo de terreno al proyectar y construir los revestimientos.

a) *Terrenos arenosos o gravosos sin yesos.*— Estos terrenos son normalmente estables por su constitución física, estén o no mojados, pero son más o menos permeables. Los revestimientos contruidos en ellos, mientras la obra no sea puesta en servicio, soportan únicamente los efectos de las variaciones de temperatura ambiente, que los agrietarán si no se proveen las oportunas juntas de dilatación. Puesta la obra en servicio, si los revestimientos no son impermeables en su masa y las juntas de dilatación no están selladas elásticamente, se producirán filtraciones del canal al terreno, que generalmente no tendrán más importancia que una pérdida de caudal, mayor o menor según la cuantía de filtración por metro lineal de canal y la longitud total de éste.

No serán de temer averías del canal en la explotación, y como la pérdida de agua no se aprecia, pues se pierde a través del terreno permeable, el canal

parecerá perfecto; sin embargo, creemos que la indefinida pérdida de caudal representa económicamente mayor quebranto que la amortización de los gastos que supone en la construcción hacer los revestimientos totalmente impermeables.

b) *Terrenos arcillosos o margosos sin yesos.*— Tales terrenos son, por su constitución, estables en tanto están secos, y totalmente impermeables. Los revestimientos hasta la puesta en servicio de la obra soportarán los efectos de las variaciones de temperaturas y deberán prescribirse en proyecto las oportunas juntas de dilatación. Con la obra en servicio estos efectos de temperatura son menos acusados (igual pasa en el caso anterior) por el efecto moderador de temperaturas de la masa de agua circulante; pero si los revestimientos no son totalmente impermeables, el agua del canal pasará a través de ellos a humedecer el terreno, se producirá el fenómeno de entumecimiento de las arcillas y margas que, empujándolos, ocasionará a la larga, cualquiera que sea su espesor, el agrietamiento y rotura de los mismos.

Una vez producidas las primeras grietas y roturas se facilita el paso del agua del canal al terreno, es más rápido y profundo el humedecimiento, aumenta el entumecimiento y, con ello, los empujes del terreno y, por tanto, la rotura de los revestimientos es una avería progresiva y creciente. Creemos que serán pocos los Ingenieros que se han ocupado de obras de este tipo que no hayan apreciado y padecido estas averías. El fenómeno se puede presentar antes de la explotación si por circunstancias especiales el canal llega a contener agua por períodos prolongados.

En consecuencia, en estos terrenos, el hacer los revestimientos del canal totalmente impermeables y un eficaz sellado de las juntas de dilatación es imprescindible para asegurar la permanencia del canal durante la explotación.

c) *Terrenos de rocas consistentes permeables.*— El canal será perfectamente estable y los revestimientos tienen en este caso la finalidad de evitar las pérdidas de agua por la permeabilidad del terreno y regularizar las paredes a los efectos de mejorar el coeficiente de rugosidad. Hasta la puesta en servicio los revestimientos soportarán el efecto de las variaciones de temperatura, como en todos los casos, y se deberán hacer juntas de dilatación; desde el punto de vista de las juntas, es de hacer notar que estos terrenos, al excavar el canal, dejan superficies muy rugosas e irregulares, y los revestimientos que en ellos se apoyan tienen poca libertad de movimiento en las dilataciones y retracciones por los cambios de temperatura; por ello, puede darse el caso de que aparezcan grietas intermedias entre juntas de dilatación, que deberán ser selladas elásticamente antes de la puesta en servicio.

