

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil



Juntas en Estructuras de Concreto para
Obras de Riego

TOMO I

TESIS

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL

SERGIO CLAVER II GUTIERREZ ALIAGA

Lima - Perú
2004

INDICE

Pág.

Resumen

Introducción

ii

Capítulo 1: Fundamentos de Juntas

1

1.1. La necesidad de utilizar juntas

1

1.2. La definición de junta y su terminología

2

1.3. Los tipos de juntas según su función

5

1.3.1. Juntas de contracción

6

1.3.2. Juntas de expansión

7

1.3.3. Juntas de construcción

8

1.3.4. Juntas combinadas y juntas con un propósito en especial

9

1.3.5. Grietas

10

1.4 Clasificación de juntas según su configuración

10

1.5 Clasificación de las juntas según su elaboración

12

1.5.1 El premoldeado de juntas

12

1.5.2 Juntas labradas

13

1.5.3 Juntas aserradas

14

1.5.4 Matrices para juntas

15

Capítulo 2: Uso de juntas debido al comportamiento del concreto

16

2.1. Movimiento y restricción

16

2.2. Cambios volumétricos en el concreto

17

2.2.1. Cambios volumétricos antes y durante el fraguado

19

2.2.2. Cambios volumétricos después del fraguado

21

2.2.3. Cambios volumétricos cuando el concreto se encuentra sumergido

26

2.3. Aparición de fisuras	26
2.3.1. Agrietamiento del concreto antes y durante el fraguado	27
2.3.2. Agrietamiento del concreto después del fraguado	30
2.4. La fisura como junta	40

Capítulo 3: Función de selladores en las juntas **41**

3.1. La necesidad de utilizar selladores en juntas	41
3.2. Tipos de selladores	42
3.2.1. Selladores moldeados en campo	43
3.2.2. Selladores preformados	43
3.3. El comportamiento del sellador	45
3.3.1. El adecuado funcionamiento del sellador	45
3.3.2. El comportamiento del sellador moldeado in situ	46
3.3.3. El comportamiento del sellador preformado	47
3.3.4. La relación de los cambios de temperatura con el comportamiento del sellador	49
3.3.5. La función de los materiales accesorios	53
3.3.6. La función del material de relleno para juntas	55
3.4. Materiales disponibles	56
3.4.1. Propiedades que deben cumplir los selladores	56
3.4.2. Selladores moldeados in-situ	59
3.4.3. Selladores preformados	63

Capítulo 4: Diseño de Juntas **72**

4.1. Movimientos en la junta	72
4.2. El espaciamiento entre juntas	73
4.3. Determinación de la ubicación de las juntas	75
4.4. La dimensión de la junta	76

4.4.1. <i>El tamaño de la junta con un sellador moldeado in-situ</i>	76
4.4.2. <i>El tamaño de la junta con un sello de compresión</i>	86
4.4.3. <i>Forma y tamaño del waterstop</i>	91

Capítulo 5: Juntas en Obras de Riego 95

5.1. <i>Detalle generales del diseño de juntas para estructuras hidráulicas</i>	95
5.1.1. <i>Estructuras de concreto masivo</i>	95
5.1.2. <i>Estructuras de concreto armado</i>	99
5.2. <i>Canales trapezoidales</i>	105
5.2.1. <i>Revestimientos de concreto simple</i>	106
5.2.2. <i>Revestimientos de concreto armado</i>	119
5.2.3. <i>Revestimientos con concreto lanzado (Shotcrete)</i>	120
5.2.4. <i>Revestimientos con bloques de concreto prefabricados</i>	121
5.2.5. <i>El terreno de fundación: factor influyente del diseño</i>	125
5.3. <i>Canales Rectangulares</i>	126
5.4. <i>Conductos cubiertos</i>	133
5.5. <i>Túneles</i>	134
5.6. <i>Transiciones</i>	136
5.6.1. <i>Transición entre canales trapezoidales</i>	136
5.6.2. <i>Transición canal trapezoidal – canal rectangular</i>	136
5.6.3. <i>Transición canal – túnel</i>	137
5.7. <i>Cáidas</i>	138

Capítulo 6: Instalación, Mantenimiento, Reparación y Desempeño de Selladores 139

6.1. <i>Instalación del sellador</i>	139
6.1.1. <i>Instalación del sellador moldeado in-situ</i>	139
6.1.2. <i>Instalación de selladores preformado</i>	141

6.1.3. Precauciones de seguridad	146
6.1.4. Pruebas y muestro	146
6.2. Mantenimiento del sellado	147
6.3. La reparación de los defectos del concreto y el reemplazo de selladores	149
6.3.1. La evaluación	149
6.3.2. Reparaciones en las fisuras	152
6.3.3. Reparaciones en las juntas de superficie expuesta	157
6.3.4. Reparaciones en las juntas de sellado interior	157
6.4. Desempeño de diferentes selladores empleados en estructuras de concreto para obras de riego del país	160
6.4.1. Utilización de mezcla asfáltica en el sellado de las juntas de los canales trapezoidales del Proyecto Especial ALTO MAYO	160
6.4.2. Empleo del sellador a base de poliuretano en los trabajos de mantenimiento de las juntas de los canales trapezoidales del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC	169
6.4.3. Desempeño del sellador en las juntas de los canales trapezoidales del Proyecto Especial RIO CACHI	183
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones	194
7.1. Conclusiones	194
7.2. Recomendaciones	198
Bibliografía	201

RESUMEN

El presente documento tiene como finalidad ser una guía para el diseño de juntas en estructuras de concreto para obras de riego. Para desarrollar el diseño general, se expone la teoría de juntas, su relación con el comportamiento del concreto y la función de los selladores. Posteriormente se desarrolla el diseño de juntas en obras de riego y se presenta la evaluación del desempeño de las mismas en canales construidos en diferentes zonas del país.

De la evaluación se concluye que aun cuando el diseño de juntas haya sido adecuado, el pobre desempeño del sellador ha resultado en una de las principales causas de la pérdida de agua en las obras de riego. Por lo que se comprueba la importancia de elaborar las juntas según el diseño establecido y de seleccionar un sellador elastomérico apropiado; descartando el uso de mezclas asfálticas y realizando la instalación del sellador según las indicaciones del fabricante.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo desarrolla el estudio de las juntas en estructuras de concreto para obras de riego; entendiéndose como obra de riego a toda estructura utilizada para el transporte del agua hacia aquellas zonas donde se necesita satisfacer las necesidades de humedad del cultivo, cuando la disponibilidad del agua es menor que los requerimientos de la planta. Específicamente, a los canales y a sus estructuras anexas.

Asimismo, el estudio comprende la observación del estado actual de las juntas, tomando como muestras, diferentes obras de riego en tres proyectos ubicados en cada una de las tres regiones del país. Estos son el Proyecto Especial Chavimochic en la costa, el Proyecto Especial Río Cachi en la sierra y el Proyecto Especial Alto Mayo en la selva.

El presente estudio consta de un total de 7 capítulos. El primer capítulo se refiere a los conceptos básicos en el estudio de juntas como son la definición, características, tipos, formas de elaboración, así como las razones de su utilización.

El capítulo dos está referido a la relación existente entre los cambios volumétricos que experimenta el concreto con la utilización de juntas y la aparición de fisuras debido a la ausencia de las anteriores. Esto involucra la realización de un breve estudio de los cambios volumétricos y de las causas que originan el agrietamiento del concreto.

En el capítulo tres se realiza un breve estudio de los selladores de juntas, indicando las razones de su utilización y clasificándolos de acuerdo a sus propiedades y al comportamiento que tienen frente a las condiciones externas y a los movimientos producidos cuando se encuentran instalados en la junta. Asimismo se da mención de aquellos materiales disponibles que han sido utilizados en el sellado de juntas en estructuras que contienen o transportan agua.

En el capítulo cuatro se desarrolla el diseño general de las juntas en las estructuras de concreto, en las condiciones más desfavorables y en función de los movimientos que se dan lugar en la junta, condicionando sus dimensiones a las propiedades del sellador a utilizar, y condicionando su espaciamiento y ubicación a la configuración de la estructura.

El capítulo cinco comprende el especializado estudio de las juntas en obras de riego: canales, conductos, transiciones y caídas; tomando como ejemplos demostrativos aquellas estructuras construidas en diferentes proyectos del país. Además se da un breve estudio del detalle en el diseño de juntas para estructuras hidráulicas.

El capítulo seis se desarrolla en dos etapas. En la primera etapa se explica brevemente y en forma teórica los procedimientos de instalación, mantenimiento y reparación del sellador. En la segunda etapa se desarrolla en forma aplicativa el desempeño de los selladores empleados en obras de riego del país, tomando en cuenta los procedimientos de instalación, de mantenimiento y el estado actual de los selladores. Este estudio se desenvuelve por separado de acuerdo a los tres proyectos ubicados en las tres regiones del país, según sus características propias de cada uno. Al final de cada uno se indican las conclusiones y recomendaciones a seguir.

Se finaliza el presente estudio con el capítulo siete donde se indican las conclusiones a las que se han llegado luego del estudio teórico de las juntas y del estudio del actual estado de las mismas en las diferentes obras analizadas. Por último se dan a conocer las recomendaciones que a futuro se han de seguir para un adecuado diseño de juntas, así como también para mejorar los trabajos de instalación, mantenimiento y reparación del sellador.

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS DE JUNTAS

El entendimiento del porque del uso de juntas, la determinación del significado y el establecimiento de los diferentes tipos de juntas según las características que las denotan y diferencian son requeridas para poder realizar cualquier estudio referente a la utilización de juntas. Por consiguiente, el presente capítulo tiene como fin el dar a conocer los fundamentos de juntas válidos para cualquier tipo de estructura y que son de importancia para el desarrollo del presente estudio.

1.1. La necesidad de utilizar juntas

Toda obra de concreto, además de estar sujeta a los efectos producidos por la interacción existente entre los componentes del concreto, está expuesta al medio ambiente y a la imposición o al mantenimiento de cargas. Todas estas condiciones originan pequeños cambios en el volumen del concreto que se manifiestan en forma de contracciones o expansiones, permanentes o cíclicas. Como resultado de estos cambios de volumen, ya sea por causas físicas o químicas, se producen movimientos permanentes o transitorios en los extremos del elemento estructural. Tales movimientos son, en la práctica y por lo general, reprimidos parcial o completamente, llegando a provocar esfuerzo.

El problema radica en que debido a la presencia de esfuerzo o a la tensión provocado por algún tipo de restricción a estos movimientos, el concreto que es débil por naturaleza a la tensión, se llegue a agrietar. Así si por alguna razón, los movimientos por contracción son excesivamente reprimidos, la restricción a los mismos produciría el agrietamiento dentro del elemento. Y en el caso de los movimientos por expansión, la restricción podría dar como resultado la deformación y el posterior agrietamiento del elemento en el interior o en

lo extremos del mismo, pudiéndose producir también la transmisión de fuerzas no anticipadas a los elementos contiguos.

En las estructuras de concreto, estos efectos deben ser evitados o controlados porque además de ser estéticamente indeseables, afectan la durabilidad y la integridad estructural. Más aún, pueden ser inaceptables para aquellas estructuras que contengan o transporten líquidos ya que van en contra de su principal característica que es la impermeabilidad.

Es por estas razones que uno de los métodos empleados para llegar a cumplir con estos objetivos es la utilización de juntas, de tal forma que el movimiento pueda ser acomodado sin perder la integridad estructural.

Adicionalmente, las juntas pueden ser utilizadas para facilitar la construcción de la estructura. Como ejemplo se tiene la formación de juntas para permitir la reanudación del colocado del concreto después de un periodo de tiempo.

1.2. La definición de junta y su terminología

En términos generales, se puede definir a la junta como una hendidura o espacio pequeño que media entre dos o más partes componentes o entre las unidades adyacentes. Es común que se considere a la junta como una fisura artificial, ya que es posible crear planos débiles en la estructura por donde el agrietamiento podría ocurrir, teniendo un resultado de poca importancia o un mínimo impacto visual. Además también se le considera a la junta como el método utilizado para evitar o para tratar de controlar el agrietamiento en la estructuras.

Como se puede notar, a la junta se le puede describir de diferente maneras. Toda estas definiciones posibilitan una definición más clara sobre la junta en la obras de concreto. El problema surge cuando es necesario dar una clasificación coherente a la misma.

La existencia de varios términos que relacionan a la junta con sus diferentes características ha causado problemas y malentendidos en todo el mundo de la construcción. Por tal motivo fue necesario realizar una terminología para la junta.

En 1979 el American Concrete Institute Technical Activities Committee (TAC) adoptó una terminología para la junta. Esta dice lo siguiente: "Las juntas se designarán por una terminología basada en las siguientes características: resistencia, configuración, elaboración, ubicación, tipo de estructura, y función."

Según esta terminología, todas las características de las juntas serán agrupadas de acuerdo a las categorías indicadas. Como muestra se tiene el cuadro 1.1.

Además de las características mencionadas en el cuadro, existen otras características que denotan a las juntas. Entre estas se deben de destacar dos términos que son comúnmente utilizados: la junta de control y la junta de aislamiento. El término junta de control es comúnmente utilizado mas no es incluido en la relación de terminologías debido a que no tiene un real significado. Se le considera como la junta que da un "control" sobre el agrietamiento producto de los cambios volumétricos; pero realmente se le debe de considerar como aquella junta que trata de controlar el agrietamiento debido a la retracción o a la contracción térmica. Es decir, se le debe de considerar como una junta de contracción. Por otro lado, también existe un problema respecto a los términos: junta de aislamiento y junta de expansión. Una junta de aislamiento es aquella junta que "aisla" el movimiento entre dos miembros contiguos. A esta junta se le suele considerar como una junta de expansión, pero esto sólo será cierto si en la junta no se colocan dowels que transmitan un esfuerzo cortante en cualquier dirección.

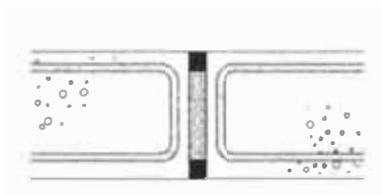


Figura 1.1. Junta de aislamiento

	Resistencia	Configuración	Elaboración	Ubicación	Tipo de Estructura	Función
Junta	amarrada	de tope	aserrada	transversal	para puentes	de construcción
	enclavijada (usando dowels)	montada	premoldeada	longitudinal	para pavimentos	de contracción
	simple	machihembrada	labrada	vertical	para una losa sobre terreno	de expansión
			ranurada	horizontal	para una edificación	de aislamiento
			formada con matriz			de bisagra

Cuadro 1.1 Ejemplo de la forma como se organizan las características de la junta

Por último, se debe de mencionar otro tipo de clasificación de juntas utilizado de forma general e independientemente de la terminología indicada anteriormente. De acuerdo a la presencia de movimiento, a las juntas se les suelen mencionar como juntas funcionales o no funcionales. Mientras que las juntas funcionales son nombradas a aquellas donde se llega a producir un importante movimiento en la junta, en las juntas no funcionales no se presenta movimiento alguno y si lo hubiera, este sería de tales características que no sería de importancia.

1.3. Los tipos de juntas según su función

En general se considera a los tipos de juntas como aquellos que tienen como característica el cumplir con una determinada función. Estos son: las juntas de contracción, las juntas de expansión, las juntas de construcción, las juntas combinadas, las juntas que tienen un propósito en especial y las grietas.

La importancia del buen diseño y de una cuidadosa construcción de las juntas radica en el hecho de que al no cumplir con su función, estas se podrían convertir en zonas débiles para la estructura. Esta importancia es mayor cuando se refiere a la utilización de juntas en obras hidráulicas donde se requiere cumplir con la condición de impermeabilidad, siendo necesario para lograr este objetivo, el uso de selladores metálicos, de caucho o de productos sintéticos.

Hay que indicar que además de los tipos de juntas antes mencionadas, existen autores que indican como parte de esta relación a otros dos tipos de juntas: las juntas frías y las ranuras. A la junta fría se le puede considerar como un defecto en la colocación del concreto producto de una discontinuidad originada por alguna demora y que inhibe una unión monolítica entre dos vaciados sucesivos. A la ranura se le puede considerar como una forma que se le puede dar a un tipo de junta, la que es común a una junta de contracción.

Por lo indicado, a estas dos clases de juntas no se les ha considerado como parte de esta clasificación pues no cumplen con una determinada función.

1.3.1. Juntas de contracción

Las juntas de contracción son utilizadas para controlar los esfuerzos producidos cuando el concreto se contrae debido a la disminución de la humedad (retracción) o a la disminución de temperatura (contracción térmica) mediante la formación de planos de debilidad por donde deberán de ocurrir los agrietamientos; agrietamientos, inevitables e impredecibles, que son producidos por los esfuerzos de tracción no soportados por el concreto y que son generados por dichos cambios volumétricos.

Las juntas de contracción pueden dividir completa o parcialmente a la estructura. Esto dependerá de las características físicas de la estructura y de la función que van ha desempeñar. Así, si no es requerida una continuidad estructural, la junta puede dividir completamente al elemento en dos o 3 partes. De lo contrario, si se requiere alguna continuidad en la estructura más no la restricción del movimiento, se puede recurrir a la utilización de dowels, escalones o llaves. Por otro lado, se podría optar por la utilización de barras de amarre o por la continuación del acero de refuerzo cuando sea requerida la restricción del movimiento para cumplir con la estabilidad estructural.

Las juntas de contracción pueden ser elaboradas mediante la colocación del concreto en dos vaciados a ambos lados de la junta, o alternativamente mediante la colocación del concreto en un solo vaciado. En este último caso, el plano de debilidad de la junta de contracción puede ser obtenido mediante la instalación de tiras delgada de metal, plástico o de madera durante la colocación del concreto, mediante el labrado, o mediante el aserrado luego de que el concreto haya endurecido.

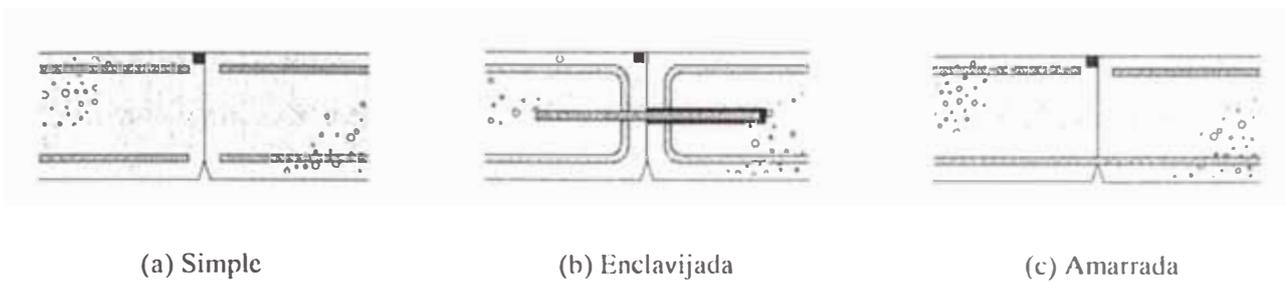


Figura 1.2. Juntas de contracción

1.3.2. Juntas de expansión

Las juntas de expansión tienen la misma función que las de contracción, es decir, controlan los cambios de volumen, con la diferencia que las juntas de expansión son utilizadas para soportar los esfuerzos de compresión; esfuerzos que el concreto resiste de mejor manera, por lo que el espaciamiento de dichas juntas es de mayor longitud.

Los esfuerzos de compresión que se generan en el concreto son debidos a la expansión producto de los cambios de temperatura, a la aplicación de cargas o a los movimientos diferenciales producto de la configuración de la estructura o por el asentamiento. Estos esfuerzos pueden originar el aplastamiento y la posterior deformación, desplazamiento, pandeo o alabeo de las unidades estructurales contiguas unas a otras. Para prevenir la ocurrencia de estos daños, se hace necesario utilizar junta de expansión.

Las juntas de expansión son utilizadas para aislar los elementos estructurales y en los lugares donde no es deseada la restricción o la transmisión de fuerzas secundarias. Este caso se da cuando se desea aislar los muros de los pisos y techos, las columnas de los pisos, entre otros. También son utilizadas las juntas de expansión cuando los muros o las losas cambian de dirección y en aquellos lugares donde se desarrollan secciones transversales de dimensiones diferentes.

Las juntas de expansión se forman creando una separación en toda la sección transversal de concreto de tal forma que sea lo suficientemente ancha para evitar la posibilidad de que los elementos de concreto empalmados se lleguen a tocar en el futuro. Esta separación se puede realizar mediante la colocación de tiras de material de relleno del espesor requerido durante la colocación del concreto, utilizando un molde divisorio o, dejando un espacio cuando las unidades prefabricadas son colocadas.

Es común que a las juntas de expansión se les llame también como juntas de aislamiento, pues se les considera como las juntas que "aislan" a las unidades estructurales cuando tienen comportamientos diferentes. Esto es si no existe acero, dowels o llaves u otros cruzando la junta. Pero si se da el caso como ejemplo, en donde se utilizan dowels de tal forma que el movimiento puede ser acomodado pero existiendo una transmisión de esfuerzo cortante, no se puede mencionar a la junta de expansión como una junta de aislamiento.