No son de temer averías en estos canales, pero si se ha de evitar la pérdida de agua en la explota-

ción, se deberá conseguir en la construcción la impermeabilidad de los revestimientos en su masa y el sellado elástico de las juntas de dilatación y de las grietas de retracción si se han producido.

d) *Terrenos de rocas consistentes impermeables.* En ellos el revestimiento no tiene otro objeto que mejorar el coeficiente de rugosidad. Teóricamente no precisan impermeabilidad ni juntas de dilatación, pero en la práctica, y a los efectos estéticos, conviene dejar juntas de dilatación que traten de evitar la formación de grietas de retracción por temperatura; estas juntas de dilatación pueden ser sencillas juntas de hormigonado que no requieren tratamiento posterior, como tampoco lo precisan las grietas intermedias de retracción que se puedan formar entre juntas, por falta de libertad de movimiento de los revestimientos.

e) *Terrenos de cualquier clase con yesos.* — Estos son los casos más difíciles que se presentan en la construcción de canales, y en España, por desgracia, son muy frecuentes; en ellos se han de tomar las máximas precauciones, pues las averías en explotación son de gran importancia y, además, se presentan inesperadamente, pues las causas inmediatas de tales averías permanecen ocultas y surge la rotura del canal donde y cuando menos se esperaba.

Dentro de este grupo de terrenos con yesos, hemos de distinguir dos subgrupos: *a-1*, aquellos en que el yeso está en pequeñas partículas íntimamente mezcladas con los restantes componentes de la formación geológica, y *a-2*, cuando los yesos forman masas compactas, cristalizadas o amorfas, estratificadas y alternadas con otros materiales, o constituyendo la roca de yeso el conjunto de la formación.

Como precauciones generales en todos los casos se deberán tomar en primer término las siguientes: Multiplicar los drenajes del terreno si puede tener humedades propias, bien sean manantiales o freáticas, para evitar que estas aguas lleguen a ponerse en contacto con las obras y revestimientos. Prever amplio plan de zanjais de coronación, de pies de terraplenes, y sus emisarios, para dar salida a las aguas de escorrentía fuera de la zona del canal; en muchos casos estas zanjais deberán ir revestidas con materiales inatacables por las aguas cargadas de yesos, para asegurar la rápida evacuación de las escorrentías sin que se produzcan ataques químicos ni filtraciones a través del terreno natural.

Todas las cimentaciones de obras de fábrica y los revestimientos, muros de contención, etc., se deberán hacer de hormigón inatacable por las aguas selenitosas, empleando cementos supersulfatados o utilizando cementos puzolánicos y adicionando un producto idóneo. Se deberán revestir las banquetas, si las tuviese el canal, tanto del lado de los desmontes como de los terraplenes, dando a las mismas ligera pendiente transversal hacia el canal; las cunetas de los desmontes también deberán revestirse y empleando siempre hormigones inatacables por las aguas selenitosas. Todo ello orientado a conseguir que las

aguas manantiales o de escorrentía no lleguen con velocidad apreciable a la zona del canal y a las fábricas, y si llegaran en plan de humedades o aguas quietas que no actúen químicamente sobre los hormigones descomponiéndolos.

Asegurada por estas medidas la permanencia del canal contra la actuación física y química de causas externas, mientras no se ponga en servicio o tome agua por períodos prolongados debidos a lluvias u otras aportaciones, no son de temer otros efectos que los de las variaciones de temperatura en los revestimientos del canal, de banquetas, zanjais, etc., y, en consecuencia, en todos ellos se deberán prever las oportunas juntas de dilatación. Al poner la obra en servicio, si los revestimientos no son totalmente impermeables, aparece la causa interna de posibles o más bien seguras averías, que es el paso del agua del canal al terreno; el efecto es distinto, según el canal esté ubicado en uno u otro de los dos subgrupos de terreno que hemos definido.

a-1) En estos terrenos en que el yeso en pequeñas partículas está mezclado íntimamente con otros materiales, generalmente arcillas o arenas finas, el agua que del canal pasa al terreno disuelve el yeso y va formando conductos subterráneos por donde busca salida; se establece corriente que arrastra los restantes materiales finos de la formación y se producen bajo los revestimientos las conocidas simas o cavernas cuyo techo es el revestimiento; las simas van creciendo, hasta que el revestimiento, trabajando elásticamente como placa apoyada, no puede soportar el empuje del agua del canal y se rompe, provocándose la avería inesperada de que antes habíamos. Por la sima y sus conductos de evacuación se precipita el agua del canal y no queda otra solución que cortar el servicio inmediatamente y proceder a la reparación urgente.

a-2) Si el yeso está en masas compactas, el agua del canal produce fundamentalmente la hidratación del yeso, con un aumento de volumen de más del 25 por 100 y un empuje sobre los revestimientos progresivo y creciente, como en el caso del entumecimiento de las arcillas, que los rompe y facilita el incremento rápido del fenómeno.

Queda claro que en todos los casos de terrenos yesosos es fundamental conseguir la total impermeabilidad de los revestimientos del canal propiamente dicho. Los hormigones de los revestidos deberán ser totalmente impermeables en su masa y al mismo tiempo inatacables contra el efecto de las aguas selenitosas, por lo que antes dijimos; las juntas de dilatación deberán ser cuidadosamente selladas elásticamente, y las juntas de trabajo u hormigonado, si las hubiese, también deberán ser selladas con el mismo esmero; si se hubieran producido grietas intermedias de retracción, todas ellas deberán ser cuidadosamente selladas; finalmente, si por causas imprevistas se teme que pueda haber fisuraciones difusas no apreciables a simple vista que puedan motivar no ya

filtraciones, sino resudación de agua del canal al terreno, se deberá dar al canal una pintura bituminosa que colmate esta fisuración inapreciable.

Todos estos trabajos son caros, indudablemente; pero ejecutados en la época de construcción de la obra, son perfectamente valiables. Si no se ejecutan a su debido tiempo, el coste de la reparación de averías en la explotación de la obra resulta totalmente desconocido y puede llegar a tener mucha más importancia que la economía que se tuvo en la construcción; sin contar con las pérdidas que se pueden ocasionar por tener que paralizar un salto en un momento de escasez de energía, o suprimir los riegos de una zona agrícola en plena producción o dejar sin agua a una población de cientos de miles de habitantes.

El problema de los canales en terrenos yesosos es tan grave que se suele decir que cuando al trazar un canal se llega a un terreno de tal clase, la mejor solución es "irse por otro camino"; pero como esto en muchos casos es imposible, no queda más remedio que tomar todas las precauciones indicadas.

Tramos en túnel natural o artificial.

Cuando se trata de túneles de canal, los problemas que se plantean puede decirse que son los mismos que en el canal a cielo abierto y, por tanto, las soluciones han de ser semejantes. Salvo el caso particular de que el túnel se perfore o emplace en una masa de roca consistente e impermeable, será preciso hacer hormigones impermeables y sellar las juntas de trabajo o de hormigonado en los túneles naturales y las de dilatación en los artificiales.

En los canales en túnel se puede presentar, acaso con más frecuencia que en los canales a cielo abierto, el problema de movimientos generales del terreno, desequilibrios clásticos de las formaciones geológicas atravesadas, etc., que pueden motivar acciones exteriores y empujes acusados en los revestimientos; si tales empujes pueden llegar a quebrantar los revestimientos y agrietarlos, se perderá la impermeabilidad necesaria de los mismos y aparecerán, incrementando el problema originario, los entumecimientos, si son terrenos arcillosos o margosos; expansiones por hidratación, si son yesosos y cuantas averías de ellos se derivan.

Cuando exista la más pequeña probabilidad de que tales acciones exteriores se puedan presentar, aun cuando tal posibilidad sea remota, es preciso ir al revestimiento de sección circular autorresistente de hormigón en masa; si tales acciones exteriores pueden motivar por su disimetría axial en dirección o en magnitud un régimen de flexiones en la sección circular del revestido, se debe ir, sin dudar, a la sección armada con armadura simétrica, fijando la cuantía de hierro empíricamente, ya que, en general, no es posible calcular analíticamente el valor de las

flexiones que se pueden llegar a producir. Es más seguro, y en muchos casos más económico, ir al hormigón armado con espesores de unos 30 cm., que hacer hormigón en masa con espesores de 50 ó 60 centímetros, pues el hormigón en masa no es material adecuado para soportar las tracciones por flexión que se pueden presentar.