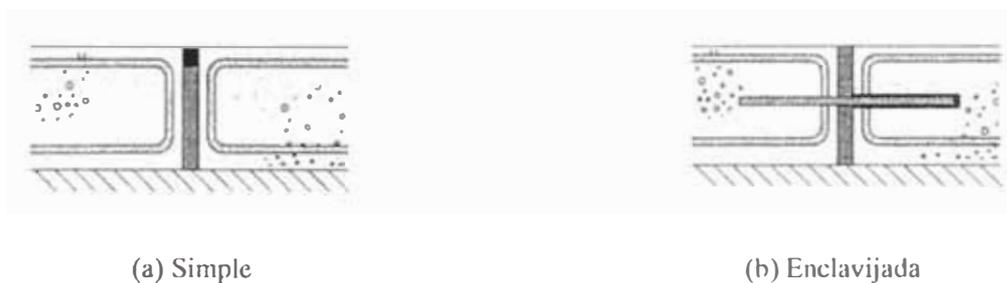


Figura 1.3. Junta de expansión

1.3.3. Juntas de construcción

Las juntas de construcción ocurren cuando se produce una interrupción en la colocación del concreto que dure lo suficiente para que el concreto anterior a la interrupción llegue a endurecer. También son hechas estas juntas cuando se realiza la colocación de unidades prefabricadas.

La ubicación de las juntas de construcción es comúnmente predeterminada. Esto se realiza mediante la colocación del concreto con interrupciones programadas, marcando generalmente el fin de una jornada de trabajo o el fin de un vaciado de dimensiones prefijadas, de tal forma que se logre el menor deterioro de la estructura final acabada. Sin embargo, también pueden ser utilizados en los casos en que se requiera realizar una interrupción imprevista durante la colocación del concreto.

Debido a las características de las juntas de construcción, estas pueden ser diseñadas para que funcionen posteriormente como juntas de expansión o de contracción, o para que formen una unión monolítica, logrando una adhesión que mantenga la integridad completa de la estructura.

1.3.4. Juntas combinadas y juntas con un propósito en especial

Todas las juntas mencionadas con anterioridad pueden fusionarse para convertirse en una junta combinada. Si se realizará una interrupción programada de tal forma que la ubicación de la junta de contracción coincidiera con la ubicación de otro tipo de junta, ya sea de contracción, de expansión o ambas, la junta diseñada sería una combinación de dos o de tres tipos de junta. Asimismo, una junta de expansión funciona también como una junta de contracción, esto es debido a que la abertura que es necesaria para la junta de expansión es suficiente para cumplir la función de una junta de contracción.

También existen otros tipos de junta diseñadas para un propósito en especial, estas son las juntas de bisagra y las juntas deslizantes.

Las juntas de bisagra, también llamadas en las estructuras como uniones articuladas, son juntas que permiten la rotación más no el desplazamiento de las unidades empalmadas. Esta limitación de desplazamiento se realiza mediante la utilización de barras de amarre o mediante la continuación del refuerzo a través de las juntas.

Las juntas deslizante son juntas que permiten el desplazamiento de un plano de una estructura en ángulo recto con respecto al plano de otra estructura. Estas juntas son comúnmente creadas mediante la utilización de materiales que interrumpen la adhesión de las dos unidades y que permitan su deslizamiento, tal como un compuesto bituminoso.



Figura 1.4. Junta con un propósito en especial

1.3.5. Grietas

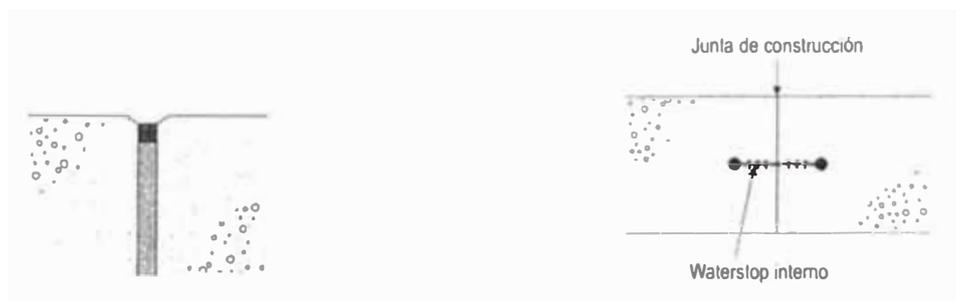
Las grietas son juntas creadas por el propio concreto y dan a conocer la dificultad que existe en poder prevenir la aparición de las mismas mediante el empleo de los anteriores tipos de juntas. Estas juntas aparecen ocasionalmente entre las anteriores afectando la estética de la estructura y en algunos casos, afectando la integridad estructural. También a estas juntas se les suele considerar como juntas de contracción conformadas por líneas irregulares en el concreto. Esto será cierto cuando la causa de su aparición se encuentre relacionada con la contracción del elemento.

1.4 Clasificación de juntas según su configuración

Existen otros tipos de clasificación de juntas que no son de uso común. Según la configuración de la junta, estas clasificaciones están basadas en el tipo de movimiento a presentarse en la junta y del sistema de sellado, las cuales se exponen a continuación.

Respecto a la configuración de la junta y tomando en cuenta los movimientos que se presentaran en la misma, existen dos tipos de juntas para las estructuras de concreto: las juntas de tope y las juntas montadas. La junta de tope es aquella en la cual las unidades e estructurales van a ser conectadas en forma contigua de tal forma que los esfuerzos soportado por el sellador producto del movimiento en la junta serán de tensión o compresión entre las caras de la junta. Cualquier movimiento que se produzca en una junta de tope será en gran parte en ángulo recto con respecto al plano de la junta (figuras 1.2 y 1.3). La junta montada es aquella en el cual las unidades estructurales van a ser conectada una encima de la otra de tal forma que los esfuerzos soportados por el sellador, producto del movimiento en la junta, serán de corte entre las caras de la junta. Cualquier movimiento relativo que se produzca en una junta montada será de deslizamiento. Estas pueden pre entar e en algunas juntas deslizantes (figura 1.4b), o entre las unidades prefabricadas.

Por otro lado, de acuerdo a la configuración de la junta y desde el punto de vista del sellador, se debe de mencionar dos tipos de sistemas de sellado: las juntas de superficie expuesta y las juntas de sellado interior. En la junta de superficie expuesta, el sellador de junta se encuentra expuesto a las condiciones ambientales. Este es el caso de las juntas en canales trapezoidales. En las juntas de sellado interior, el sellador se encuentra embutido profundamente en la junta. Este es el caso de las juntas en los canales rectangulares o en las tuberías, donde se requiere una barrera de defensa contra el paso del agua.



(a) Junta de superficie expuesta

(b) Junta de sellado interior

Figura 1.5. Configuración de junta

1.5 Clasificación de las juntas según su elaboración

Otra manera de clasificar a las juntas es de acuerdo al procedimiento a utilizar para su elaboración en las estructuras de concreto. Existen cuatro principales métodos: el premoldeado, el labrado, el aserrado y la colocación de matrices; las cuales se presentan a continuación.

1.5.1 El premoldeado de juntas

A este método de elaboración se le puede encontrar comúnmente en las juntas de construcción formadas durante la construcción de losas o de muros de concreto.

En el caso de que se elaboren juntas machihembradas, el proceso de modelado se llevará a cabo mediante la utilización de varios listones prefabricados de metal o de madera, elaborados de acuerdo a las condiciones del trabajo. Debido a que estos listones son utilizados como guías, estos deben de estar sujetos firmemente para evitar que se desencajen durante el proceso de vaciado de concreto.



Figura 1.6. Junta premoldeadas

1.5.2 Juntas labradas

Este procedimiento es utilizado para la elaboración de las juntas de contracción durante los procesos finales de construcción.

Para realizar una buena elaboración de la junta utilizando este método se requiere que la ranura a labrar sea de la profundidad apropiada. En general y según el ACI, se recomienda que la profundidad de la junta labrada sea de por lo menos $\frac{1}{4}$ del espesor del concreto a fin de que la ranura creada funcione apropiadamente como una junta de contracción. Si no se cumpliera con esta condición, las fisuras podrían ocurrir no solamente en la ranura labrada sino también en los alrededores de la junta o discurrir a través de la misma.

Debido a que se realiza una disminución del espesor del concreto, el refuerzo que pasa por la junta deberá de ser reducido en parte o en su totalidad. Además se recomienda tomar en cuenta que si se realiza el labrado de las juntas de contracción a mayores distancias de separación entre sí, el refuerzo a utilizar se incrementará para controlar el aumento del esfuerzo por tensión originado en el concreto.



Figura 1.7. Juntas labradas

La junta es labrada por la maquina de encofrado deslizante durante el revestimiento del canal.

(Foto cortesía de GOMACO Internacional Ltd.)

1.5.3 Juntas aserradas

El procedimiento de aserrado de junta se realiza posteriormente al fraguado inicial del concreto, cuando este haya endurecido lo suficiente para evitar que la junta se desmorone durante el aserrado. El momento ideal para realizar este procedimiento es cuando el concreto alcanza las más altas temperaturas debido al calor generado por la hidratación. Este proceso es el indicado cuando se desea disminuir el trabajo que se puede originar por la gran cantidad de juntas a elaborar, siendo requerido maquinaria para realizar el corte. Al igual que las juntas labrada, el ACI recomienda que las ranuras aserradas tengan una profundidad de por lo menos $\frac{1}{4}$ del espesor de la estructura para que se cree un plano de debilidad adecuado. Se debe de tomar en cuenta que si se presenta una demora en la realización de la junta, de tal forma que se permita el suficiente desarrollo de esfuerzos a tensión en el concreto, el elemento se agrietará por delante de la junta aserrada con anterioridad.

Otra consideración a tomar en cuenta es que debido a que se utiliza maquinaria para elaborar las juntas, estas no tienen la capacidad de llegar hasta las esquinas. En estos casos el ACI recomienda elaborar una junta de mayor profundidad en la última sección aserrada para tratar de evitar la formación de fisuras irregulares en aquellos lugares donde no se ha logrado aserrar la junta.



Figura 1.8. Junta aserrada

(Foto cortesía de OFF-CUT International, Inc.)

1.5.4 Matrices para juntas

Las matrices o insertos para juntas pueden ser utilizados durante la elaboración de las juntas de contracción y de expansión, instalándose cuando el concreto se encuentra en estado fresco. Las matrices son por lo general de plástico y se fabrican con una línea de rasgadura. Se deja agrietar el concreto y se extrae la porción superior de la matriz, dejando lista la junta para el sellado. Si se requiere bordes biselados, se puede utilizar herramientas de reborde.

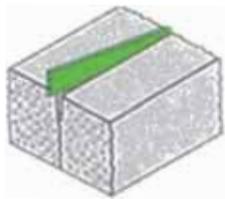


Figura 1.9. Matriz para juntas de contracción

CAPITULO 2

USO DE JUNTAS DEBIDO AL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO

Para poder realizar un adecuado diseño de juntas se debe comprender el comportamiento que experimenta el concreto y que da lugar al uso de juntas, así como el origen de las fisuras y su relación con la ausencia de juntas. En el presente capítulo se expone en forma breve los cambios volumétricos que experimenta el concreto, las causas que originan la aparición de fisuras y los métodos para reducir la posibilidad del agrietamiento del elemento, entre los cuales se encuentra el uso de juntas.

2.1. Movimiento y restricción

Como ya es sabido, una de las principales desventajas en la utilización del concreto son los cambios de volumen que este sufre a lo largo del tiempo. Estos cambios no son sólo importantes desde el aspecto del diseño, producción, colocación y curado sino también desde el punto de vista estructural.

Cuando en un elemento se producen movimientos que van en todas las direcciones, estos movimientos de por sí no generan ningún peligro para el elemento. El problema surge cuando se presenta algún tipo de restricción.

En la realidad, todo elemento de concreto siempre se encuentra restringido a una cierta cantidad de movimiento debido ya sea por los efectos producidos por el asentamiento o por los cambios de volumen. Esta restricción puede ser generada interna o externamente. La restricción externa se produce cuando el movimiento de un miembro se previene mediante miembros adyacentes, siendo la superficie de contacto restringida parcial o completamente. La restricción interna existe cuando se presentan diferencias de temperatura y humedad

dentro de la sección. Estas dos restricciones se encuentran interrelacionadas y usualmente se presentan en cierto grado en todos los elementos de concreto.

Las restricciones que siempre se presentan en todo elemento son las que se generan por los cambios de volumen. Esto es debido a que siempre existirán restricciones a los movimientos producidos por dichos cambios a causa del estrecho contacto que existe entre elementos contiguos como son los de apoyo, o por las diferentes partes del mismo elemento.

Entonces, la restricción puede llegar a producir esfuerzos en tensión, compresión o flexión. Estos esfuerzos dependerán del tipo de restricción a que es sujeto el elemento y si el cambio de volumen va en aumento o en disminución.

El problema principal surge cuando las condiciones de restricción llegan a inducir esfuerzos que excedan la resistencia o la capacidad de deformación del elemento, produciendo el agrietamiento del mismo.

Como los agrietamientos son inaceptables en toda estructura hidráulica debido a que deterioran la durabilidad y la integridad estructural, permitiendo la pérdida de agua o el ingreso de sustancias contaminantes, se debe tratar de controlar su aparición. Para poder lograr este objetivo se debe tener una comprensión de los cambios volumétricos que sufre el concreto así como de la aparición de las fisuras relacionada a estos cambios que ocurren en el transcurso de su vida. De esta manera, se podrá tener un mejor entendimiento del comportamiento del concreto y de la forma adecuada como se deben utilizar las juntas.

2.2. Cambios volumétricos en el concreto

Como es sabido, el concreto a lo largo del tiempo sufre cambios en su volumen debido a causas físicas o químicas.

Los cambios de origen químico son producidos generalmente por reacciones químicas originadas interna o externamente en el concreto y cuyo resultado son cambios volumétricos locales, los cuales llegan a generar el deterioro del concreto. A excepción de las reacciones químicas propias del concreto originadas por el proceso de hidratación, los cambios de origen químico no son considerados como cambios volumétricos a causa de la naturaleza propia del concreto sino como el producto de algún suceso imprevisto que genera el deterioro. Debido a esto y a que estos cambios se encuentran relacionados con la durabilidad del concreto y a la aparición de ciertas fisuras a causa de sus efectos, mas no tienen una relación directa con la utilización de juntas, no se realizará una descripción de los mismos en el presente estudio. Un nombramiento de dichos cambios se podrá encontrar más adelante al describir las causas que origina las fisuras en el concreto.

Por otro lado, las causas de origen físico se pueden agrupar de acuerdo a la acción que estas ejercen sobre el concreto. Se definen dos grupos: los de carácter mecánico y los agentes fenomenológicos. Los de carácter mecánico son aquellos que originan cambios debido a la aplicación o al mantenimiento de un esfuerzo externo sobre el concreto como es el caso de las cargas. Los cambios generados por estos agentes son los comúnmente llamados deformaciones. Los agentes fenomenológicos son aquellos que son producto del medio ambiente. Entre estos agentes destacan la humedad y la temperatura debido a que sus efectos sobre el concreto son los más importantes. A los cambios originados por dichos agentes se les considera como los cambios volumétricos propiamente dichos.

Como los elementos estructurales tienden a tener restricciones para dichos cambios, se llegan a generar esfuerzos. Así se tiene que mientras la expansión del elemento genera esfuerzos de compresión, la compresión genera esfuerzos de tensión. Como el concreto no puede soportar grandes esfuerzos de tensión, las contracciones en el concreto son los cambios más importantes debido a que si estos llegarán a generar esfuerzo superiores a la resistencia a la tensión del concreto, se producirían los agrietamientos.

Debido a que las variaciones en las dimensiones del concreto se producen desde su colocación y prosiguen durante su etapa de servicio, siendo sus causas y manifestaciones diferentes de acuerdo a cada etapa de la vida del concreto, se procederá al nombramiento de los tipos de cambios volumétricos de acuerdo a dos etapas: 1) Antes y durante el fraguado del concreto, y 2) Después del fraguado del concreto.

En el cuadro 2.1 se da un resumen de los principales cambios volumétricos, clasificados de acuerdo a las condiciones en que se encuentra expuesto el concreto, indicando la forma de manifestarse y la causa de dichos cambios.

2.2.1. Cambios volumétricos antes y durante el fraguado

Lo primeros cambios volumétricos que se producen en condiciones normales, estando el concreto fresco y en proceso de endurecimiento, se manifiestan de acuerdo a dos fenómenos distintos: la retracción plástica y la retracción autógena.

a) La retracción plástica

La retracción plástica es aquella contracción que se produce debido fundamentalmente por la pérdida de agua del elemento expuesto al aire cuando la velocidad de evaporación superficial del agua es mayor que la velocidad con que el agua aflora a la superficie. Esta contracción tiene lugar durante el periodo que precede al fraguado y continua en la fase inicial del mismo proceso.

En la figura 2.1 se muestra esquemáticamente los primeros cambios de volumen que se producen en la pasta de cemento. En el concreto, la retracción plástica es de menor magnitud debido a la restricción y a la disminución del contenido unitario de la pasta generada por la adición del agregado.

ETAPA	EXPOSICION	MANIFESTACION	CAUSA
Antes del fraguado (concreto fresco) y durante el fraguado (concreto en rigidización)	Al aire	Retracción plástica	Asentamiento, sangrado y pérdida inicial de agua
	Sumergido	Expansión post-exudación Retracción autógena Retracción por secado	Efectos físicos y químicos de la hidratación inicial del cemento Consumción de agua por hidratación del cemento Continuación de la pérdida de agua
Después del fraguado (concreto en curso de endurecimiento y ya endurecido)	Al aire	Expansión térmica inicial al acumularse el calor, y contracción posterior al disiparse	Generación de calor interno por la hidratación del cemento
		Expansión al calentarse y contracción al enfriarse	Variaciones externas de temperatura (medio ambiente y otras causas)
	Sumergido	Retracción por carbonatación	Acción del bióxido de carbono atmosférico
		Retracción autógena Hincharamiento por saturación	Consumción de agua por la hidratación del cemento Absorción de agua por el gel de cemento

Cuadro 2.1 Cambios Volumétricos del Concreto

Fuente: Comisión Federal de la Electricidad: "Manual de Tecnología del Concreto", Sección 3

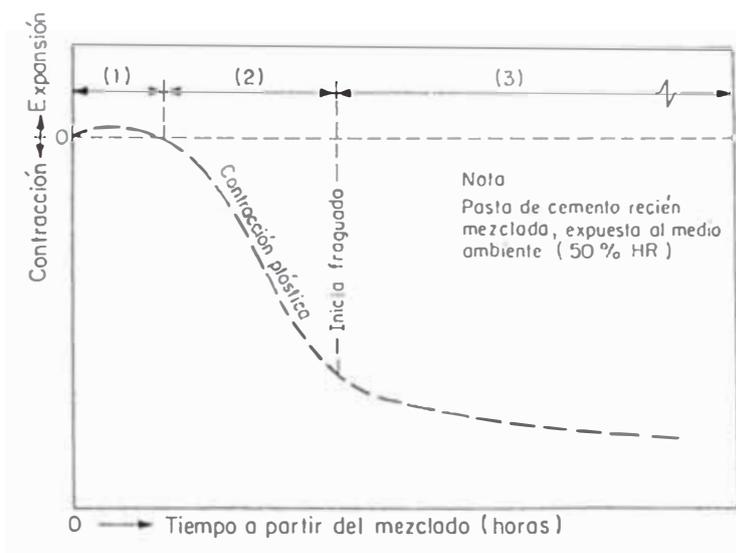


Figura 2.1. Retracción Plástica de la pasta de cemento

Fuente: Comisión Federal de la Electricidad: "Manual de Tecnología del Concreto" Sección 3

b) *La retracción autógena*

La retracción autógena es la contracción de fraguado que es producida por el proceso de hidratación del cemento. También es conocida como retracción intrínseca o espontánea.

Esta contracción representa una pequeña fracción de la contracción total que se produce debido a la pérdida de agua en el concreto durante el transcurso del tiempo y continúa de forma indefinida durante toda la vida del concreto.

2.2.2. Cambios volumétricos después del fraguado

Posteriormente al fraguado del concreto, durante el proceso de endurecimiento del concreto y cuando este ya se encuentra endurecido, se llegan a generar cambios volumétricos que pueden ocasionar daños en la estructura del concreto, comprometiendo su funcionalidad y su durabilidad. Estos cambios volumétricos son ocasionados por la propiedades del mismo concreto o por factores externos relacionados con la exposición y el

servicio. Dentro de estos cambios volumétricos se pueden distinguir tres principales cambios: la retracción por secado, la retracción por carbonatación y los cambios de origen térmico.

a) Retracción por secado

Luego que el concreto haya fraguado, este seguirá expuesto a la pérdida del agua debido a la evaporación y a la hidratación del cemento. Como ocurrió en las etapas precedentes con el fenómeno de retracción plástica y debido a esta pérdida de agua, el concreto seguirá contrayéndose de forma decreciente a medida en que este se vaya endureciendo. A esta contracción que se produce durante el proceso de endurecimiento y secado del concreto se le denomina como retracción por secado.