Es muy de tener presente que en los tramos a cielo abierto la reparación de averías resulta relativamente sencilla; la zona averiada se reconoce rápidamente, es fácilmente accesible, se trabaja a plena luz durante el día o es sencillo iluminarla para trabajo nocturno y hay amplia libertad de movimiento; en el peor de los casos, se puede intentar una desviación provisional del canal, de poco coste relativo, que permita trabajar manteniendo el aprovechamiento en servicio total o parcial. Por el contrario, en los túneles el reconocimiento de la obra es más difícil, los trabajos de reparación de averías más complicados y, prácticamente, imposible establecer desviación provisional del canal para mantener el servicio.

Por estas razones, las precauciones a tomar en el proyecto y en la construcción de estos tramos de canal deben extremarse, y un criterio de economía en la construcción puede ocasionar cuantiosas pérdidas en la explotación; podríamos citar muchos casos en que esto ha ocurrido, pero no lo consideramos oportuno, aparte de que son bien conocidos de los Ingenieros que se ocupan de obras hidráulicas.

Tramos en acueductos.

En los acueductos hemos de considerar dos partes, independientes en su función, si bien mecánica y elásticamente "íntimamente" ligadas en la mayor parte de los casos: la infraestructura resistente y el canal propiamente dicho que soporta.

La infraestructura es un puente destinado a salvar una depresión acusada del terreno, discurrir o no por ella una corriente de agua; no suele estar afectada por las aguas del canal, y no nos ocuparemos de ella en este estudio.

El canal propiamente dicho participa un poco de las características del *canal a cielo abierto* y de las del *canal en túnel*. Tiene de común con el primero que está expuesto a la acción de los agentes atmosféricos; pero como está aislado del terreno, los efectos de tales agentes, en particular de las variaciones de temperatura, son más acusados. Tiene de común con los túneles que constituye puntos singulares de la conducción, normalmente con sección y pendiente diferentes, sometido en casos a acciones o efectos que le transmite la infraestructura y en los cuales, en caso de averías, no es fácil establecer una desviación del caudal para mantener la explotación en servicio.

A los efectos de nuestro estudio, difiere tanto del

canal a cielo abierto como del canal en túnel, en que las filtraciones que puedan presentarse en el canal-acueducto no motivan acciones o esfuerzos exteriores sobre la obra; las filtraciones en los acueductos no tienen más importancia que las posibles pérdidas o reducciones de caudal y lo que afectan al aspecto estético de la obra. Sin embargo, se da el caso paradójico de que es en los acueductos donde más se cuida el problema de la impermeabilidad de los cajeros y solera y el de las juntas.

La impermeabilidad de los cajeros y solera está bien que trate de conseguirse, pues aparte de lo que afea la obra la presencia de filtraciones a través de ellos, es un índice de la calidad de los hormigones empleados. Como en gran parte de los casos estos tramos del canal son total o parcialmente de hormigón armado, tales filtraciones pueden, en caso extremo, influir en la buena conservación de las armaduras, si bien es frecuente que, tratándose en general de filtraciones difusas, se van cortando por la acción colmatadora de la cal libre del hormigón; en todo caso son fáciles de corregir a base de tratamientos impermeabilizantes.

El problema de las juntas es más interesante, y en casos fundamental, porque puede afectar a las condiciones elásticas de la estructura. Téngase muy presente que el canal-acueducto, hasta la puesta en servicio de la obra, es el tramo sobre el que con mayor intensidad actúan los agentes atmosféricos, y en particular la temperatura del ambiente. Si el canal-acueducto es de hormigón armado, los espesores son pequeños; el sol, según la orientación, lo caldea durante todo el día, y según las horas en todos los paramentos, el descenso de temperatura les afecta íntegramente, pues no tienen la defensa del terreno natural que tiene el canal a cielo abierto y, en consecuencia, la estructura soporta íntegramente las dilataciones y contracciones originadas por variaciones de temperatura, que en nuestro país pueden ser con amplitud diaria de $+40$ a $+10$ grados centígrados en verano y amplitud anual de $+40$ a -10 grados centígrados del rigor del estío a las frías madrugadas del invierno.

Es, pues, imprescindible un cuidadoso estudio de las juntas de dilatación y una esmerada ejecución de las mismas, para asegurarse contra toda eventualidad de que funcionen como tales juntas de movimiento de la estructura; el no hacerlo así puede ocasionar y ha ocasionado en algunas obras, muy serias averías, cuya reparación es difícil, costosa y comprometida.

Al efecto de los movimientos por variaciones de temperatura se ha de estudiar la obra en su conjunto, infraestructura y canal, por su mutua relación estática y elástica, pensando no sólo en los movimientos horizontales del canal, sino en los verticales que, según los casos, se pueden producir; tal ocurre en los acueductos cuya infraestructura está formada por arcos de hormigón en masa o armado, en los cuales, por la dilatación de los arcos, se produce un movi-

miento vertical de las claves, que se transmite al canal produciendo unas flexiones en el cajero que acaso no hayan sido tenidas en cuenta en el cálculo. Para prever todas estas contingencias, convendrá establecer juntas de movimiento cuya separación no sea superior a los 10 m. y de manera que una coincida siempre con las claves de los arcos o sus proximidades.

Tanto en este como en todos los casos es conveniente estudiar también el plan de trabajo de la obra, de manera que el hormigonado sea continuo entre juntas de movimiento, para que no existan juntas de trabajo; las juntas de trabajo, aun cuando se tomen las precauciones indicadas normalmente en los pliegos de condiciones (que no siempre se toman) son puntos casi seguros de filtración y es preciso evitarlas. Bien entendido que al decir hormigonado continuo nos referimos al hormigonado sin interrupción, no al hormigonado del día, pues conocemos casos en que la interrupción de poco más de una hora al mediodía para la comida del personal, ha motivado juntas de trabajo por las que se ha acusado filtración al poner la obra en servicio.

Naturalmente, las juntas de movimiento y las de trabajo, si las hubiese, deberán ser selladas elásticamente para impermeabilizarlas, pues en invierno, con la estructura contraída y abiertas las juntas, la filtración sería inadmisible por su cuantía.

La impermeabilidad de masa de los hormigones de cajeros y soleras en los canales-acueductos se consigue fácilmente con hormigones de buena granulometría y esmerada ejecución, a los cuales se adiciona un producto aeroplastificante.

Tramos en sifón.

En los diferentes tramos de canal que hasta aquí hemos estudiado, la carga de agua no pasa de unos 4 m. como máximo en los grandes canales de riego; por el contrario, los sifones soportan una presión hidráulica correspondiente a decenas de metros, y esta particularidad hace que sean los tramos en que las resistencias mecánicas y la impermeabilidad tienen mayor importancia.

En general van enterrados y cubiertos de terraplén, por lo cual a obra terminada y en servicio, los efectos de variaciones de temperatura ambiente son poco acusados; pero durante la construcción soportan tales efectos al máximo, más acusados posiblemente que los acueductos, puesto que las fábricas ejecutadas dentro de las zanjas de emplazamiento, sin posible aireación eficaz, llegan a tomar mayores temperaturas que los cajeros de acueducto.

Son por estas razones los sifones los tramos más comprometidos, en los cuales se precisa extremar las precauciones constructivas. Al proyectarlos se deberá estudiar elásticamente la obra para que soporte las cargas de trabajo que se deriven de las so-

licitaciones de todo orden a que están sometidos, incluyendo las variaciones de temperatura durante la construcción y hasta la puesta en servicio.

Esto obliga a prever juntas de dilatación, coincidentes, como ya dijimos, con las juntas de hormigonado, con separación que no debe ser superior a los 10 m.; estas juntas, totalmente abiertas y sin pasar las armaduras longitudinales para que puedan actuar libremente como verdaderas juntas de movimiento. Es decir, que los sifones deberán quedar formados por una sucesión de tubos independientes de longitud máxima 10 m., los cuales pueden ser hormigonados *in situ* o fabricados en taller y colocados en obra terminados.