En la figura 2.2. se puede apreciar los cambios de volumen que suelen ocurrir en el transcurso del tiempo a partir de la colocación del concreto.

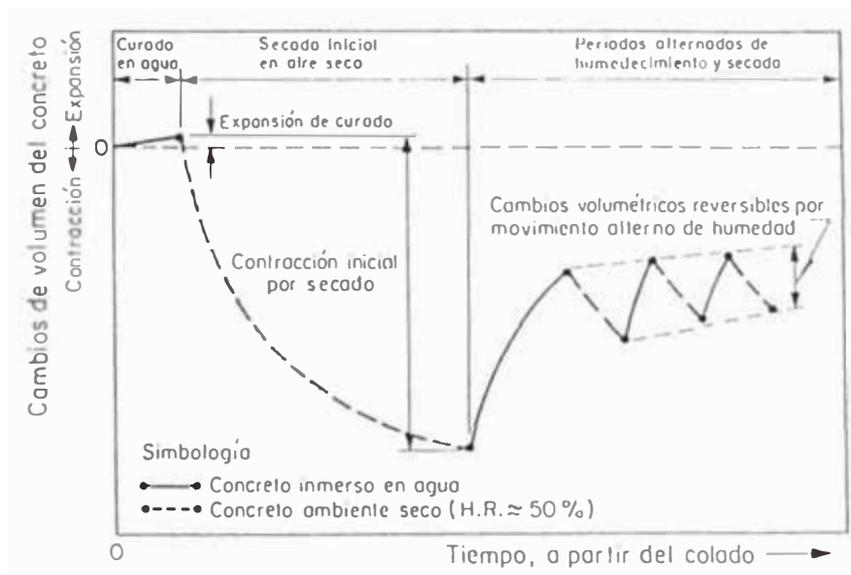


Figura 2.2. Retracción por secado

Fuente: Comisión Federal de la Electricidad; "Manual de Tecnología del Concreto". Sección 3

Como se puede observar, cuando el concreto húmedo se expone al aire en un ambiente con una humedad relativa baja, se produce una retracción por secado inicial. Esta contracción es producto de una pérdida continua y gradual del agua de acuerdo a la porosidad global del concreto y originado por la evaporación inicial.

Posteriormente, si el elemento es expuesto a períodos alternados de humedecimiento y secado, se producen contracciones y expansiones alternadas de menor magnitud.

Aunque al elemento se le rehumedezca sumergiéndolo en agua, este sólo llega a recuperar una fracción de la contracción inicial.

Esta diferencia tiene sus orígenes en la cantidad de agua perdida. Mientras que la pérdida del agua ubicada desde las discontinuidades hasta los poros del concreto produce contracciones que suelen ser reversibles, la pérdida del agua en los microporos del gel llega a producir contracciones que son permanentes.

En conjunto, la contracción permanente y la reversible constituyen lo que el concreto experimenta como retracción por secado, siendo responsable de cambios volumétricos importantes y difíciles de prevenir.

b) Retracción por carbonatación

Paralelamente a la retracción por secado también se produce otro tipo de contracción originada por el efecto del contacto del concreto con el aire y que se le denomina como retracción por carbonatación.

Como ambos procesos ocurren al mismo tiempo, la medición de la contracción producto de cada fenómeno no se realiza por separado ya que para fines prácticos, lo que interesa es determinar la contracción total del elemento.

c) Cambios volumétricos de origen térmico

En lo que se refiere al estudio de los cambios volumétricos que se originan en el concreto por efectos térmicos, la propiedad a la que se debe recurrir es el coeficiente de expansión térmica. Este coeficiente es un índice de los cambios de volumen que se producen en cada concreto conforme cambia su temperatura y su magnitud depende del tipo de concreto, de los coeficientes de expansión térmica de los agregados y de la pasta de cemento hidratada, así como de las proporciones en la mezcla.

El coeficiente de expansión térmica del concreto puede oscilar en el intervalo de 5 a 14 x 10⁻⁶/°C, dependiendo del tipo de concreto; siendo el valor promedio de un concreto normal igual a 10 x 10⁻⁶/°C (5.5 x 10⁻⁶/°F). También este coeficiente puede ser determinado experimentalmente, o bien puede ser estimado de acuerdo al informe del Comité ACI 209.

Los cambios volumétricos de origen térmico que se producen en el concreto pueden deberse a causas internas y externas. Ambas causas originan que en el concreto se produzcan expansiones y contracciones.

Como causa interna se debe de mencionar el calor generado por la hidratación del cemento. Este eleva la temperatura del concreto respecto a la del exterior hasta un cierto nivel para que posteriormente disminuya hasta igualarse con la del exterior. De esta manera el concreto primero se expande y luego se contrae.

Como causas externas se tienen a las variaciones de temperatura ambiental originada por los factores climatológicos y de las características del sitio, las condiciones de servicio producto del calor generado por maquinarias o equipos que se encuentran próximo al concreto y, las condiciones extremas originadas por fenómenos naturales o casos fortuitos cuando el concreto es expuesto a temperaturas muy bajas o a temperaturas inusualmente altas. Esto suele suceder en los lugares de clima muy frío o cuando ocurre un incendio.

Los cambios térmicos producidos por el calor de hidratación del cemento son de mayor importancia cuando se construyen estructuras de gran volumen, mas aún cuando estas tienen poco o ningún acero de refuerzo, o cuando la relación volumen/área superficial expuesta es muy grande. Este es el caso de las estructuras de concreto masivo como son las presas de concreto.

Luego que el concreto es vaciado, se genera una rápida emisión de calor producto de la hidratación del cemento (alrededor del 80% del calor producido es liberado en los primeros 7 días), provocando un incremento en su temperatura. Pero debido a que se realiza una transferencia del calor desde el concreto hacia un medio externo, se producirá una disipación de calor, logrando que la temperatura disminuya hasta llegar a un nivel de equilibrio térmico entre el concreto y el medio externo. De esta forma, el valor máximo que llega a incrementar la temperatura interna del concreto estará en función de la producción de calor, en cantidad y rapidez, y de la velocidad como este es disipado. Mientras que el calor que se produce estará influenciado por las características del cemento utilizado, la velocidad de disipación dependerá del espesor del elemento y de la diferencia de temperaturas que deben de equilibrarse; es por esta razón, que la situación más desfavorable para la disipación de calor se presentará cuando se realice un vaciado de un elemento voluminoso de concreto en un clima caluroso. Como resultado del aumento y de la posterior disminución de temperatura, el concreto experimenta primero una expansión y después una contracción.

Con respecto a los cambios térmicos originados por causas externas, esto estarán relacionados con las variaciones de temperatura que se presentan en el medio, en un intervalo de tiempo largo o también de forma casi instantánea cuando el concreto se encuentra en servicio. Como ejemplo se puede tomar a aquella diferencia que existirá entre la temperatura más alta que se desarrollará en un verano muy caluroso con la temperatura más baja del más frío invierno, también se puede considerar las diferencias que existirán entre las temperaturas extremas que se desarrollarán en el sitio con respecto a la temperatura existente en el momento en que se realiza la construcción.

En general, se debe de considerar la diferencia más grande de temperatura que se desarrollará en el medio en donde se encuentra la estructura ya sea, en un periodo largo o corto de tiempo.

2.2.3. Cambios volumétricos cuando el concreto se encuentra sumergido

Cuando el concreto se encuentra completamente sumergido, se anula la posibilidad de que se pierda agua por factores externos. Más aún, se puede generar una constante adición que suele producir en el concreto una expansión conocida como abultamiento.

Se debe de considerar el hecho de que si para un concreto de peso normal, esta expansión no es de mucha importancia, en los concretos ligeros se puede llegar a experimentar grandes cambios de volumen.

2.3. Aparición de fisuras

Las fisuras en el concreto tienen varias causas. Por lo general, las fisuras son causada por esfuerzos que se desarrollan en el concreto debido a la restricción de los cambio volumétricos o por la aplicación de cargas sobre la estructura.

Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia o pueden indicar un significativo deterioro del concreto. Su relevancia dependerá del tipo de estructura, así como de la naturaleza del agrietamiento.

Para poder realizar el estudio de las causas que originan la aparición de las fisuras, éstas se nombrarán de acuerdo al momento en que se originan. Este nombramiento será imilar al realizado para determinar los tipos de cambios volumétrico

El adecuado conocimiento de las causas que originan la formación de fisuras podrá ayudar a determinar un buen control de la aparición de las mismas y sino, la selección del mejor procedimiento de reparación.

2.3.1. Agrietamiento del concreto antes y durante el fraguado

a) Agrietamiento por retracción plástica

Antes y durante la fase inicial del fraguado, cuando la velocidad de evaporación del agua superficial es mayor a la velocidad con que el agua aflora a la superficie, se produce el fenómeno conocido como retracción plástica. Esta retracción produce una rigidez diferencial entre la superficie y el interior del elemento, provocando el desarrollo de esfuerzos a tracción.

Si la diferencia entre la velocidad de evaporación y la velocidad con que aflora el agua es muy grande, se producirá una rápida pérdida de humedad de tal forma que e llegan a generar esfuerzos a tensión muy elevados y, debido a que la resistencia inicial desarrollada a la tensión no es suficiente para soportar los esfuerzo a tracción creados, se producirán los agrietamientos por retracción plástica.

Estas grietas se producen en las primeras horas después de la colocación del concreto. Su profundidad es variable, comúnmente superficial pero pueden llegarse a convertir con el tiempo en grietas muy profundas. Se pueden presentar al azar, con un patrón poligonal o pueden aparecer paralelas unas a otras. Su longitud es muy variable y se pueden encontrar espaciadas a grandes distancias, con mayor frecuencia en los piso y losas expuestas a condiciones ambientales adversas; o sea, en un ambiente representado por un clima cálido, seco y con viento. Existe un mayor riesgo de ocurrencia cuando la velocidad de evaporación del agua se aproxima a $1 \text{ Kg/m}^2/\text{h}$.

La importancia de estas grietas consiste en ser un camino por donde ingresan los agentes agresivos al concreto, los cuales afectan la resistencia del concreto a la degradación.

Para poder prevenir la aparición de las grietas por contracción plástica se pueden realizar varias medidas como son: evitar la pérdida de agua por absorción y fugas, no utilizar agregados muy secos, elaborar el concreto a temperaturas bajas en tiempo cálido, realizar la colocación durante las horas cuando el concreto es menos susceptible al secado, proteger del sol y del viento al concreto recién colocado, utilizar un sistema de pronto curado, entre otros.



Figura 2.3. Grietas por retracción plástica
(Fuente: USBR, "Guide to Concrete Repair")

b) Agrietamiento por asentamiento

Cuando el concreto se encuentra en su estado plástico, y después del vibrado inicial, el concreto tiende a consolidarse. Este proceso es el resultado natural del asentamiento de las partículas sólidas de mayor peso en el concreto recién colocado y genera el desplazamiento del agua hacia la superficie.

Como se encuentran relacionados el afloramiento del agua con el asentamiento que se produce en el concreto, una mezcla que tienda a exudar demasiada agua generará un fuerte

a entamamiento. Cuando se presenta este caso, la rigidez del concreto aumenta, disminuyendo su plasticidad. Si durante el periodo que dura este proceso, se presentan restricciones para su libre asentamiento debido a la presencia de elementos embebidos como es el acero de refuerzo, o por la presencia de un concreto colocado con anterioridad, el concreto tenderá a agrietarse.

La grieta por asentamiento comúnmente aparecen en elementos de grandes dimensiones con objetos embebidos de un tamaño considerable y con una cubierta superficial de poco espesor, y también en elementos donde se producen cambios violentos de espesor.

Para poder controlar la aparición de estas grietas se debe de evitar la utilización de mezclas con una excesiva exudación (utilizar mezclas con poco slump), además de realizar una adecuada vibración y de aumentar el espesor de la cubierta superficial de concreto.

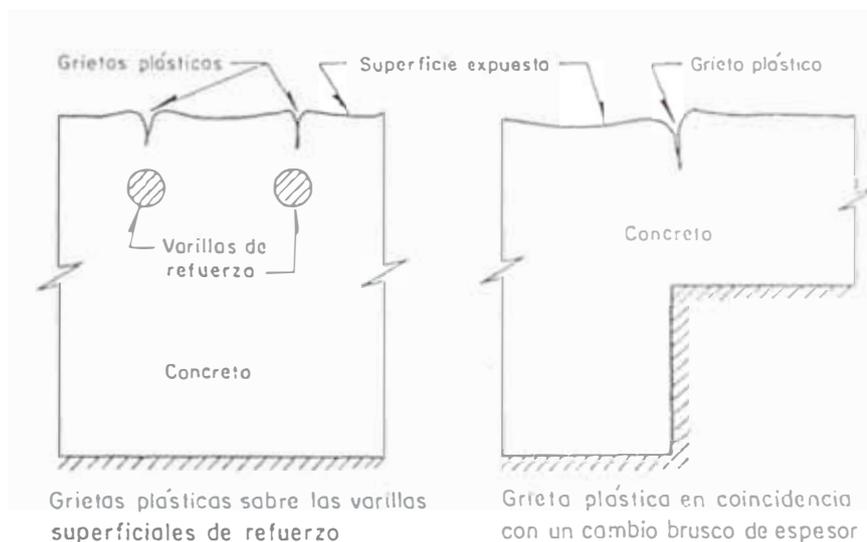


Figura 2.4. Grietas plásticas

Fuente: Comisión Federal de la Electricidad; "Manual de Tecnología del Concreto". Sección 3

2.3.2. Agrietamiento del concreto después del fraguado y cuando la estructura se encuentra en servicio

a) Fisuras debidas a la retracción por secado

Una causa común de la aparición de fisuras en el concreto es debido al fenómeno conocido como retracción por secado. Si esta retracción pudiera producirse sin ningún tipo de restricción, el concreto no se agrietaría. Sin embargo, en la realidad, toda estructura de concreto esta sujeta a un cierto grado de restricción debido ya sea por la cimentación o por otra parte de la estructura, por el acero de refuerzo embebido dentro del concreto o también, debido a la diferencia de retracción entre la superficie y el interior del elemento de concreto. Es la combinación de la retracción por secado y la restricción el que origina que se desarrollen esfuerzos de tensión. Cuando estos esfuerzos superan la resistencia a la tracción del elemento, este se agrietará.

La magnitud de la retracción es sólo un factor que determina el agrietamiento del elemento. Esta cantidad es influenciada principalmente por la cantidad y el tipo de agregado utilizado y también, por la cantidad de agua utilizada en la mezcla. A mayor cantidad y a mayor rigidez del agregado, menor será la retracción por secado; pero a mayor contenido de agua en la mezcla, mayor será la retracción por secado.

Las fisuras producto de la contracción por secado se caracterizan por su sutileza y por la ausencia de cualquier indicación de movimiento. Estas fisuras suelen ser de poca profundidad y tienen por lo general, un patrón ortogonal.

Para poder evitar la aparición de las fisuras por retracción por secado se debe de considerar la relación existente entre la retracción y la restricción. Así, cualquier método que se utilice para disminuir la retracción, también disminuirá la restricción del elemento y viceversa.



Figura 2.5. Fisuras por retracción por secado
(Fuente: USBR. "Guide to Concrete Repair")

En general, se pueden seguir los siguientes procedimientos para disminuir la presencia de las fisuras debido a la retracción por secado:

- Reducción de la retracción mediante el uso de una menor cantidad de agua en la mezcla. *El contenido de agua se puede disminuir mediante la utilización de un agregado bien graduado de consistencia dura y con una temperatura inicial del concreto baja.*
- Reducción de la retracción mediante el uso de un agregado más grande. *La utilización de una mayor cantidad de agregado en la mezcla origina que se requiera menor cantidad de agua. Aunque el aumento de agregado tienda a aumentar la restricción, pudiendo provocar la aparición de micro fisuras internas, la mayoría de estas fisuras no son perjudiciales.*
- Aplicación de un recubrimiento superficial sobre el concreto. *La aplicación de un recubrimiento superficial sobre el concreto evitará la pérdida rápida de humedad.*
- Colocación de cantidades adecuadas de refuerzo. *Un diseño adecuado del refuerzo distribuirá las grietas de tal manera que se presentarán un gran número de fisuras muy finas en vez de unas cuantas grietas anchas. El uso del refuerzo para controlar el agrietamiento sólo será práctico en el caso de los elementos de poco espesor.*
- El uso de juntas. *La utilización de las juntas de contracción es el método más efectivo para prevenir la formación de las fisuras. Si estas juntas no son provistas para acomodar la retracción, la retracción creará sus propias juntas mediante el agrietamiento de la estructura.*

Además de lo procedimientos anteriores, también se puede controlar la aparición de fisuras por retracción mediante la utilización de concretos de retracción compensada.

Los concretos de retracción compensada contienen cementos expansivos que originan en los primeros días de curado una expansión que induce esfuerzos a tensión en el acero y de compresión en el concreto. Posteriormente, debido a la retracción por secado, el concreto se contrae, compensando de manera parcial o total estos esfuerzos. De esta forma, se logra reducir o eliminar la tendencia al agrietamiento. Se debe de tomar en cuenta que si se utilizan estos tipos de concreto, es necesario que se permita la expansión del elemento durante los primeros días. En caso contrario, su efectividad para compensar la retracción disminuirá.

b) Agrietamiento por cambios de temperatura

Como ocurre en el caso de los agrietamientos producto de la restricción a la retracción por secado, los cambios de volumen de origen térmico se deben de combinar con una cierta restricción para que se pueda producir el agrietamiento del elemento. A continuación se realizará el estudio de la aparición de fisuras de acuerdo a los cambios térmicos que se producen debido a causas internas y externas.

Fisuras debido a la diferencia de temperatura generada internamente

Durante la colocación de grandes volúmenes de concreto se generan cantidades considerables de calor producto de la hidratación del cemento. Esto origina que la temperatura interna del concreto se eleve sobre la temperatura de colocación, la cual después de alcanzar un máximo comienza a descender.

Como en el concreto se producen un aumento y una disminución de temperatura, se experimenta primero una expansión y después una contracción. Si el elemento estuviera restringido, se producirían esfuerzos de compresión y de tensión seguidos; siendo los

segundo los de mayor interés ya que pueden exceder la reducida capacidad que tiene el concreto para trabajar en tensión, produciendo el agrietamiento del elemento.

Respecto a las restricciones que se pueden desarrollar, se deben diferenciar las restricciones internas de las externas.

Comúnmente, las temperaturas que se desarrollan producto del calor de hidratación no son uniformes dentro de todo el elemento. Debido a esto, se producen gradientes de temperatura muy pronunciados que originan restricciones internas. Se puede dar el caso que mientras que en las partes externas del elemento se pierda calor, en las partes internas se gana calor. Si el diferencial de los cambios de volumen producto de estas diferencias de temperatura es demasiado grande, se generarán esfuerzos de tensión que excederán la resistencia del concreto a la tensión, produciendo la aparición de fisuras en el elemento. Este tipo de restricción normalmente se presenta en las estructuras de concreto masivo, donde se producen diferenciales de temperatura debido a las diferentes velocidades de disipación de calor entre el interior y el exterior del elemento.

Además de las restricciones internas, se pueden desarrollar restricciones externas durante la disminución de temperatura del elemento, originadas por condiciones del exterior como son los elementos que rodean o que se encuentran anexados o embebidos en la estructura. Dichas restricciones se opondrán a la contracción del elemento. Si la restricción es demasiado grande, el concreto se agrietará. Un ejemplo de este caso es cuando se realiza el vaciado de concreto fresco sobre una base rígida o sobre un concreto colocado con anterioridad. En este proceso se pueden originar fisuras inducidas por variaciones de temperatura. Esto es debido a que el concreto antiguo o una base rígida restringirá las deformaciones que se llevarían a cabo cuando el concreto nuevo se expanda y se contraiga por el calor de hidratación.

Las fisuras inducidas por cambios de temperatura se caracterizan por presentarse, en la estructura, espaciadas uniformemente y ser perpendiculares a la dimensión más larga del elemento. Mientras que las fisuras que resulten de las restricciones internas serán

relativamente poco profundas y aisladas, las fisuras producto de las restricciones externas comúnmente se extenderán a través de toda la sección.

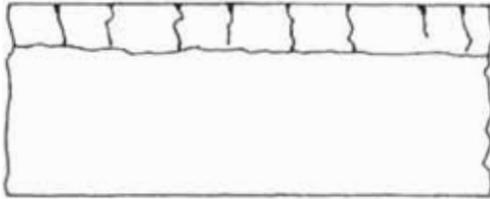


Figura 2.6. Fisura por contracción en concreto fresco sobre concreto colocado con anterioridad.

Para poder evitar la aparición de las fisuras debido a la diferencia de temperaturas generada internamente, se debe de limitar la magnitud de las contracciones que se producen por efecto del descenso de temperatura y sino, permitir el movimiento del elemento a contraerse.

Entre los procedimientos que ayudan a reducir la aparición de estas fisuras se tienen: el reducir la temperatura interna máxima, el retardar el comienzo del enfriamiento, el controlar la velocidad con que el concreto se enfría, el incrementar la resistencia a la tensión del concreto, entre otros. Estos procedimientos se pueden llevar a cabo mediante: el enfriamiento del concreto en lugares estratégicos dentro de la estructura, el aislamiento del concreto, el calentamiento selectivo del elemento, el uso de refuerzo adicional y apropiadamente ubicado, la utilización de cementos de bajo calor de hidratación, una continua secuencia de vaciado y también, el diseño adecuado de las juntas

Fisuras debido a la diferencia de temperatura generada externamente

El mecanismo de falla por el cual se producen estas fisuras es el mismo que el de crito en las anteriores. La diferencia consiste en que las variaciones de temperatura son originadas por factores externos, comúnmente por condiciones climatológicas cambiantes.

Las condiciones ambientales producen el enfriamiento o el calentamiento de una porción de la estructura a diferente grado o velocidad que otra porción de la estructura. Estas diferencias de temperatura resultan en cambios de volumen diferenciales. Dichos cambios originan esfuerzos que pueden superar la resistencia a la tensión, provocando el agrietamiento del elemento.

Una especial consideración se debe dar a aquellas estructuras en que algunas partes de la misma se encuentran expuestas a los cambios de temperatura mientras que las otras partes se encuentran parcial o completamente protegidas. Mientras que una disminución de la temperatura producirá el agrietamiento de la parte expuesta, un aumento de temperatura originará el agrietamiento de la parte protegida de la estructura. Dentro de esta caso se tienen a las estructuras en donde la razón volumen / superficie expuesta es pequeña. Aquí se debe de tomar en consideración las diferencias de temperaturas que se presentarán en las caras opuestas. Si las diferencia en temperatura son muy altas, se generarían flexiones y esfuerzos de tracción superficial de magnitud suficiente para producir el agrietamiento en la estructura.

En nuestro país, en algunas zonas de la costa, la temperatura puede descender 20°C entre el día y la noche (Colan Subauste, José E.; "Técnicas de reforzamiento y reparación de edificaciones de concreto armado que sufren degradaciones de origen físico y químico", Tesis de Grado, 1989). Esto puede producir cambios de volumen alrededor de 0.2 mm. por cada m. de longitud. Si la contracción es restringida, se producirán fisuras en el elemento.

Las fisuras producto de los cambios de temperatura generados externamente se caracterizan por presentarse aisladas y regularmente espaciadas o formando un patrón.

Para prevenir la aparición de este tipo de fisura se debe de permitir el movimiento mediante el diseño y uso apropiado de las juntas de expansión y contracción. Además, mediante la utilización del refuerzo se podrá distribuir las fisuras y disminuir el tamaño de aquellas que aparezcan.

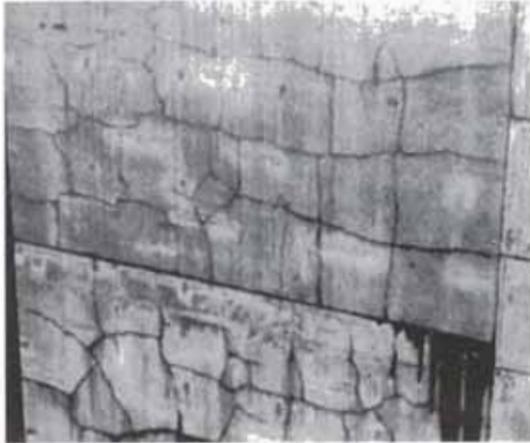


Figura 2.7. Fisuras por la restricción a los cambios de volumen por variación de temperatura generada externamente. (Fuente: USACE. "Evaluation and Repair of Concrete Structures")

c) Agrietamiento debido a otras causas

Además de la formación de fisuras debido a los cambios volumétricos propios de la naturaleza del concreto, existen otras causas que pueden originar la aparición de fisuras. Estas causas están relacionadas con factores externos que son producto de un hecho imprevisto o por la presencia de deficiencias en los procedimientos que se deben de seguir en la realización del proyecto, en el diseño, durante su elaboración y en su período de funcionamiento.

La aparición de estas fisuras esta relacionada con el deterioro del concreto, más no tienen una relación directa con la utilización de las juntas. Pero debido a que el conocimiento de la existencia de éstas ayudará a determinar durante la evaluación de las estructuras, si las fisuras encontradas tienen relación con la utilización de juntas; su estudio es requerido.

Entonces la aparición de fisuras en la estructura de concreto se puede deber también a las siguientes causas: las cargas accidentales, las reacciones químicas, los errores en el proceso de construcción, la corrosión de los metales embebidos, los errores en el diseño, el congelamiento y deshielo y, el asentamiento y movimiento de la estructura.

Cargas accidentales

Estas se pueden caracterizar por ser de corta duración, un evento fortuito como es el caso de un terremoto o la aplicación de una fuerza de impacto. Estas cargas pueden generar esfuerzos que sobrepasan la resistencia del concreto, resultando en fallas generales o localizada. En las zonas donde se han aplicado dichas cargas se puede observar la generación de astillas o la presencia de grietas.

Reacciones químicas

Los ataques químicos externos y las reacciones químicas internas pueden generar la aparición de fisuras. Como ejemplo se tienen el ataque de ácidos, el cual puede generar la corrosión del acero de refuerzo, manifiéndose con la aparición de manchas de óxido, fisuras y del desarrollo de astillas en el concreto. Además, altas reacciones carbonato-alcalina y sílice-alcalina de los agregados se manifestarán mediante el hinchamiento del concreto, formando fisuras delineadas o con un patrón.

Errores en el proceso de construcción

Una falla en el cumplimiento de los procedimientos generales o específicos puede acarrear indirectamente la falla o el deterioro del concreto. Entre estos errores se deben mencionar:

- *La impropia consolidación. Este error puede resultar además de la aparición de cangrejeras, la formación de las juntas frías.*
- *La colocación incorrecta del acero de refuerzo. Si el acero de refuerzo es incorrectamente ubicado o si no es adecuadamente asegurado en su lugar, puede causar que el acero no tenga un funcionamiento estructuralmente adecuado, resultando en el desarrollo de grietas estructurales o en la falla estructural.*
- *El movimiento del encofrado. Si se producen movimientos del encofrado durante el periodo de fraguado, se puede inducir al agrietamiento y la separación interior del concreto. Si se desarrollan fisuras en la superficie, éstas se convertirán en un medio por donde ingresará el agua al interior del concreto y si los vacíos internos, con saturados pueden acarrear problemas de congelamiento y de corrosión.*

- El asentamiento del agregado. *Si se utilizan concretos altamente fluidos sin tener en consideración el asentamiento del agregado que se producirá antes y durante el fraguado, se generará la aparición de fisuras. Además, si estas fisuras son saturadas, pueden acarrear problemas de corrosión o de congelamiento.*
- El inadecuado acabado de los trabajos realizados sobre superficies planas. *La causa más frecuente de aparición de fisuras en estos tipos de trabajo es debido a la mala ubicación de las juntas.*

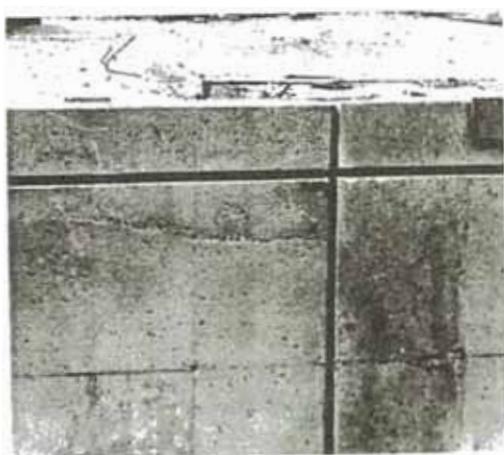


Figura 2.8. Junta fría

(Fuente: ACI, "309.2R: Identificación y Control de Defectos Superficiales en Concreto Encofrado, relacionados con la Compactación")

Corrosión de metales embebidos

La corrosión puede ser desarrollada por las características químicas de los componentes del concreto, por un ataque químico o por la presencia de corriente eléctrica. Esta origina la reducción de la sección del acero, reduciendo la capacidad de carga y además, la presencia del óxido expande el volumen del concreto. Esto origina el agrietamiento y el desarrollo de astillas. Las grietas producto de la corrosión tienden a formarse en líneas rectas y paralelas a una distancia igual al espaciamiento del refuerzo.

Errores en el diseño

Los errores de diseños se pueden dividir en dos clases: errores que son debido a un diseño estructural incorrecto y errores que son debido a la falta de atención a los detalles de diseño:

- Un diseño estructural incorrecto. *Este producirá que el concreto no soporte los esfuerzos que debería de soportar si se hubiera realizado un buen diseño. Estos errores se presentan como grietas cuando se han desarrollado esfuerzos altos a la tensión, torsión y corte.*
- Detalles pobres de diseño. *Esto debe a la falta de consideración de varios detalles que pueden afectar a la estructura. El agrietamiento puede ser generado por la concentración de esfuerzos debido a cambios abruptos de sección, a la colocación insuficiente de refuerzo en las aberturas, a la presencia no anticipada de flexiones muy altas y al no tomar en cuenta el efecto del flujo. También, el uso de materiales adyacentes con propiedades diferentes (diferentes módulos de elasticidad o de diferentes coeficientes de expansión térmica) puede generar el agrietamiento o el desarrollo de astillas cuando una estructura es expuesta a las variaciones de temperatura. Además, un inadecuado diseño de las juntas de expansión y de contracción puede originar el desarrollo de astillas y la aparición de fisuras.*

Congelamiento y deshielo

Si un concreto saturado es expuesto a cambios extremos de temperatura, el incremento del volumen del agua producto de los ciclos de congelamiento y deshielo producirá expansiones que pueden llegar a generar fisuras en el elemento. Las estructuras hidráulicas son especialmente vulnerables debido a que parte de la estructura se encuentran completamente saturada. También el concreto que es expuesto a las fluctuaciones de los niveles del agua es vulnerable debido a los continuos ciclos de congelamiento y deshielo. El agrietamiento producto de estos cambios se caracteriza por estar conformado por una serie de fisuras paralelas a la superficie de la estructura.

Asentamiento y movimiento de la estructura

Como las estructuras de concreto son comúnmente rígidas, éstas sólo pueden soportar pequeños movimientos diferenciales. Si se llegarán a desarrollar grandes movimientos diferenciales, estos generarían una condición de sobreesfuerzo sobre la estructura. Como resultado, los elementos de la estructura se agrietarían o se astillarían.

2.4. La fisura como junta

Como se ha podido notar, no todas las fisuras que se presentan en el concreto se pueden evitar mediante el uso de juntas. Má aún, no todas las fisuras producto de los cambios volumétricos son debido a la ausencia de juntas.

De todos los cambios volumétricos que se pueden presentar en el concreto, sólo dos fenómenos causantes de dichos cambios y que pueden producir el agrietamiento del elemento tienen relación con la utilización de juntas. Estos son: la retracción por secado y los cambios de origen térmico.

También es necesario indicar que no sólo la aparición de fisuras es un indicador de la ausencia de juntas, también el desarrollo de astillas evidencia un inadecuado diseño de juntas.

Aunque las fisuras demuestran que han existido esfuerzos que sobrepasaron la resistencia a la tensión del concreto, estos esfuerzos no son sólo originados por una contracción del elemento, sino también por el pandeo, alabeo o el encorvamiento del elemento producto de una expansión. Mientras que una contracción restringida se puede denotar por la aparición de fisuras, una expansión restringida se manifiesta mediante el desarrollo de astillas en los bordes de los elementos adyacentes y en la aparición de fisuras en el interior del elemento.

Entonces, el desarrollo de las astillas obedece al poco espacio que existe (si es que existe algún espacio) entre dos elementos estructurales, espacio que puede ser denotado como una junta de expansión mal diseñada.

Finalmente se puede concluir que para poder evitar la aparición de fisuras en el concreto es necesario, principalmente, un adecuado diseño de mezcla de acuerdo a las características de la estructura y del sitio donde éste se construirá.

FUNCION DE SELLADORES EN LAS JUNTAS

El desarrollo de un estudio de juntas implica la necesidad de tener conocimientos con respecto a la función, características y propiedades de aquellos materiales utilizados para el sellado de las juntas. En el presente capítulo se expone un breve estudio de estos selladores, indicando las razones de su utilización y clasificándolos de acuerdo a sus propiedades y al comportamiento que tienen frente a las condiciones externas y a los movimientos producidos cuando se encuentran instalados en la junta. Además, se presentan los materiales disponibles a ser utilizados en el sellado de juntas en aquellas estructuras que soportan la presión de fluidos.

3.1. La necesidad de utilizar selladores en juntas

La necesidad de utilizar juntas en las estructuras de concreto también crea la necesidad de utilizar un adecuado sistema de sellado. Esto es requerido en la mayoría de juntas elaboradas donde se desea tener una barrera en contra de los efectos adversos del medio ambiente y también, en contra de las condiciones de servicio que se podrían dar mediante el paso de líquidos, gases o de sustancias indeseables a través de dichas aberturas.

Entonces, al material designado para mantener el sello entre los lados de la junta, pudiendo estar sujeta a algún grado de movimiento, se le denomina sellador.

Los selladores han de desempeñar su función mientras que son sometidos a sucesivas contracciones y expansiones, y mientras que son expuestos al calor, frío, humedad, insolación y algunas veces, al ataque químico. Esto implica la necesidad de utilizar materiales que cumplan con las propiedades requeridas para dichas condiciones y que cuenten con un adecuado procedimiento de instalación.

Por lo tanto, el material utilizado como sellador debe de tener una buena elasticidad, resistiendo y absorbiendo dilataciones, deformaciones y vibraciones que se produzcan debido a las fluctuaciones de temperatura y a las fuerzas mecánicas; también debe de contar con buenas propiedades de adhesión con los elementos que separa la junta y debe de tener buenas propiedades de cohesión, no debiéndose asentar o fluir por las aberturas.

En el caso de las estructuras hidráulicas, el sellado de las juntas se hace necesario, en primer lugar, para impedir la pérdida del agua que fluye o es contenida. Como estas estructuras de concreto están expuestas al medio ambiente, la utilización de un sistema de sellado evita el paso o la concentración de agua en las juntas. Esto no permite que se produzca el deterioro de la estructura debido a los ciclos de hielo y deshielo, de remojo y de secado, y de la erosión de los elementos adyacentes en la junta por la presencia del agua.

Mas aún, la utilización del sellador previene del daño que puede surgir por la presencia de materia sólida en la junta, la cual no permitiría el adecuado funcionamiento de la junta, produciendo la restricción del movimiento y generando esfuerzos no anticipados que podrían llegar a producir el agrietamiento del elemento.

Como se puede ver, el sellado es muy importante y su buen funcionamiento depende tanto del movimiento a ser acomodado como de las características de la junta. Debido a esto, para poder realizar un adecuado diseño de junta, se debe tomar en cuenta la interrelación de estos factores y las propiedades de los materiales disponibles para el sellado.

3.2. Tipos de selladores

Los selladores se pueden clasificar en dos grandes grupos. Estos son: los selladores moldeados en campo y los selladores preformados.

3.2.1. Selladores moldeados en campo

Los selladores moldeados en campo son materiales aplicados en forma líquida o semilíquida de manera tal que toman su forma de acuerdo al molde provisto por la abertura de la junta. En algunos métodos de construcción, pueden ser vaciados también dentro de una cavidad formada en el interior de la junta. Estos se agrupan en tres tipos: las masillas, los termoplásticos y los elastómeros.

Las funciones de los selladores moldeados en campo son: el sellar la junta contra el paso del agua, el prevenir el ingreso de arena o de otro material del exterior, y el proveer de protección al material de relleno para junta cuando sea necesario.

3.2.2. Selladores preformados

Los selladores preformados son fabricados en la planta de manufacturación, funcionan de acuerdo a su forma establecida y no requieren de un gran espacio de elaboración para su instalación. Entre estos se pueden mencionar a: los sellos de compresión, las empaquetaduras y los tapajuntas (waterstops), los cuales son utilizados en las estructuras hidráulicas.

1. Los tapajuntas (Waterstops)

El tapajuntas es un material preformado para juntas, metálico o no metálico, cuya función es el servir como una barrera en contra del paso del agua y de las materias que son arrastradas por el agua al interior, a través o a lo largo de la junta, y al mismo tiempo, permitir el movimiento no sólo en ángulo recto al plano de la junta, sino que también un posible movimiento a lo largo del plano.

Este tipo de sellador es usado principalmente en las juntas de las estructuras expuestas al agua. Entre tales estructuras se encuentran las presas y los revestimientos de canales.

Según lo indicado por Critchell, los waterstops son provistos a través de las juntas o en los planos de debilidad de las estructuras cuando se presenta alguna de las siguientes circunstancias:

- *En los lugares en que se puedan desarrollar presiones por aguas subterráneas.*
- *En los lugares donde el agua es encerrada bajo una carga de presión mayor o igual a 3 metros.*
- *En los lugares donde es esencial el que no exista ningún riesgo de penetración del agua.*
- *En los lugares donde el trabajo de encofrado o el método de construcción dificulta la adecuada elaboración de una cavidad para un sellado superficial.*

2. Los sellos de compresión

El sello de compresión es una forma de sellador preformado dividido en compartimientos, el cual es diseñado como una estructura celular compresible para ser comprimido e insertado en una junta elaborada con anterioridad. Este tipo de sellador tiene como función el sellar las juntas para evitar la intrusión o el paso del agua, de las partículas sólidas (partículas de arena o de material desechable), o de las sustancias indeseables (combustibles y otros químicos) dentro de la junta.

3. Las empaquetaduras

Las empaquetaduras son utilizadas en las juntas ubicadas entre las tuberías y en los conductos de servicio. Su acción de sellado es obtenido mediante la compresión de este material entre las paredes de la junta igual como es el caso de los sellos de compresión o también mediante la adhesión del sellador a la superficie de la junta cuando el material utilizado es susceptible a la presión.

4. Sellos misceláneos

Además de los selladores anteriormente mencionados, existen otros tipos de selladores preformados que son utilizados en estructuras que no se encuentran expuestas al paso del agua. Entre estos selladores se pueden mencionar a las cintas, las espumas flexibles, los sellos en tiras y a los sellos de tensión-compresión. A estos últimos se les puede dar uso también en estructuras que soportan la presión de fluidos como caso especial.

3.3. El comportamiento del sellador

3.3.1. El adecuado funcionamiento del sellador

En general, el material utilizado en el sellado de una junta puede estar sujeto a tres tipos de esfuerzo: esfuerzos de tensión, de compresión y de corte. Estos esfuerzos están relacionados con la configuración de la junta y con el tipo de sellador utilizado en dicha junta.

Entonces, para que funcione adecuadamente el sellador, este debe de deformarse en respuesta a los esfuerzos originados por los movimientos que se producen en la junta, sin que se presente algún cambio en su composición que pueda afectar su capacidad de mantener un adecuado sellado.

Como el material de sellado se comporta de forma elástica o plástica, el tipo y la magnitud de cada uno de estos comportamientos dependerán de la cantidad y del tipo de movimiento a presentarse, de la temperatura durante y después de su instalación, y de las propiedades físicas del material.

3.3.2. El comportamiento del sellador moldeado in situ

Este comportamiento se caracteriza por los constantes ciclos de tensión y compresión a las que es sujeto el sellador mientras que la junta de superficie expuesta se abre y se cierra, respectivamente.

Luego que el sellador es instalado en la junta, si se produce algún movimiento que originará que la junta se abriera, en este se darían lugar diferentes tipos de esfuerzos: mientras que en el sellador se producirían esfuerzos de cohesión (tensión), en la zona de unión entre el sellador y el material de la cara de la junta se producirían esfuerzos de adhesión, de tensión y de desprendimiento. En cambio, si se produce algún movimiento que originará que la junta se cerrara, se desarrollarían sólo esfuerzos de compresión en el sellador. Esto se puede observar esquemáticamente en la figura 3.1.

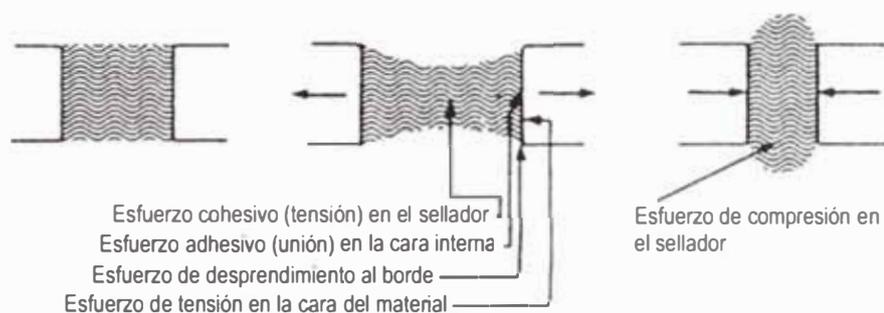


Figura 3.1. Comportamiento del sellador moldeado in situ en juntas de tope

Fuente: ACI Committee 504; "Guide to Sealing Joints in Concrete Structures"

Para que el sellador cumpla con su función, este deberá de cambiar su forma sin cambiar su volumen. Esto se logra mediante el cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. El sellador debe de ser homogéneo y tener una baja retracción. Este debe de instalarse con facilidad, adhiriéndose firmemente a las caras de la junta.