A los efectos de la resistencia mecánica de la zona de junta es aconsejable prever anillos de refuerzo de hormigón armado, los cuales nunca podrán ser considerados como "tapa junta" a los efectos de filtración. El sellado elástico de las juntas deberá hacerse por el interior de las tuberías y de manera que sea fácilmente accesible por si se precisara alguna operación de retoque después de las pruebas en carga; esta precaución debe tomarse tanto para los tubos hormigonados *in situ* como para los "prefabricados".

Queda por estudiar el problema de la impermeabilidad propia de los tubos; si no son tubos con alma de chapa de acero soldada y continua que asegura totalmente la impermeabilidad y se trata de tubos de hormigón armado corriente, sean fabricados *in situ* y vibrados, o lo sean prefabricados por cualquier sistema, es preciso asegurar la impermeabilidad del hormigón en su masa, suficiente para mantener tal propiedad aun con la presión hidrostática a que el sifón esté sometido. Los hormigones corrientes no son nunca impermeables aun con áridos buenos y granulometría correcta, y si para buscar la impermeabilidad se fuerza la dosificación de aglomerante, se cae en el peligro de que se aumente la temperatura de fraguado y retracción posterior de enfriamiento, con la aparición de fisuras que ocasionen permeabilidad del hormigón. Es preciso en todos los casos adicionar al hormigón un producto plastificante o aero-plastificante que permita alcanzar las cargas de rotura previstas con mínima dosificación de cemento, reduzca las temperaturas máximas de la reacción de fraguado y asegure la impermeabilidad del hormigón y, por tanto, de la obra.

Galerías en carga.

No se pueden, en general, considerar como tramos de canal de conducción, aun cuando en ciertos aprovechamientos hidroeléctricos se construyen sustituyendo a tuberías de carga metálicas u otros casos particulares.

Las solicitaciones y situación de las galerías en carga las convierte en una mezcla de túnel y sifón y en ellas se suman todos los problemas de resistencias mecánicas, reacciones del terreno, impermeabilidad, juntas de hormigonado, etc., que hemos comentado anteriormente y para los cuales hemos apuntado las posibles soluciones. La fabricación de los hormigones y su colocación en obra ha de ser esmeradísima, tanto más que normalmente presenta las dificultades de trabajar en galería, con secciones fuertemente armadas y a veces con filtraciones que entorpecen la operación y pueden ocasionar deslavado de los hormigones y otras dificultades.

* * *

Nótese que en cuanto llevamos dicho sobre la impermeabilidad de los canales en todos los casos que se pueden presentar, al apuntar las soluciones para cada uno de ellos, nunca hemos hecho referencia a enlucidos. No ha sido un olvido involuntario, sino consecuencia de nuestro convencimiento de que la impermeabilidad de los canales no se debe confiar a ellos, porque son siempre peligrosos.

Por muchas precauciones constructivas que se tomen, no pegan a los paramentos del hormigón y con frecuencia se desprenden; son rígidos, y en cuanto les afecte cualquier movimiento de las estructuras en que se apoyan se agrietan y pierden la impermeabilidad. Si los morteros de enlucido son muy ricos en cemento se fisuran por las retracciones del posfraguado y dejan de ser impermeables, y si son pobres en cemento resultan porosos.

Hacer hormigones corrientes y después enlucir sus paramentos es confiar la impermeabilidad, a una capa de material de unos 2 a 3 cm. de espesor, dejando detrás la porosidad del hormigón; es mucha mayor garantía impermeabilizar el hormigón en su masa, con lo cual se confía la impermeabilidad a una capa de material de decenas de centímetros, y además, al prescindir de los enlucidos, la impermeabilización puede resultar más económica.

Los enlucidos con productos impermeabilizantes deben quedar como reserva para los puntos o pequeñas zonas en las cuales por circunstancias adversas e imprevistas o por fallos de ejecución no se ha conseguido la impermeabilidad total de la masa.

Tenemos seguridad de que si en el proyecto y construcción de los canales se tiene en cuenta cuanto hemos indicado, se consiguen canales totalmente impermeables sin acusado aumento en su presupuesto, y se suprimen muchas averías y contratiempos en la explotación de los mismos, que ocasionan cuantiosos gastos de reparación y grandes pérdidas.