2. *Durante la abertura de la junta, los materiales deberán de tener un elevado último esfuerzo, contando con un modulo de elasticidad bajo y siendo resistentes a los procesos de flujo y de relajamiento de esfuerzo, y*
3. *Cuando la junta se cierra, además de resistir el flujo y el relajamiento de esfuerzo, el sellador deberá de tener una baja deformación permanente por compresión.*

3.3.3. El comportamiento del sellador preformado

El comportamiento de los selladores preformados depende de la combinación de sus propiedades elásticas y plásticas de acuerdo al tipo de sellador empleado, las cuales intervienen durante la aplicación de esfuerzos de compresión o tensión.

a) El comportamiento del waterstop

El waterstop se caracteriza por estar normalmente sometido a esfuerzos de tensión durante su rango de trabajo. Esto presupone que su instalación se realiza cuando la junta se encuentra en una posición completamente cerrada de tal forma que, cuando la junta se abre o se cierra, el sellador siempre estará siendo extendido. Esto se dará lugar sólo cuando este tipo de sellador sea embebido dentro del concreto fresco o en su superficie y se encuentre firmemente anclado.

La presión a la que es sujeto el waterstop así como los movimientos que se producen en el elemento de concreto, originan altas concentraciones de esfuerzos en los puntos de anclaje. Esto se observa en la figura 3.2.

Si se instala un tapajuntas en una junta funcional, este debe de ser un material flexible y debe de contar con el tamaño correcto y con la configuración más adecuada de acuerdo a la cantidad de movimiento esperado, teniendo una buena adhesión con el concreto.

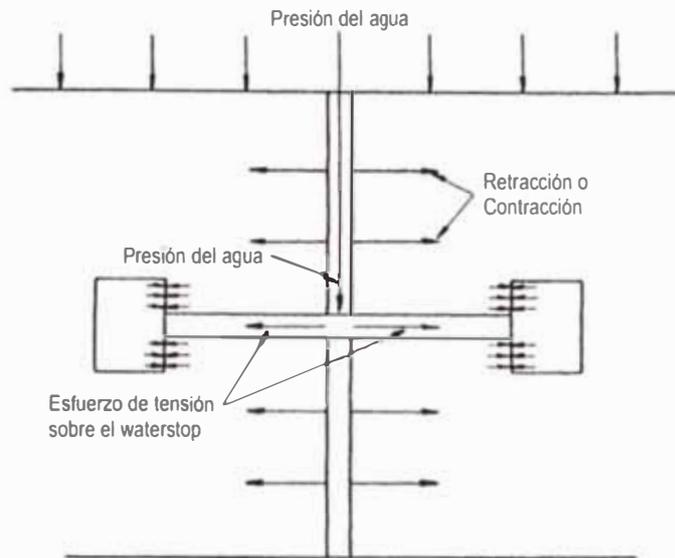


Figura 3.2. Esfuerzos soportados por el waterstop

Además, el tapajuntas debe de soportar la deformación debido a la presión del agua y debe de tener una alta durabilidad debido a que el reemplazo no es práctico en este caso, a menos que sea instalado superficialmente.

b) El comportamiento del sello de compresión y de la empaquetadura

En el caso de los sellos de compresión y de las empaquetaduras, su comportamiento se rige por la condición de un esfuerzo constante a compresión.

Para que cumpla el sellador con su función cuando la junta se abre o se cierra, este debe de cambiar su forma de acuerdo a como cambia su ancho, manteniendo la acción selladora mediante la aplicación de una constante presión sobre las caras adyacentes en la junta. Esto se puede observar esquemáticamente en la figura 3.3.

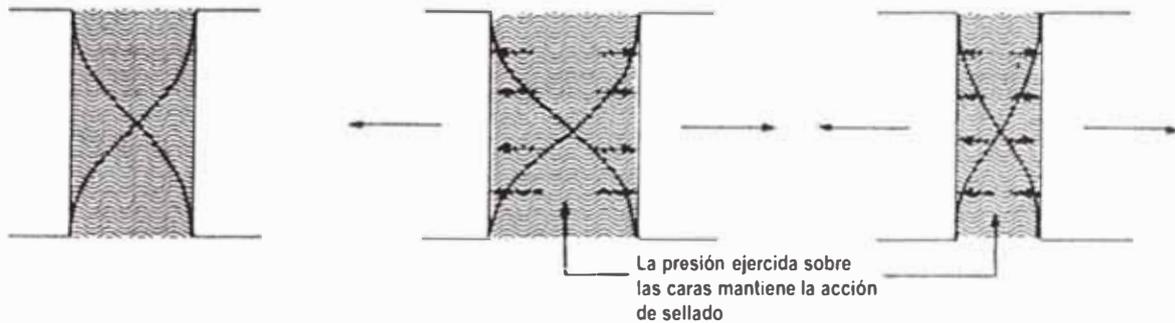


Figura 3.3. Comportamiento del sello de compresión o de la empaquetadura

Fuente: Report ACI Committee 504: "Guide to Sealing Joints in Concrete Structures"

Este comportamiento se mantendrá si se cumplen con ciertos requisitos:

- 1. Al ser instalado, el sellador debe de tener un buen contacto con ambas caras de concreto. Además, este deberá de contar con el tamaño y la configuración más adecuados.*
- 2. Luego, durante la apertura de la junta, el sellador deberá de comportarse como un material elástico con el fin de obtener un adecuado funcionamiento.*
- 3. Y finalmente, para que se comporte adecuadamente cuando la junta se cierra, este debe de tener una baja deformación permanente por compresión, no permitiéndose la fusión interna del material componente ni tampoco, la extrusión del sellador hacia fuera de la junta.*

3.3.4. La relación de los cambios de temperatura con el comportamiento del sellador

Un importante factor en el comportamiento del sellador es el efecto que tiene la temperatura en el momento en que el sellador es instalado en relación con al rango de temperaturas máximas y mínimas que se presentan cuando el elemento está en servicio.

Este rango de temperaturas en servicio está condicionado por la cantidad de calor que es absorbida y transferida, dependiendo de la ubicación, del tiempo de exposición y de los tipos de materiales a ser unidos; no pudiéndose considerar una igualdad con la temperatura del medio ambiente, ya que los rangos de ambas temperaturas podrían variar considerablemente.

Entonces, para su uso en este estudio, se considerará el intervalo de temperaturas tomado por el ACI Commitee504: desde -29°C hasta 54°C (-20°F a 130°F). Aunque este sea un rango de temperaturas superior a los que se presentan en nuestro medio, sirve de referencia para el estudio general de las juntas. Además, en esta variación de temperatura se considera no solamente la influencia de factores externos como son el medio ambiente, sino también la influencia de factores internos como es la emisión de calor producto de la hidratación del elemento, la cual puede ser de gran importancia cuando se construyen estructuras de concreto masivo.

Adicionalmente, en el caso de las estructuras hidráulicas se debe de considerar el hecho que no toda la estructura se encuentra sumergida debajo el agua, siendo los intervalos de humedecimientos así como las zonas no expuestas, factores que modificarán el rango de temperatura.

En la figura 3.4 se esquematiza el comportamiento del sellador frente a tres condiciones: cuando el sellador esta siendo instalado a una temperatura promedio, cuando es instalado a la más baja temperatura y cuando es instalado a la más alta temperatura. Para este análisis sólo se considera el efecto de la temperatura y se asume hipotéticamente que el ancho de la junta cuando el sellador es instalado a una temperatura promedio es igual al movimiento total desde el momento en que la junta se abre completamente hasta que se cierra completamente.

Como se puede observar, las situaciones menos favorables para la colocación del sellador ocurren cuando la temperatura de servicio es demasiado alta o demasiado baja. Si se instalará el sellador cuando la temperatura es mínima, el sellador tendría que comprimirse

hasta un 66.66% durante su servicio (desde un ancho igual a $3b$ hasta un ancho igual a b), utilizando una mayor cantidad de material (50% más) y existiendo además, la posibilidad que se produzca una deformación permanente o la extrusión del sellador. Si se instalará el sellador cuando la temperatura es máxima, el sellador tendría que soportar una deformación del 200% en servicio (desde un ancho igual a b hasta un ancho igual a $3b$.) Esto originaría definitivamente la ocurrencia de una falla por adhesión, por cohesión o por peladura.

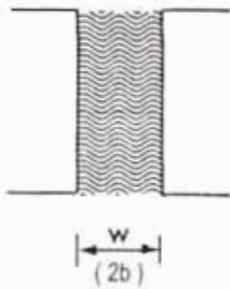
Entonces se puede concluir que el mejor momento para realizar la instalación de sellador es cuando la temperatura de instalación se aproxime más hacia la temperatura media anual. Tomando en cuenta consideraciones prácticas, el ACI ha determinado que el rango de temperatura para la instalación del sellador más aceptable es desde 4°C hasta 32°C (40°F a 90°F). No obstante, se debe tomar en cuenta que este rango de temperatura puede ser variado de acuerdo a las especificaciones de instalación dadas por cada fabricante de sellador.

Otro factor a tomar en cuenta es la velocidad con que se producen los movimientos por variaciones de temperatura. Como la restricción del elemento ocasiona una acumulación de fuerzas que se oponen a las fuerzas de fricción, cuando estas fuerzas superan a las anteriores, se genera un rápido movimiento que puede dañar a un frágil sellador. Debido a esto se debe de considerar la importancia de seleccionar el material de sellador según su flexibilidad en un gran rango de temperaturas.

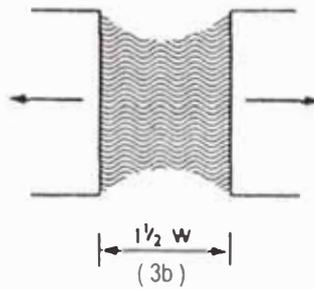
Adicionalmente, en las estructuras que cuentan con un gran número de juntas en serie, como es el caso de los recubrimientos de canales, se debe de esperar que una de estas juntas absorba mayor cantidad de movimiento que las otras durante los primeros momentos del movimiento. Por esto se debe de considerar la peor combinación de movimientos que se puedan presentar sobre los selladores instalados en dichas juntas.

1. Sellador instalado a una temperatura promedio

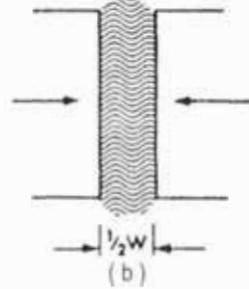
(A) Instalación a una temperatura promedio (13°C)



(B) Junta abierta a una temperatura de -29°C

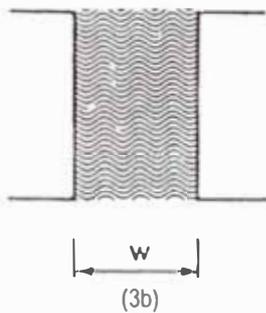


(C) Junta cerrada a una temperatura de 54°C

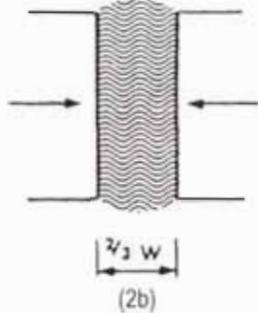


2. Sellador instalado a una temperatura muy baja

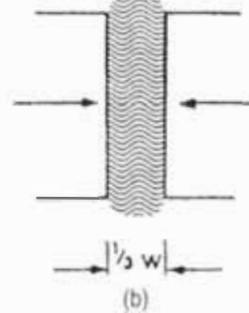
(A) Instalación a una temperatura mínima (-29°C)



(B) Junta media cerrada a una temperatura de 13°C

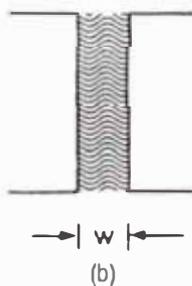


(C) Junta cerrada a una temperatura de 54°C

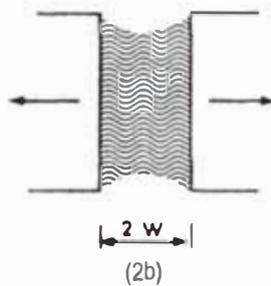


3. Sellador instalado a una temperatura muy alta

(A) Instalación a una temperatura máxima (54°C)



(B) Junta media abierta a una temperatura de 13°C



(C) Junta abierta a una temperatura de 54°C

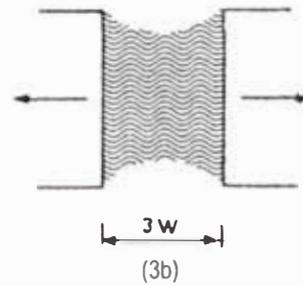


Figura 3.4. Efecto de la temperatura sobre los selladores moldeados in situ

Fuente: Report ACI Committee 504; "Guide to Sealing Joints in Concrete Structures"

3.3.5. La función de los materiales accesorios

Cabe mencionar que existen materiales que son utilizados como accesorios a los selladores. Estos materiales accesorios ayudan a los selladores a cumplir con el diseño requerido y así poder lograr un adecuado sellado de la junta. Estos son: el material de respaldo, el interruptor de adhesión y el imprimador.

a) El material de respaldo y el interruptor de adhesión

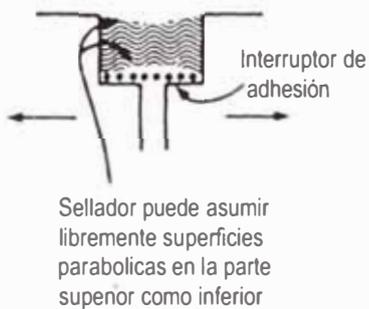
El material de respaldo así como el interruptor de adhesión son utilizados como elementos de ayuda cuando se requiere obtener el factor de forma deseado en los selladores moldeados in situ. Ver figura 3.5.

La función del interruptor de adhesión es no permitir que el sellador se adhiera al fondo de la cavidad elaborada para ser rellena por el sellador. De esta forma el sellador podrá asumir la forma deseada y podrá deformarse adecuadamente, asumiendo igual forma parabólica en las superficies inferior y superior. Para que cumpla con su función, este material no debe adherirse al sellador. En caso contrario, este se convertiría en un obstáculo para que el sellador se deforme libremente.

La función del material de respaldo es el limitar la profundidad del sellador, controlando su forma, sirviéndole de soporte y previniendo que discorra a través de la junta. Además limita el desplazamiento producto de la presión del fluido, facilita la instalación del sellador y también puede funcionar como un interruptor de adhesión, previniendo que el sellador se una por su parte inferior con la junta. Su instalación se hace necesaria en el caso que una junta sea elaborada con una abertura cuya profundidad sea mayor a la requerida por el sellador.

El material de respaldo debe de comprimirse dentro de si mismo, de tal forma que el sellador no sea forzado hacia fuera cuando la junta se cierre y también debe de recuperar su forma cuando la junta se abra de tal forma que mantenga un constante contacto con las superficies en la junta. Adicionalmente, se debe de tener cuidado al seleccionar el ancho y la forma del material de tal forma que este quede comprimido luego de su instalación.

Función del Interruptor de adhesión



(a)

Función del material de respaldo



(b)

Práctica Común de uso



(c)

Figura 3.5. El interruptor de adhesión y el material de respaldo

Fuente: Report ACI Committee 504; "Guide to Sealing Joints in Concrete Structures"

Un detalle del diseño ampliamente aceptado y de uso práctico que se dan a estos dos materiales se muestra en la figura 3.5c. Aún cuando se asume que el uso de una barra redonda preformada como material de respaldo ayuda a reducir los esfuerzos de adhesión mediante el aumento del área de unión entre el sellador y las superficies en la junta, dándole además una adecuada forma al sellador; el ACI recomienda el uso de materiales de respaldo que cuenten con una superficie plana en contacto con el sellador debido a que resulta más conveniente al reducir esfuerzos de desprendimiento. (Figura 3.5b)

b) El imprimador

El imprimador es utilizado con algunos selladores moldeados in-situ con la finalidad de mejorar la unión entre este y las superficies en la junta, especialmente cuando la junta se abre por la presencia de bajas temperaturas. En general, cuanto más elástico es el sellador, más necesita de un imprimador para garantizar una buena adhesión.

Este material realiza algunos de los siguientes procedimientos para cumplir con su objetivo: penetra y sella los poros del concreto, recubre los poros de concreto, recubre las partículas de polvo, reduce la formación de burbujas y, reduce la absorción de aceites por parte del concreto.

3.3.6. La función del material de relleno para juntas

El material de relleno para juntas es una tira de material compresible, él cual es utilizado para dar forma y servir de relleno para las juntas de expansión durante su elaboración. Además, tiene como función el permitir al concreto expandirse libremente y si fuera el caso, proveer de soporte a los selladores o limitar su profundidad de la misma manera como lo hace un material de respaldo.

Para poder cumplir con sus funciones, el material de relleno para junta debe de cumplir con las siguientes propiedades: debe de comprimirse sin extrudir, debe de recuperar lo mas

antes posible su ancho luego que la presión actuante deje de ser ejercida sobre éste, debe durar y tener resistencia a la descomposición, y debe de ser lo suficientemente rígido para mantener su alineamiento durante la colocación del concreto.

3.4. Materiales disponibles

3.4.1. Propiedades que deben cumplir los selladores

Para que todo material utilizado como sellador se desempeñe de forma satisfactoria, deben de cumplir con las siguientes propiedades:

- *Ser un material impermeable.*
- *Deformarse para acomodar los movimientos que ocurren en la junta.*
- *Retener en grado suficiente su forma y sus propiedades originales si es sometido a cíclicas deformaciones.*
- *Adherirse a las superficies de concreto, no desprendiéndose en las esquinas o en otras áreas donde es sometido a altos esfuerzos. (Esta propiedad no es aplicable a los selladores preformados que ejercen presión sobre las superficies de concreto o están firmemente anclados.)*
- *No debe de fallar por cohesión. (Es decir, presentar ruptura interna parcial o total.)*
- *Ser resistente al flujo debido a la gravedad o la presión ejercida por algún tipo de fluido o al inaceptable ablandamiento a altas temperaturas de servicio.*
- *No debe endurecerse o volverse quebradizo a bajas temperaturas de servicio.*
- *No debe ser afectado por el envejecimiento, la erosión u otros factores de servicio durante un adecuado tiempo de servicio.*
- *Ser manipulable, siendo fácil su instalación, libre de sustancias nocivas para el operador y para los materiales a unir y además, debe de preservarse por un periodo razonable de tiempo cuando es almacenado antes de su utilización.*

Aún cuando el material utilizado como sellador cumpla con estas propiedades, no existe un sólo material que pueda cumplir con todos los requerimientos de todas y cada una de las aplicaciones. Los tipos de materiales que podrían ser aceptables para una determinada aplicación se ven restringidos debido a sus limitaciones físicas, a la configuración de la junta, al método de elaboración de la junta y al espacio requerido por el sellador para su instalación. Además, debido a las condiciones particulares que se imponen durante el servicio, el material debe de cumplir con ciertos requisitos adicionales a aquellos establecidos anteriormente.

Por otro lado, durante varios años se había utilizado materiales metálicos y compuestos bituminosos como los únicos materiales disponibles para el sellado hasta el desarrollo de los elastómeros.

Los selladores elastómeros tienen un comportamiento más elástico que plástico por lo que son más flexibles que rígidos frente a las temperaturas normales de servicio y están disponibles como selladores moldeados in situ o como selladores preformados. Aunque su costo inicial es alto, el costo a largo tiempo de estos materiales como selladores preformados puede ser más bajo debido a que usualmente tienen un mayor tiempo de vida en servicio. Y en el caso de los selladores elastómeros moldeados in situ, estos pueden sellar juntas en donde se producen grandes desplazamientos, lo cual no es posible por los materiales con un comportamiento en gran parte plástico.

Por lo tanto, al seleccionar los materiales a ser utilizados en una determinada aplicación, estos deben de ser los más adecuados económica y físicamente. Esto requiere determinar las propiedades básicas de cada material propuesto, clasificándolas y relacionándolas de acuerdo a su aplicabilidad frente a los diferentes tipos de junta y al costo que originaría su utilización.

Un resumen de todos los tipos de materiales utilizados, sus propiedades, su forma de instalación, así como su aplicación en determinadas estructuras se encuentra descrito en los cuadros 3.1 al 3.5.

3.4.2. Selladores moldeados in-situ

I. Las masillas

Las masillas están compuestas por un líquido viscoso, por fibras y otros materiales de relleno, los cuales lo convierten en un material inmóvil. Estos materiales no endurecen, fraguan o curan después de la instalación, pero forman una película sobre la superficie expuesta. Entre los tipos de masillas existentes, Los asfaltos de bajo punto de fusión son los recomendados por el ACI para las estructuras bajo presión de fluidos. El rango funcional de tensión-compresión de estos materiales es aproximadamente del orden de +3%.

Estos pueden ser utilizados en las juntas donde se espera que se presenten pequeños movimientos y cuyo costo inicial es más importante que el costo por mantenimiento y reparación. Con el tiempo, la mayoría de las masillas tienden a endurecerse en una creciente profundidad a medida que se vaya produciendo la oxidación y la pérdida de los volátiles.

II. Los Termoplásticos aplicados en caliente

Estos materiales tienen la propiedad de volverse blandos con el calor y endurecerse con el frío sin que usualmente ocurra algún cambio químico. Son generalmente de color negro. Entre los tipos de termoplásticos aplicados en frío existen dos tipos que son recomendados para las estructuras que soportan la presión de fluidos: Los caucho-bituminosos y el PVC-Brea aplicado en caliente.

Con respecto a los caucho-bituminosos, su rango funcional de tensión-compresión es aproximadamente del orden del 5%. Este rango puede variar de acuerdo a las condiciones de temperatura del sitio y del proceso de envejecimiento del material. Aunque es más barato que otros materiales, su tiempo de vida efectivo es menor. Tienden a perder su elasticidad y su plasticidad con el tiempo, empiezan a aceptar envés de rechazar los

materiales del exterior y son expulsados hacia fuera cuando la junta se cierra estrechamente o cuando ha sido saturada. Además, sus propiedades físicas pueden ser afectadas si se sobrecalienta durante el proceso de instalación y este puede ser ablandado por hidrocarburos como los aceites y la gasolina. El uso de este sellador está restringido a las juntas horizontales debido a que si se instalarán en juntas verticales, se produciría el derramamiento de este material durante la instalación o posteriormente a la misma en lugares de clima cálido.

En el caso de las PVC-breas, su rango funcional de tensión-compresión llega hasta un +25%. Su costo unitario es mediano, no fluyen a altas temperaturas de servicio, son elásticos, tienen una buena resistencia a la erosión y al envejecimiento, y resisten la acción agresiva de los químicos. El ACI y el USBR recomiendan su uso en las juntas de los recubrimientos de canales.

III. Los Termoplásticos aplicados en frío

Estos materiales fraguan mediante la liberación de solventes o mediante la ruptura de las emulsiones cuando son expuestas al aire. Algunas veces son calentados a temperaturas no mayores de 49°C (120°F) con el fin de facilitar su aplicación pero generalmente son utilizados a temperatura ambiente. La liberación del solvente o del agua puede causar la retracción y el incremento de su solidez, dando como resultado la reducción del movimiento permisible en la junta y por ende, de su utilidad. Entre los tipos de termoplásticos aplicados en frío, los caucho-bituminosos son los adecuados para las estructuras bajo presión de fluidos. El rango funcional de tensión-compresión de estos materiales es aproximadamente del orden de +7%. Sin embargo, este rango puede ser reducido por el ablandamiento por calor y por el endurecimiento debido al frío.

Estos materiales sólo se pueden utilizar en juntas donde se presentarán pequeños movimientos. En el caso de los caucho-bituminosos, estos son recomendados para el sellado de juntas en recubrimientos de canales y como materiales de relleno para fisuras.

IV. Los de fraguado térmico por curado químico

Aunque los selladores de fraguado térmico se dividen en dos tipos: los de curado químico y los de liberación del solvente, sólo la mayoría del tipo de curado químico pueden ser utilizados en estructuras de retención de fluidos. Estos son: polisulfuros, polisulfuro-breas, poliuretanos y siliconas.

Los selladores de fraguado térmico por curado químico están compuestos por un sistema de uno o dos componentes, los cuales curan de su estado líquido de aplicación a un estado sólido mediante la reacción química. Las propiedades de estos materiales hacen que sean útiles para diferentes tipos de aplicaciones: son resistentes a la erosión, son flexibles y elásticos a altas y a bajas temperaturas, y permanecen inactivos frente a un amplio rango de sustancias químicas. El rango funcional de tensión-compresión de estos materiales llega a ser hasta del orden de +100 / -50% para siliconas y de 25% para poliuretanos y polisulfuros. Debido a estas propiedades y si las condiciones de instalación son las apropiadas, estos materiales pueden soportar mayores movimientos que otros selladores moldeados in situ, teniendo generalmente un mayor tiempo de vida en servicio.

Las propiedades de este material así como de todos los materiales que se pueden aplicar en las juntas de superficie expuesta se pueden ver en el cuadro 3.1.

V. Materiales accesorios

Los imprimantes

El material más adecuado para que cumpla con la función del imprimante y al mismo tiempo sea compatible con el sellador es comúnmente suministrado junto con este último. Estos materiales quedan mejor colocados sobre los poros de la junta si se aplican con brocha de cerda dura.

Los interruptores de adhesión

Cuando sea requerido un interruptor de adhesión, los materiales utilizados con frecuencia son las cintas de polietileno. Se dispone de cintas especiales enceradas, pero la cinta adhesiva de papel (masking tape) puede también realizar un buen trabajo en una emergencia. Se debe resaltar el hecho que estos materiales no son usualmente utilizados cuando se colocan materiales de respaldo ya que estos últimos son fabricados para que no se adhieren al sellador.

Los materiales de respaldo

Cuando sea necesaria la utilización del material de respaldo, se deben seguir las indicaciones dadas por el fabricante del sellador para asegurar la compatibilidad entre ambos materiales. Existe una variedad de materiales preformados utilizados como materiales de respaldo. Entre estos es común en nuestro medio el uso de la espuma rígida de poliestireno expandido (Teknopor) y de la espuma flexible de polietileno de células cerradas.

Los materiales de relleno para juntas

Aunque al material de relleno para juntas se le puede considerar como un material accesorio al sellador moldeado in situ, este material también puede servir de soporte para algunos selladores preformados. En el caso de las estructuras que soportan la presión de fluidos, el material de relleno para juntas debe, sobre todo, proveer de un adecuado soporte para el sellador a fin de prevenir su desplazamiento debido a la presión que ejerce el fluido sobre la superficie. En los lugares donde la presión sea alta, es conveniente utilizar un material de relleno relativamente incompresible.

Para facilitar la instalación de los materiales de relleno para juntas en aquellas estructuras que contengan secciones irregulares, este material debe estar disponible en la forma de largas planchas; y aunque este material no debe estar normalmente en contacto con el líquido contenido en la estructura, es conveniente que este material sea impermeable y que su compresibilidad no se vea afectada cuando entra en contacto con el agua. Así como los materiales de respaldo, existe una gran variedad de materiales utilizados como materiales

de relleno. Entre estos es común en nuestro medio el uso de la espuma rígida de poliestireno expandido (Teknopor), el cual es colocado durante el proceso de colocación del concreto.

Por otro lado, también se considera como material de relleno para junta a la lechada o mortero de cemento Pórtland. Este material es asentado (mortero) o inyectado (lechada) en la junta entre unidades prefabricadas y de tuberías con el fin de llenar la abertura dejada y cuando no se espera la ocurrencia de algún movimiento.

Además se puede dar uso como material temporal de relleno a la cuerda de manilla u otro similar, tal que se atiborra la junta, evitando la entrada de materia sólida hasta el momento en que se proceda con la instalación del sellador.

3.4.3. Selladores preformados

En el cuadro 3.2 se puede apreciar los materiales utilizados, sus propiedades, su disponibilidad y los usos que se les pueden dar de acuerdo a los diferentes tipos de selladores preformados utilizados en estructuras que soportan la presión de fluidos.

VI. Sellos de compresión

Los sellos de compresión son elementos preformados elaborados comúnmente a base de compuestos elastoméricos, como el neopreno. Cuando son elaborado con estos materiales, los sellos de compresión brindan una alta resistencia al deterioro por acción del ozono, resistencia a los combustibles, alta recuperación frente a elevadas y bajas temperaturas, y una gran flexibilidad.

Si fuera necesario se pueden utilizar lubricantes adhesivos para facilitar su instalación, los cuales mejoran el sellado mediante la adhesión del sello de compresión a las unidades adyacentes en la junta.

Composición y Tipo	Importantes Propiedades para su aplicación	Disponible en	Usos
(1) Butilo – Hule convencional curado	Alta resistencia al agua, al vapor y a la erosión. Baja deformación permanente, alta cohesión y recuperación. Duro. Color negro, puede ser pintado.	Listones, varillas, tubos, planchas planas, cintas y en formas elaboradas para cumplir con un propósito.	Waterstops, combinación de un inductor de fisura y sello.
(3) Neopreno – Hule convencional curado	Alta resistencia al aceite, al agua, vapor y erosión. Baja deformación permanente. Color básicamente negro pero pueden ser incorporados otros colores en la superficie.	Listones, varillas, tubos, planchas planas, cintas, en formas elaboradas para cumplir con un propósito. Esponjas sólidas o de célula abierta o cerrada.	Waterstops. Sellos de compresión. Sellos de tensión-compresión. Empaquetaduras.
(4) PVC (Policloruro de vinilo)	Alta resistencia al agua, al vapor. Moderada resistencia a los químicos. Baja deformación permanente, alta cohesión y recuperación. Duro. Puede ser ablandado por calentamiento para empalmar. Color pigmentado negro, marrón, verde, etc.	Listones, varillas, tubos, planchas planas, cintas, empaquetaduras, en formas elaboradas para cumplir con un propósito.	Waterstops, empaquetadura, combinación de un inductor de fisura y sello.
(5) Poliisobutileno no curado	Alta resistencia al agua y al vapor. Alta adhesión. Alta flexibilidad a bajas temperaturas. Fluye bajo presión, la superficie es susceptible a la presión. Algunas veces es usado con componentes de butilo para controlar en cierto grado el curado. Color negro, plomo, blanco.	Listones, cintas, anillos, empaquetaduras.	Empaquetaduras
(6)a SBR (Hule estireno butadieno)	Alta resistencia al agua. NBR tiene alta resistencia a los aceites.	Listones, varillas, planchas planas, cintas, empaquetaduras, anillos, en formas elaboradas para cumplir con un propósito. Esponjas sólidas o celulares.	Waterstops, empaquetaduras en tuberías, aislantes y de separación en los conductos de servicio.
(6)b NBR (Hule nitrilo butadieno)			
(8)a Hule natural – curado (vulcanizado)	Alta resistencia al agua pero se deteriora cuando esta expuesto al aire o al sol. Baja resistencia a los aceites o solventes. Ahora son en gran parte reemplazados por los materiales sintéticos. Color negro.	Formas elaboradas para cumplir con un propósito.	Waterstops, empaquetaduras para tuberías. Sellos de tensión-compresión. Sellos de compresión.
(8)b EPDM			
(8)c Siliconas			
(9) Metálico (a) Cobre (b) Acero (inoxidable) (c) Plomo (d) Bronce	Para waterstops: (a) Dúctil y flexible, pero al trabajar a flexión se endurece y fractura. (b) Rígido, debe ser acanalado en V o U para acomodar cualquier movimiento y anclarse. (c) Deforma fácilmente pero es inelástico a la deformación bajo movimiento.	Tiras planas o preformadas. El plomo también se encuentra formando un pabulo o derretido.	(a) (b) Waterstops (c) Protección para los borde de las juntas en los pisos.
(10) caucho-bituminosos	Hule natural (8), Butilo (1), o Neopreno (3) asimilado en asfalto. Alta viscosidad, alguna elasticidad. Moldeable en el sitio.	Listones, varillas, planchas planas (tiras). Empaquetaduras cuando se use en (II-G y III-K)	Como una alternativa a los caucho-bituminosos termoplásticos (II-G y III-K), empaquetadura para las tuberías.

Nota.- Los materiales tipo (2) y (7) no son enunciados debido a que no son recomendados por el ACI para estructuras que soportan la presión de fluidos.

Cuadro 3.2. Algunos materiales utilizado como selladores preformados

Fuente: Report ACI Committee 504; "Guide to Sealing Joints in Concrete Structures"

Generalmente se elaboran tres formas básicas de selladores preformados. Su entretejido interno es casi similar pero se diferencian por la forma de sus superficies. Estas son de forma de V, W y de onda. El más común y con un amplio rango de tamaños es el sello preformado en forma de V. (Ver figura 3.6 y cuadro 3.3)

Su campo de aplicación está restringido a aquellas estructuras que soportan pequeñas presiones de fluido. En el caso específico de los canales, su utilización no es difundida debido a su alto costo de instalación.

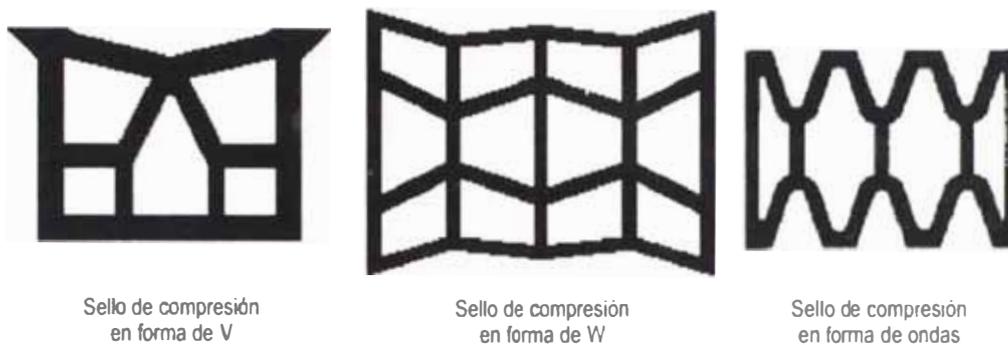


Figura 3.6. Tres de los varios tipos de sellos de compresión disponibles

Fuente: USACE; "Waterstops and other preformed joint materials for civil works structures"

Forma de la parte superior	Ancho nominal	Alto nominal	Movimiento Máximo
En forma de V	8 a 150 mm ($\frac{5}{16}$ a 6 pulg.)	16 a 141 mm ($\frac{5}{8}$ a $5\frac{5}{8}$ pulg.)	3.5 a 82.5 mm (0.14 a 3.25 pulg.)
En forma de W	31.5 a 150 mm ($1\frac{1}{4}$ a 6 pulg.)	31.5 a 141 mm ($1\frac{1}{4}$ a $5\frac{5}{8}$ pulg.)	12.5 a 75 mm (0.5 a 3 pulg.)
En forma de Ondas	50 a 150 mm (2 a 6 pulg.)	37.5 a 90 mm ($1\frac{1}{2}$ a $3\frac{1}{2}$ pulg.)	18 a 75 mm (0.7 a 3 pulg.)

Cuadro 3.3. Dimensiones de los sellos de compresión en existencia

Fuente: USACE; "Waterstops and other preformed joint materials for civil works structure"

VII. Waterstops

Los waterstops pueden ser metálicos y no metálicos. Mientras los waterstops metálicos son rígidos y elaborados con acero, cobre y ocasionalmente con plomo; los waterstops no metálicos están compuestos por hule natural, hules sintéticos y por PVC.

Waterstops metálicos

Los waterstops metálicos pueden ser utilizados en grandes represas o en proyectos de construcción de gran envergadura donde se requiere una mayor resistencia más que flexibilidad.

Entre los diferentes tipos de metales utilizados, el cobre es el material más utilizado como waterstop debido a su conocida durabilidad y alta resistencia a la corrosión. No obstante, como los waterstops deben de soportar continuas flexiones, extensiones y compresiones a causa de los movimientos que se producen en la junta, la habilidad del cobre para acomodar estos movimientos se ve limitada por su característica de endurecerse durante un largo periodo de trabajo. Más aún, la aplicación de una flexión continua sobre un waterstop de cobre producirá el endurecimiento y cristalización del cobre, lo cual puede resultar en fractura. Para evitar esto inconvenientes se deben de tomar en cuenta sus propiedades al momento de realizar el diseño de la junta, la selección del waterstop y la fabricación del material con un apropiado tratamiento.

Waterstops no metálicos

Este tipo de waterstop provee flexibilidad en vez de resistencia y debe de poseer una buena extensibilidad, buena recuperación, resistencia química y resistencia a la fatiga.

(i) Hule natural. *Aun cuando está establecido el hecho que el hule se deteriora cuando es expuesto al aire o a la luz del sol, se ha determinado que debido a las condiciones a las cuales es sujeto el hule dentro del concreto, se puede esperar que este tenga una vida útil muy extensa.*

El hule natural es un material compuesto que es producido de tal forma que posee la mayoría de las propiedades requeridas por un waterstop. Su comportamiento elástico es apropiado y su flexibilidad asegura que se mantendrá un estrecho contacto entre los puntos de anclaje con el concreto con la finalidad de obtener un efectivo sellado. Además, aunque no debe ser expuesto a los aceites ni a los solventes orgánicos, la resistencia química que tiene el hule natural lo hace adecuado para la mayoría de las aplicaciones. Los waterstops de hule tienen la habilidad de acomodar los asentamientos diferenciales de las secciones de concreto adyacentes. Su instalación es relativamente simple debido a la facilidad con que pueden ser doblados y las intersecciones pueden ser vulcanizadas in situ mediante la utilización del equipo provisto por el fabricante.

(ii) Hules sintéticos. *Los hules sintéticos (butilo, neopreno, entre otros) presentan las mismas propiedades que los hules: poseen una alta extensibilidad, una alta resistencia al agua y a la mayoría de los químicos y además, pueden ser formulados para tener una rápida recuperación y una buena resistencia a la fatiga. Su principal ventaja frente al uso de los hules naturales es la resistencia que tienen a la oxidación y al envejecimiento y a la resistencia a los aceites y solventes orgánicos. Siendo vulcanizados, los waterstops de hule sintético son empalmados de la misma manera que los de hule natural y por lo tanto, son menos convenientes que los termoplásticos (waterstops de PVC).*

(iii) PVC. *Este material es fácilmente manipulable y puede ser moldeado con una alta precisión. Aunque no son tan elásticos como los hules, su recuperación es más lenta frente a la deformación y son susceptibles a los aceites, este material puede ser formulado a diferentes grados de flexibilidad, lo cual es importante a bajas temperaturas. El PVC es el material para waterstop de mayor uso y tiene la principal ventaja de ser un material termoplástico, siendo fácilmente empalmado en la zona de trabajo mediante un simple tratamiento de calor y siendo factible para cualquier tipo de configuración.*

Los waterstops no metálicos son fabricados en una gran variedad de formas y tamaños como es ilustrado en la figura 3.7 e indicado en el cuadro 3.4.

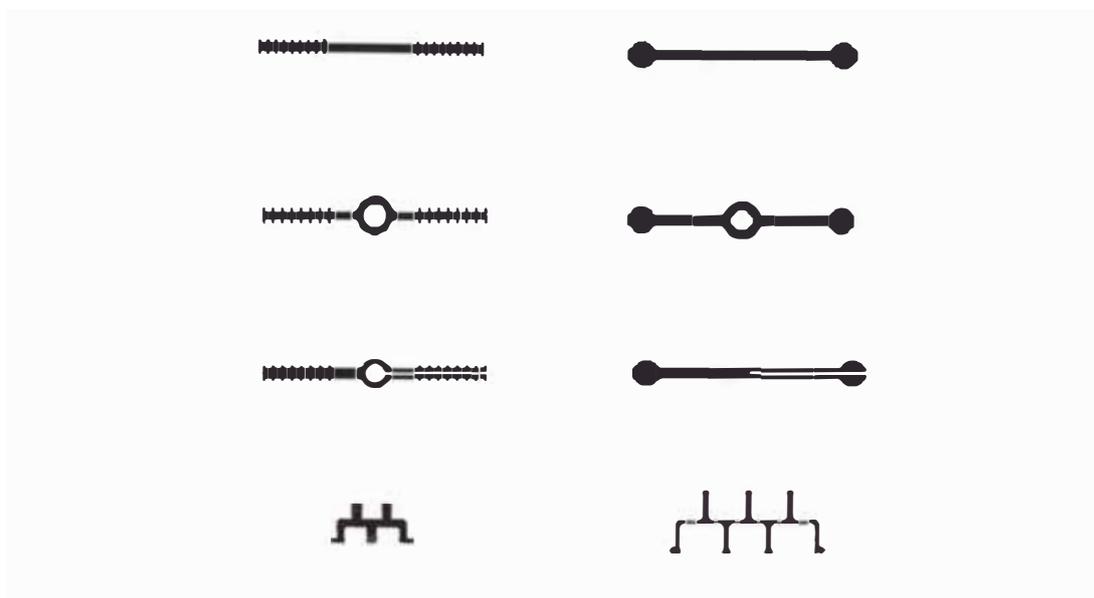


Figura 3.7. Varios tipos y formas de waterstops no metálicos

Fuente: USACE; "Waterstops and other preformed joint materials for civil works structures"

Forma	Grosor del ribete	Ancho global	Diámetro del Glóbulo
Plana	3.2 a 12.5 mm ($\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{2}$ pulg.)	100 a 225 mm (4 a 9 pulg.)	
Pesa	4.7 a 9.5 mm ($\frac{3}{16}$ a $\frac{3}{8}$ pulg.)	100 a 300 mm (4 a 12 pulg.)	9.5 a 25 mm ($\frac{3}{8}$ a 1 pulg.)
Glóbulo en el centro	3.2 a 12.5 mm ($\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{2}$ pulg.)	100 a 300 mm (4 a 12 pulg.)	6 a 70 mm ($\frac{1}{4}$ a $2\frac{3}{4}$ pulg.)
Laberinto	4.7 a 6.3 mm ($\frac{3}{16}$ a $\frac{1}{4}$ pulg.)	82 a 156 mm ($3\frac{1}{4}$ a $6\frac{1}{4}$ pulg.)	

Cuadro 3.4. Formas y dimensiones de los waterstops no metálicos en existencia

Fuente: USACE; "Waterstops and other preformed joint materials for civil works structures"

En la actualidad, los waterstops no metálicos son ampliamente empleados como el sistema principal de sellado para eliminar la pérdida del agua.

Estos son generalmente utilizados a través de juntas de expansión o contracción. Mientras que los de forma plana y los de forma de pesas pueden ser utilizados en juntas donde se espera que se produzca pequeños movimientos laterales; los que tienen un glóbulo en el centro son utilizados en las juntas donde se espera una cantidad significativa de movimiento lateral y transversal. A diferencia de los anteriores, los de forma de laberinto son diseñados para permanecer dentro de la junta en vez de estar extendido a través de esta y su aplicación se hace común en las juntas que son clasificadas como juntas no funcionales. (Ver figura 3.8)

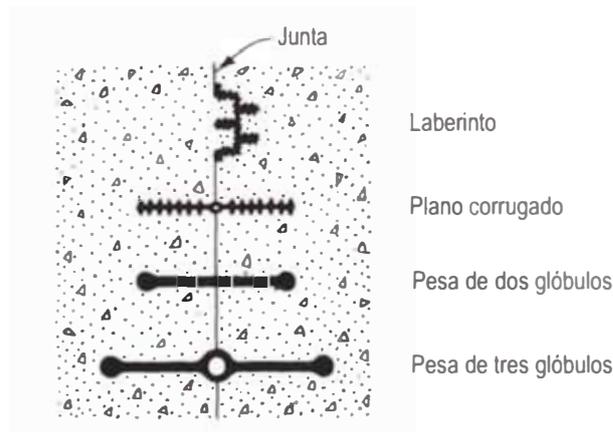


Figura 3.8. Ubicación de waterstops no metálicos en la junta

Fuente: HOFF y HOUSTON; "Nonmetallic Waterstops" en ACI Journal. Enero 1973

VIII. Empaquetaduras

Las empaquetaduras son comúnmente elaboradas con Hule o PVC y son utilizadas en las juntas que unen tuberías o conductos de servicio. La acción de sellado es obtenido mediante la compresión ejercida sobre el sellador entre las caras de la junta, como es el caso de los sellos de compresión o también mediante la adhesión del material a las

superficie en la junta cuando el material utilizado como empaquetadura es sensible a la presión, como es el caso del poliisobutileno.

IX. Misceláneos

En este grupo se consideran a aquellos materiales que se les puede dar uso en diversas aplicaciones. En el caso de las estructuras que soportan la presión de algún fluido, existen dos materiales a tomar en consideración: los caucho-bituminosos y el neopreno.

Los caucho-bituminosos pueden ser preformados o moldeados in situ. En el caso de los preformados, estos pueden ser utilizados como una alternativa en aquellas aplicaciones donde se usan los elaborados en campo. Además, pueden ser utilizados como material de empaquetadura para tuberías.

En el caso del neopreno, este material puede ser adicionalmente utilizado cuando se requiere el uso de sellos de tensión-compresión. Estos sellos se diferencian de los selladores preformados anteriormente mencionados debido a que pueden estar sujetos a tensión y compresión, ubicándose en juntas funcionales de superficie expuesta.

En el cuadro 3.5 se muestra un resumen del uso que se le puede dar a los materiales de los diferentes tipos de selladores enunciados de acuerdo a los diferentes tipos de estructuras que soportan la presión del fluido. Las letras y los números que se indican en este cuadro dan referencia a los materiales descritos anteriormente ya sea para los selladores moldeados in situ (letras) o los preformados (números). Estas relaciones se encuentran enunciados en los cuadros 3.1 y 3.2.

CAPITULO 4

DISEÑO DE JUNTAS

El diseño de la junta se realiza no sólo considerando los cambios volumétricos que se darán en el concreto sino que también tomando en cuenta las propiedades del sellador a utilizar. En el presente capítulo se expone el diseño general de las juntas en las estructuras de concreto en función de los movimientos que se dan en la junta, condicionando sus dimensiones a las propiedades del sellador a utilizar. También se expone como el espaciamiento y ubicación son condicionados por la configuración de la estructura.

4.1. Movimientos en la junta

La determinación con anticipación de los cambios de volumen que se pueden producir dentro de la estructura tendrá como propósito el tratar de eliminar sus efectos nocivos, mediante la utilización de juntas que acomoden los movimientos a producirse, siendo en concordancia con el diseño estructural y manteniendo la integridad estructural de las unidades adyacentes.

Sin embargo y debido a la necesidad de utilizar diferentes tipos de selladores, las propiedades físicas de estos imponen limitaciones específicas tanto en la forma de la junta como en los movimientos que pueden ser acomodados. Lo que es más aún, la determinación del origen, la naturaleza y la magnitud de los cambios de volumen que se pueden producir en un corto o largo periodo de tiempo se vuelve más difícil en estructuras más complejas, viéndose afectado el comportamiento del sellador (como se mostró en la sección 3.3.4) y complicando más la adecuada determinación de la ubicación de las juntas.

Por lo tanto, la experiencia jugará un papel muy importante en el diseño de una junta que funcione satisfactoriamente; siendo pertinente resaltar que, luego de varios años de

experiencia tratando de mantener las juntas selladas, se ha determinado que los movimientos que se producen durante el servicio pueden variar en gran magnitud con respecto a los postulados sólo teóricamente.

4.2. El espaciamiento entre juntas

El espaciamiento entre juntas debe variar de acuerdo a los esfuerzos que pueden desarrollarse en las estructuras de concreto. Como se ha mencionado con anterioridad, estos esfuerzos dependen de dos factores: del grado de exposición de la estructura y de la restricción a la que es sometida sus miembros debido a su construcción o a su posición con respecto a otras partes de la estructura y al material que le sirve de apoyo. Es por esta razón que el espaciamiento entre juntas es considerado en función del tipo de estructura, de las condiciones de exposición y del método de construcción.

En las obras hidráulicas, las superficies de las estructuras de concreto se encuentran generalmente expuestas a la presión del agua. Esta presión puede ser debida solamente a la carga de presión estática del agua o al conjunto de ésta más la presión ejercida por el movimiento del agua. Como la función de estas estructuras es retener el agua, la selección del espaciamiento entre juntas se debe de realizar con un especial cuidado. Es esencial el prevenir el desarrollo de grietas por los cuales el agua bajo presión pueda penetrar hasta el refuerzo o llegue a atravesar la estructura.

Tomando en cuenta solamente las condiciones de exposición, en una estructura hidráulica se presentarán movimientos en menor magnitud que en otros tipos de estructura. Esto es producto del aislamiento en contra de las variaciones climáticas a la que es sometido este tipo de estructura debido a dos factores: por el agua que contienen y, por el material utilizado como relleno y que es depositado en contra de las paredes de la estructura o, en el caso de las estructuras cubiertas, sobre el techo.

Si se considerará solamente los movimientos que pudieran ocurrir mientras una estructura hidráulica se encuentra en servicio, se podría suponer que no existe una verdadera necesidad de proveer de juntas a dichas estructuras. Sin embargo, debido a que su proceso de construcción dura varios meses, durante este periodo de tiempo estas estructuras se encuentran expuestas al medio ambiente. Es en este intervalo de tiempo en que se pueden producir las grietas debido a la retracción y a las contracciones y expansiones producto de los cambios térmicos. Si no se hace uso de las juntas para acomodar estos movimientos, los planos de debilidad que comúnmente existen en las juntas de construcción se fracturarían, empezando a funcionar estas juntas como juntas funcionales.

Entonces, a menos que algunas medidas de precaución hayan sido tomadas de tal forma que se sellen estas juntas durante el proceso de construcción de la estructura, estas se convertirán en un camino de fácil acceso por donde el agua discurrirá a través de la estructura luego que ésta se ponga en funcionamiento.

Por otro lado, la adecuada selección de los tipos de junta a utilizar en las estructuras hidráulicas ira de acuerdo a sus características estructurales de cada tipo de estructura. Esto implica diferenciar a las estructuras diseñadas monolíticamente del resto de estructuras, ya sea de concreto masivo o de concreto armado pero sin un diseño monolítico. Los espacios, que se sugerirán más adelante, entre las juntas diseñadas en estructuras hidráulicas deben de dar resultados satisfactorios bajo las condiciones de construcción y servicio de canales, de conductos y de todas aquellas estructuras que se encuentran en continuo uso. En el caso de los canales de alivio de avenidas, de los muros de retención, entre otras estructuras que contienen y transportan el agua sólo periódicamente, se pueden requerir espaciamientos menores con el fin de acomodar movimientos mayores y más rápidos que puedan ocurrir debido a las condiciones de exposición completa a las que son sometidas estas estructuras.

Por último, se debe de considerar que las juntas de construcción son provistas para facilitar o hacer posible la construcción de la estructura. Su espaciamiento se determina en función del tipo de trabajo, de las condiciones del sitio, de la capacidad de producción de

la planta o de la cantidad de obreros empleados. Es por esta razón que la determinación de la necesidad de utilizar juntas de construcción durante la etapa de diseño de la estructura es de suma importancia a fin de reducirlos al mínimo mediante el adecuado espaciamiento de las juntas funcionales. Además, es muy importante que el espaciamiento de las juntas de construcción sea planeado de tal forma que estas juntas, mientras vayan en relación con la capacidad de producción, no sean ubicadas en zonas donde no puedan ser con truidas apropiadamente o en zonas indeseables debido a las condiciones de esfuerzo.

4.3. Determinación de la ubicación de las juntas

Cuando se necesite tomar una decisión respecto a la dimensión y a la posición de una junta, ya sea o no funcional, se debe de considerar los siguientes aspectos: la estabilidad de la estructura, los requerimientos funcionales del sellador, el tipo de material conforme a estos requerimientos y, la apariencia final de la junta en la estructura.

En general, las juntas deben ser ubicadas en lo lugares donde el esfuerzo cortante sea mínimo para que no se vea afectada la estabilidad estructural de cualquier tipo de estructura de concreto y tomando en cuenta también, la apariencia final de la estructura.

Con respecto a las juntas en las estructuras que soportan la presión del fluido, estas pueden ser ubicadas ya sea como continuos cortes a lo largo de la estructura o aislando el techo y el piso de los muros. En ambos métodos, se debe de evitar la colocación de las juntas en las esquinas de los muros a fin de procurar una estabilidad estructural y facilitar la instalación del sellador. Además, las juntas en los techos y pisos deben de seguir un sólo sentido (no zigzagueante), ya que de lo contrario se desarrollarían restricciones entre los elementos adyacentes, pudiendo resultar en la aparición de fisuras. Adicionalmente, la habilidad que poseen los selladores preformados para conformar las curvas horizontales y verticales influenciará a menudo en la selección de la ubicación de las juntas.

4.4. La dimensión de la junta

La dimensión de la junta se establece en función no sólo de los movimientos que se esperan se den lugar en la junta, sino que también del tipo de sellador y del material disponible que pueda soportar dichos movimientos anticipados. Esto implica la necesidad de determinar el tamaño del sellador de acuerdo al material y a las deformaciones y esfuerzos a los que será sometido; tal que, la aplicabilidad del material más adecuado se establecerá según sus propiedades y su costo.

4.4.1. El tamaño de la junta con un sellador moldeado in-situ

Una consideración adicional se debe tomar en cuenta al momento de dimensionar una junta cuando el tipo de sellador empleado es aquel que sea moldeado in-situ. Esta es el factor de forma.

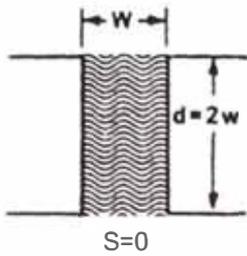
a) El factor de forma en los selladores moldeados in-situ

El factor forma se refiere a la relación entre la profundidad (espesor) del sellador con respecto a su ancho. Este factor tiene fundamental importancia en los selladores moldeados in-situ debido a que determinará la máxima deformación que se puede presentar en la superficie expuesta del sellador cuando este es sometido a compresión o expansión durante el cierre o la apertura de la junta.

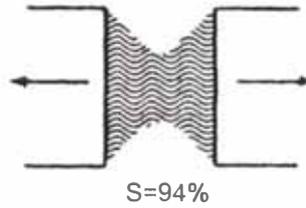
Como se puede ver en la figura 4.1 la máxima deformación elástica que se presentará en las superficies expuestas del sellador se dará lugar cuando la profundidad del sellador sea mayor con respecto al ancho del sellador en la junta.

1. Relación entre la profundidad y el ancho de la junta igual a 2:1

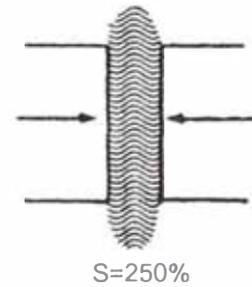
(A) Sellador instalado a un ancho promedio



(B) Junta abierta

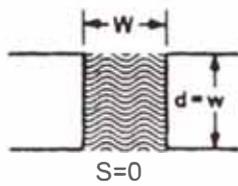


(C) Junta cerrada

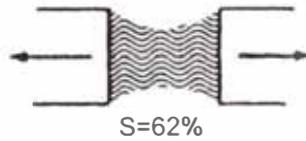


2. Relación entre la profundidad y el ancho de la junta igual a 1:1

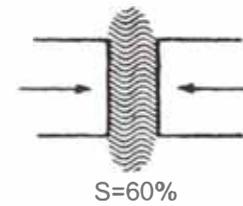
(A) Sellador instalado a un ancho promedio



(B) Junta abierta

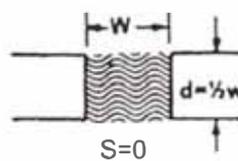


(C) Junta cerrada

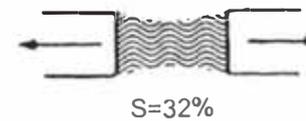


3. Relación entre la profundidad y el ancho de la junta igual a 1:2

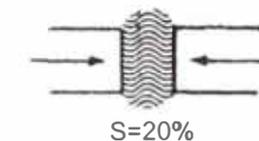
(A) Sellador instalado a un ancho promedio



(B) Junta abierta



(C) Junta cerrada



Nota 1 - S es la máxima deformación que ocurre en la superficie expuesta del sellador
 Nota 2 - Se asume que el sellador se expande y se contrae la mitad del ancho instalado.

Figura 4.1. El Factor de forma en los selladores moldeados in situ

Fuente: ACI, "504R: Guide to Sealing Joints in Concrete Structures"

Entonces se puede concluir que incrementando el ancho y reduciendo la profundidad del sellador se reducirán las deformaciones y por ende, se mejorará el rendimiento del sellador y además, se disminuirá la cantidad de sellador requerido, disminuyendo el costo que significa su adición en la junta.

Teóricamente se puede considerar que el factor de forma más provechoso es aquel cuya relación es de 1:2 o sino de 1:1. Pero debido a que se debe de dar una superficie en las caras laterales de la junta lo suficientemente grande para acomodar los esfuerzos de adhesión (unión), en algunas aplicaciones e considera más provechoso el empleo de un factor de forma de 3:2. Adicionalmente, el fabricante del sellador puede indicar el factor de forma más indicado para su producto.

b) Determinación del ancho de la junta con un sellador moldeado in-situ

El tamaño del sellador moldeado in-situ será determinado de acuerdo a la deformación máxima que puede soportar el sellador cuando este realice el acomodo del movimiento que se da lugar en la junta. Este movimiento será parte del movimiento total que se dará lugar, siendo la diferencia entre el ancho de la junta en el momento en que el sellador es instalado y el ancho de la junta cuando este se encuentra a su máxima abertura.

Adicionalmente se debe considerar que aún cuando la diferencia de temperatura que se presentan entre el momento en que el sellador es instalado y cuando se produce la máxima abertura de la junta será el factor que tendrá mayor influencia sobre la extensión del sellador, también la retracción impondrá una adicional extensión ya que luego de dar e origen, su aplicación continuará con el transcurso del tiempo.

En general, para poder determinar la capacidad que tiene el material del sellador para expandirse o contraerse, se puede utilizar de manera práctica los datos dado en el cuadro 3.1, donde se muestra los porcentajes de extensión-compresión permitidos por cada tipo de material. Este porcentaje de extensión-compresión es aquel que muestra el incremento o la

reducción a la que puede ser sometido con seguridad el sellador moldeado in-situ cuando la junta se abre o se cierra.

Entonces, la determinación del ancho del sellador se puede realizar mediante un simple cálculo de tal forma que en servicio, el rango de extensión-compresión permisible no sea excedido. En el cálculo deberá tener en cuenta la temperatura que se espera se de lugar durante la elaboración de la junta, la temperatura al momento de realizar la instalación del sellador, las expansiones adicionales que se darán lugar debido a la retracción, las temperaturas extremas que se presentarán durante el servicio, y las restricciones debido a las propiedades del material a utilizar.

Como la temperatura de instalación no puede ser determinada o especificada cuando se realiza el diseño del ancho de la junta, lo que se puede hacer es especificar la instalación dentro de un rango de temperaturas. Las variaciones de temperaturas se pueden determinar considerando que en las peores temperaturas de instalación, el sellador deberá seguir funcionando adecuadamente; esto quiere decir que, la temperatura más elevada del rango se utilizará para la extensión del sellador y la temperatura más baja para la compresión del sellador. El ACI ha determinado como un rango práctico de temperaturas para la instalación del sellador y aplicable para la mayoría de aplicaciones, desde 4°C a 32°C (40°F a 90°F). Esto es debido a que se ha establecido que la peor condición para la instalación del sellador se dará cuando este se realice a mayores temperaturas, ya que la tensión producida cuando la junta se abre debido al descenso de la temperatura es la peor condición a la que puede estar sujeto el sellador. (Ver índice 3.3.4.). Aún así, si por alguna razón fuera necesario realizar la instalación fuera de este rango, se deberá de modificar el diseño de la junta, aumentando su ancho, modificando su factor de forma o cambiando de material o de tipo de sellador de tal manera que se pueda asegurar la obtención de una mayor extensibilidad.

Por último, el rango de tamaños y la cantidad de movimiento también se encuentran limitados por el tipo de material utilizado. Así se tiene que:

El ancho mínimo de la junta para todo sellador moldeado in situ, según el ACI, debe de ser generalmente mayor o igual a 6 mm. ($\frac{1}{4}$ "). Esto es debido a la necesidad de contar con suficiente material en caso de que se presente una pérdida de material por extrusión o que se produzcan movimientos imprevistos durante el servicio.

El ancho máximo de la junta así como la cantidad de movimiento permisible dependerá si el material utilizado es una masilla, un sellador termoplástico o un sellador de fraguado térmico. Según el ACI, mientras que las masillas y los selladores termoplásticos pueden ser utilizados en juntas con un ancho máximo de 40 mm. ($1\frac{1}{2}$ "), teniendo un movimiento permisible máximo de 6 mm. ($\frac{1}{4}$ "); los selladores de fraguado térmico por curado químico pueden ser utilizados en juntas de hasta 100 mm. (4") de ancho y con movimientos del orden de 50 mm. (2"), aunque por motivos de economía y buen desempeño se hace más común utilizar juntas de menor ancho.

A continuación se realizará como ejemplo teórico demostrativo, el diseño del ancho de una junta con un sellador moldeado in-situ. (Sólo se ha considerado la contracción producto de las variaciones de temperatura.)

Datos:

Longitud efectiva: 16 m

Coefficiente de expansión: $11.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($6.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$)

Tipo de Sellador: Moldeado in-situ

Material del sellador: Sellador de fraguado térmico por curado químico

Rango de extensión-compresión: $\pm 25\%$

Rango de temperaturas en servicio: -29°C a 54°C (-20°F a 130°F)

Rango de temperaturas para instalación: 4°C a 32°C (40°F a 90°F)

➤ *Cálculo de las variaciones máximas de temperatura a la que puede estar sometido el sellador:*



Temperatura de instalación = 32°C: $\Delta T_{\max} = 32 - (-29) = 61^\circ\text{C}$

Temperatura de instalación = 4°C : $\Delta T_{\max} = 54 - 4 = 50^\circ\text{C}$

➤ *Cálculo de la máxima contracción del concreto:*

$$\Delta L_{\max} = L \cdot \alpha \cdot \Delta T_{\max}$$

$$\Delta L_{\max} = 16 \cdot (1000) \cdot (11.9 \cdot 10^{-6}) \cdot (61) = 11.6 \text{ mm}$$

➤ *Cálculo del ancho mínimo de la junta:*

$$\left. \begin{array}{l} 25\% \text{ ----- } 11.6 \text{ mm} \\ 100\% \text{ ----- } W_{\min} \end{array} \right\} W_{\min} = 11.6 \cdot \left(\frac{100}{25} \right) = 46.4 \text{ mm} \approx 1 \frac{7}{8}''$$

∴ El ancho mínimo de la junta será igual a 46 mm (1 7/8")

➤ *Cálculo del ancho máximo de la junta:*

$$W_{\max} = W_{\min} + \Delta L_{\max}$$

$$W_{\max} = 46.4 + 16 \cdot 1000 \cdot (11.9 \cdot 10^{-6}) \cdot (61) = 58 \text{ mm} \approx 2 \frac{1}{4}''$$

El ancho máximo de la junta será igual a 58 mm (2 1/4")

- *Determinación del ancho de junta de instalación del sellador si esta se ha proyectado realizar a los: 16°C (60°F)*

$$W_{inst} = W_{min} + \Delta L_{T(\max) \rightarrow T(inst)}$$

$$W_{inst} = 46.4 + 16 \cdot 1000 \cdot (11.9 \cdot 10^{-6}) \cdot (32 - 16) = 49.4 \text{ mm}$$

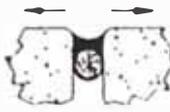
$$W_{inst} \approx 49 \text{ mm } (1\frac{15}{16} \text{ "})$$

Utilizando los anteriores procedimientos y condiciones se pueden elaborar un cuadro de gráficos que determine los anchos de juntas máximos, mínimos y de instalación en función de la longitud efectiva del elemento (cuadro 4.1). Con esto se puede llegar a determinar el ancho de junta más adecuado y sino, se podrá realizar un rediseño a fin de que los movimientos a acomodar sean tolerados por el sellador.

Similares gráficas se pueden elaborar para otros tipos de selladores en condiciones diferentes. Adicionalmente, algunos fabricantes de selladores publican gráficas o cuadros con el objeto de servir de ayuda para determinar el tamaño de junta más adecuado de acuerdo a las características de sus productos.

En el anterior procedimiento de diseño no se ha considerado la retracción de elemento. Esto presupone que los movimientos producto de la retracción que se vayan a producir en el elemento posteriormente a la instalación del sellador son de tal magnitud que se pueden despreciar. En el caso específico del diseño de una junta de expansión, se espera que los movimientos producto de la retracción sean absorbidos por las juntas de contracción. Pero si estos movimientos son de una considerable magnitud, se deben de tomar en cuenta durante el diseño de la junta.

A continuación se realizará el procedimiento de diseño de una junta de expansión tomando en consideración la retracción de los elementos adyacentes:

	<u>Luego de:</u>	<u>Ancho de la junta</u>	<u>Movimientos sobre el sellador</u>
	la elaboración de la junta	W_{junta}	-----
	la instalación del sellador	$W_{\text{junta}} + C_{\text{inst}}$	ΔL_T
	haberse producido gran parte de la retracción total	$W_{\text{junta}} + C_{t \rightarrow \infty}$	$\Delta L_T \pm \Delta L_c$

De lo anterior se determina que:

1. La cantidad de movimiento permisible por el sellador será aquel que incluya los movimientos producto de las variaciones de temperatura y de la retracción de los elementos desde el momento en que se instala el sellador.
2. El ancho del sellador será igual al ancho de la junta durante su elaboración más el movimiento producto de la retracción de los elementos desde la elaboración de la junta hasta el momento en que el sellador es instalado.

Sea:

$\Delta L_{T(\text{max})}$ = Movimiento máximo producto de las variaciones de temperatura

R_{inst} = Movimiento por retracción que se dará lugar en la junta desde su formación hasta la instalación del sellador

$R_{t \rightarrow \infty}$ = Máximo movimiento por retracción que se dará lugar en la junta

ΔL_R = Movimiento por retracción que soporta el sellador = $R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{inst}}$

k (%) = Rango de movimiento permisible por el material del sellador

W_{Junta} = Ancho de la junta

W_{Sellador} = Ancho del sellador

Entonces:

$$\Delta L_{\max} = \Delta L_{T(\max)} \mp \Delta L_R$$

$$W_{\text{sellador}} = W_{\text{junta}} + R_{\text{msl}}$$

El ancho mínimo de la junta durante la instalación del sellador:

$$W_{\text{sellador}(\min)} = \Delta L_{\max} \cdot \left(\frac{100}{k} \right)$$

$$W_{\text{junta}(\min)} + R_{\text{msl}} = \left(\Delta L_{T(\max)} \mp \Delta L_R \right) \cdot \left(\frac{100}{k} \right)$$

El ancho mínimo de la junta durante su elaboración:

$$W_{\text{junta}(\min)} = \left(\Delta L_{T(\max)} \mp (R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{msl}}) \right) \cdot \left(\frac{100}{k} \right) - R_{\text{msl}}$$

El ancho mínimo de la junta luego de haberse llevado a cabo la retracción:

$$W_{\text{junta}(\min), t \rightarrow \infty} = \left(\Delta L_{T(\max)} \mp (R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{msl}}) \right) \cdot \left(\frac{100}{k} \right) + (R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{msl}})$$

En función del tiempo se tiene que:

$$W_{\text{junta}(\min), t} = \left(\Delta L_{T(\max)} \mp (R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{msl}}) \right) \cdot \left(\frac{100}{k} \right) + (R_t - R_{\text{msl}})$$

Como la velocidad con que se produce la retracción disminuye con el tiempo, si el intervalo de tiempo entre el momento en que se forma la junta y el momento en que se instala el sellador es menor, mayor será el efecto que tendrá la retracción sobre el diseño de la junta.

c) Determinación de la forma de la junta con un sellador moldeado in-situ

Luego de haber e determinado el ancho de la junta, se debe de determinar la profundidad que debe tener el sellador con la finalidad que cuente con una adecuada forma. De acuerdo a lo establecido con anterioridad, los factores de forma más apropiados serán aquellos en donde el ancho sea mayor o igual a la profundidad del sellador (1:1 ó 1:2).

Entonces, para optar por la mejor opción, en cuanto rendimiento y economía, se debe de seleccionar aquel factor de forma cuya razón sea la más pequeña posible de tal manera que la máxima deformación permisible por el sellador no sea excedido y que la profundidad del sellador sea lo suficientemente grande para acomodar los esfuerzos de adhesión. Sin embargo y según el ACI, al determinar la profundidad del sellador, e te no debe de ser por lo general menor de 12.7 mm. ($\frac{1}{2}$ ") para evitar que el funcionamiento del sellador se vea afectado por el pasar de los años.

Luego, si la profundidad de la junta elaborada es mayor a la requerida por el sellador, la profundidad de este último será controlada mediante el adecuado uso de un material de relleno o de un material de respaldo. Además, puede ser necesario utilizar un interruptor de adhesión debajo del sellador para obtener un buen factor de forma.

4.4.2. El tamaño de la junta con un sello de compresión

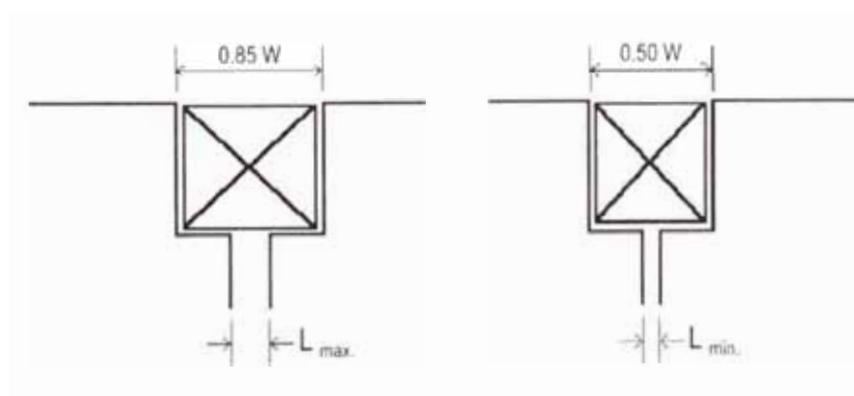
Los sellos de compresión son diseñados para ser comprimidos e insertados dentro de las juntas de expansión y contracción luego que el concreto ha endurecido; siendo necesario que ejerzan una constante presión de contacto sobre las caras de la junta, manteniendo un estado de compresión en todo momento, a fin de que tengan un adecuado comportamiento.

Se ha determinado que los sellos de compresión deben permanecer comprimidos por lo menos un 15% del ancho nominal del material luego que se haya producido la máxima

abertura de la junta, con el objeto de mantener la suficiente superficie de contacto para lograr un adecuado sellado y poder resistir el desplazamiento. Pero también estos deberán de ser comprimidos, generalmente, no más del 50% del tamaño nominal al momento de producirse el máximo cierre de la junta, de esta manera se evitará la sobre compresión; la cual no permitiría una recuperación total de la forma del material, originando la pérdida de presión de contacto al momento en que la junta se abriera. Entonces se tendrá que el movimiento permisible por los sellos de compresión es aproximadamente igual al 35 ó 40% del tamaño del sellador antes de su instalación.

Otra condición a tomar en cuenta son las dimensiones de los sellos disponibles. Los sellos de compresión están disponibles hasta un ancho de 150 mm. (6") y un alto de 140 mm. (5½"), lo que permite un máximo movimiento permisible de 63 mm. (2½").

El método de diseño del ancho del sello de compresión es similar al realizado para los selladores moldeados in-situ, tal que la peor condición sobre el sello se da cuando la junta se abre completamente a la más baja temperatura. El tamaño nominal del sello se obtiene de acuerdo a lo siguiente:



Sea:

W = El ancho nominal del sello de compresión

Rango de Compresión del material: [15%, 50%]

Entonces: $L_{\max} - L_{\min} = 0.85W - 0.50W = 0.35W$

$$W = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{0.35}$$

A continuación se realizará como ejemplo teórico demostrativo, el diseño del ancho de una junta con un sello de compresión. (Sólo se ha considerado la contracción producto de las variaciones de temperatura.)

Datos:

Longitud efectiva: 24 m

Coefficiente de expansión: $11.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($6.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$)

Rango de temperaturas en servicio: -29°C a 54°C (-20°F a 130°F)

Tipo de Sellador: Sello de compresión

Rango de Compresión del material: 15% a 50%

Ancho nominales estándar del sello: $\frac{1}{16}$ " , $\frac{3}{16}$ " , 1" , $1\frac{1}{4}$ " , $1\frac{5}{8}$ " , $1\frac{3}{4}$ " , 2" , $2\frac{1}{4}$ " , $2\frac{1}{2}$ " , 3" , $3\frac{1}{2}$ " , 4" , $4\frac{1}{2}$ " , 5" , $5\frac{1}{2}$ " , 6"

➤ Cálculo de la máxima contracción del concreto:

$$\Delta L_{\max} = L \cdot \alpha \cdot \Delta T_{\max}$$

$$\Delta L_{\max} = 24 \cdot (1000) \cdot (11.9 \cdot 10^{-6}) \cdot (54 - (-29)) = 23.7 \text{ mm}$$

➤ Cálculo del ancho nominal estándar del sello:

$$W = \frac{\Delta L_{\max}}{(0.85 - 0.5)} = \frac{23.7}{0.35} = 67.7 \text{ mm} = 2\frac{5}{8} \text{''} \rightarrow 3 \text{''}$$

El ancho nominal estándar del sello será igual a 3''

- Cálculo del ancho máximo y mínimo de la junta:

$$W_{\max} = 0.85W_n = 0.85 \cdot (3") = 2\frac{9}{16}" \approx 65 \text{ mm}$$

$$W_{\min} = 0.50W_n = 0.50 \cdot (3") = 1\frac{1}{2}" \approx 38 \text{ mm}$$

∴ El ancho máximo y mínimo serán iguales a 65 y 38 mm. ($2\frac{9}{16}"$ y $1\frac{1}{2}"$)

- Determinación del ancho de junta de instalación del sellador si esta se ha proyectado realizar a los: 18°C (65°F)

$$W_{\text{inst}} = W_{\min} + \frac{(W_{\max} - W_{\min})}{\Delta T_{\max}} \cdot \Delta T_{(\max) \rightarrow (\text{inst})}$$

$$W_{\text{inst}} = 38 + \frac{(65 - 38)}{83} \cdot (54 - 18) = 49.7 \text{ mm}$$

∴ $W_{\text{inst}} \approx 50 \text{ mm}$ ($1\frac{15}{16}"$)

Así, como el caso del diseño de la junta con selladores moldeados in-situ, se pueden elaborar tablas de acuerdo a las condiciones y a las características del sello (cuadro 4.2). Adicionalmente para productos específicos, algunos fabricantes tienen disponibles tablas de acuerdo al tamaño y a una determinada aplicación.

Por otro lado, aún cuando los sellos de compresión son instalados utilizando adhesivos lubricantes, facilitando su instalación y adhiriéndose a las caras de las juntas, estos no son diseñados para resistir esfuerzos de tensión, por lo que se debe tomar en cuenta durante el diseño las posibles contracciones que puedan ocurrir en los elementos de concreto adyacentes a la junta.

Además, como el sellador se encuentran siempre en compresión, este cambiará su forma de acuerdo a como la junta se abra o se cierre, por lo que se deberá de tomar en cuenta un espacio adicional en la junta para que se permita al material ocupar esta zona cuando se flexione, lo que normalmente ocurre hacia el interior de la junta.

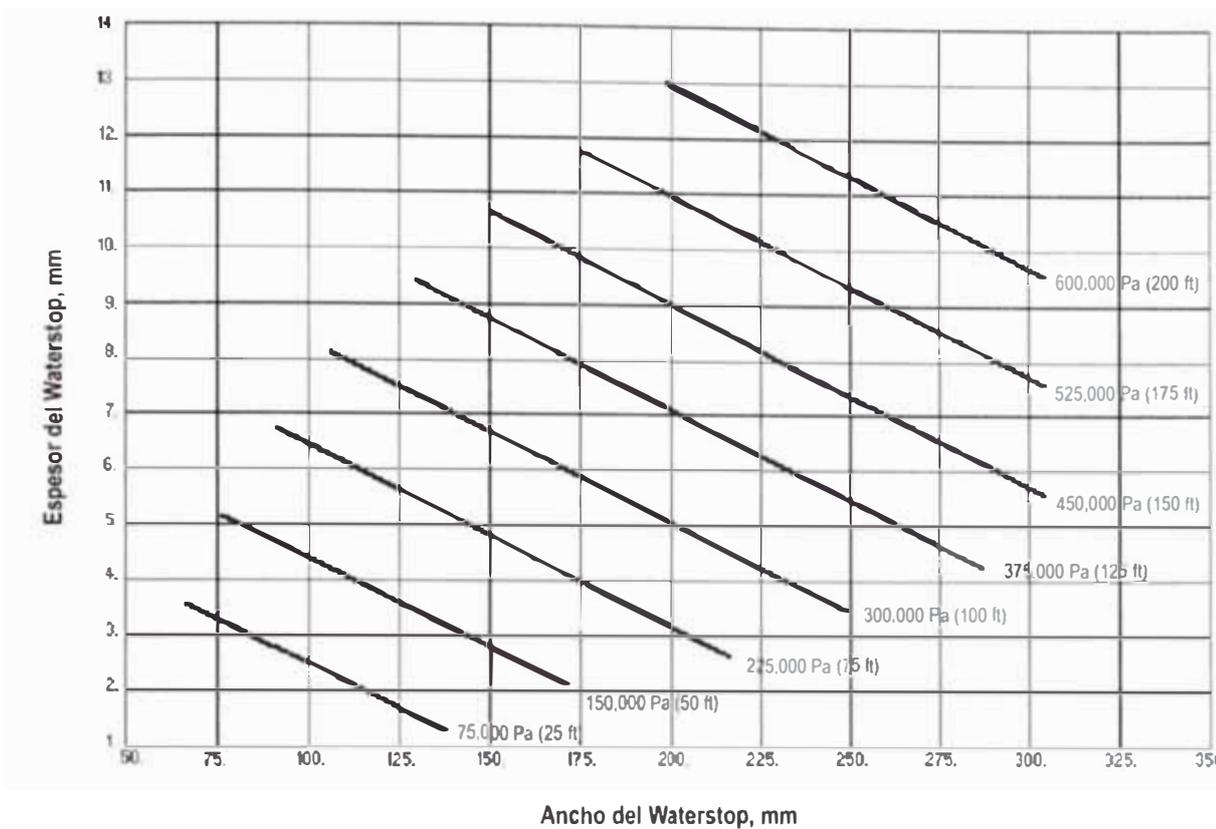
4.4.3. Forma y tamaño del waterstop

Los waterstop son diseñados para soportar las presiones del agua que se esperan se produzcan continuamente o en forma cíclica debido a los cambios de nivel y de presión en las estructuras hidráulicas.

Para realizar la selección del tipo de waterstop a utilizar en una estructura en particular, se debe tomar en cuenta que este debe ser adecuado para acomodar las condiciones que se encontrarán en servicio, debe utilizar las propiedades del material del cual ha sido elaborado para sacarle el mejor provecho, y debe ser lo más simple posible a fin de facilitar su instalación.

Estudios realizados han determinado varios requerimientos mínimos para el adecuado desempeño de este tipo de sellador. Por ejemplo, los materiales para waterstop deben tener una resistencia a la tensión de por lo menos 9.65 MPa (para waterstops plásticos) o de 13.79 MPa (para waterstops de hule), deben tener la habilidad de alargarse un 280% (para waterstops plásticos) o 360% (para waterstops de hule) y además, deben de mantener sus otras propiedades luego de haber estado sometidos a exposiciones térmicas y químicas.

La selección del waterstop no metálico se basa en gran parte en consideraciones hidrostáticas. Un ejemplo de esto se da mediante el uso del cuadro 4.3, donde la determinación del espesor y ancho del waterstop no metálico, en este caso de PVC, se realiza en función de la presión hidrostática.



Cuadro 4.3. Dimensiones del Waterstop de PVC vs. Carga de Presión Hidrostática del Agua

Fuente: USACE: "Waterstops and Other Preformed Joint Materials for Civil Works Structures"

Entonces, si se diseña una presa para que soporte 300 KPa (100 pies de agua) de carga de presión de agua hidrostática, se requerirá un waterstop de PVC que tenga 250mm (10 pulgadas) de ancho y sólo 4 mm (0.16 pulgadas) de espesor o sino, un waterstop de PVC que tenga sólo 120 mm (4.7 pulgadas) de ancho y 8 mm (0.32 pulgadas) de espesor. Existe un amplio rango de dimensiones de waterstops que pueden ser utilizados para una sola carga de presión.

Este cuadro sólo puede ser utilizado como una guía general para el diseño y selección de los waterstops de PVC. Como su relación representa un valor promedio de la variedad de presiones hidrostáticas que soportan los waterstops de PVC de diferentes tamaños, sus resultados no son afectados por las pequeñas y sutiles variaciones de configuración en cada waterstop.

Ciertos tamaños de waterstops son utilizados con mayor frecuencia que otros. Ya sea por referencia a anteriores diseños o por un constante uso, se especifica comúnmente la utilización de waterstops de 150 mm (6 pulgadas) o 225 mm (9 pulgadas) de ancho. De este modo la producción, la disponibilidad y el uso corriente se han convertido en un ciclo continuo en los requerimientos de diseño para los waterstops no metálicos.

Aun así, se debe de considerar varios factores al momento de determinar el tipo y la forma del waterstop a utilizar. Toda estructura hidráulica que soporta grandes presiones de agua, requiere la utilización de waterstops en todas sus juntas, ya sean funcionales o no. Los movimientos laterales que se esperan se den lugar en las juntas de los muros determinarán el tipo de waterstop a ser utilizado. Los movimientos verticales anticipados determinarán la forma del waterstop. La carga de presión hidrostática esperada determinará el espesor y el ancho del waterstop. La cantidad permisible de agua que se espera migre a través de la junta determinará el tipo y la forma del waterstop a seleccionar. El tamaño de la abertura de la junta determinará la configuración a utilizar. Además, la determinación del waterstop será afectado por las condiciones de exposición y manipuleo a la que se verá sometido durante la construcción. Mientras que la exposición del waterstop en la zona de trabajo antes que ambos lados del mismo sean embebidos dentro del concreto determinará el material y las dimensiones del waterstop a utilizar, las técnicas de manipuleo así como los procedimientos a emplear determinarán la selección del waterstop.

Por último, aún cuando se presente diferentes alternativas durante el diseño de un waterstop, se pueden establecer ciertas limitaciones con respecto al tamaño y al sitio de instalación en función de las características de la estructura. Esto resulta importante debido a que el empleo de un tamaño equivocado en un sitio erróneo, en vez de ayudar a dar solución a un problema, puede crear otro. Por ejemplo, si se emplea un waterstop cuyas dimensiones exceden el máximo permitido, este puede crear zonas de falla en el concreto, provocando fisuras por donde puede penetrar o salir el agua.

Entonces, las siguientes reglas empíricas se pueden utilizar para escoger el tamaño más adecuado y el sitio correcto de instalación:

1. *Ancho Máximo: El ancho del waterstop no debe ser mayor al espesor del elemento de concreto en que éste será colocado.*
2. *Ancho Mínimo: Para lograr un anclaje correcto dentro del concreto, el ancho del waterstop no debe ser menor a seis veces el tamaño del agregado máximo más el ancho de la misma junta. Adicionalmente, algunos fabricantes consideran que el ancho del waterstop no debe ser menor de 140 mm. (5 1/2").*
3. *La distancia de la superficie del concreto en contacto con el agua al punto donde el waterstop será colocado no debe ser menor a la mitad del ancho del waterstop.*
4. *La distancia mínima entre el acero de refuerzo en el concreto y el waterstop debe ser dos veces el tamaño del agregado máximo.*

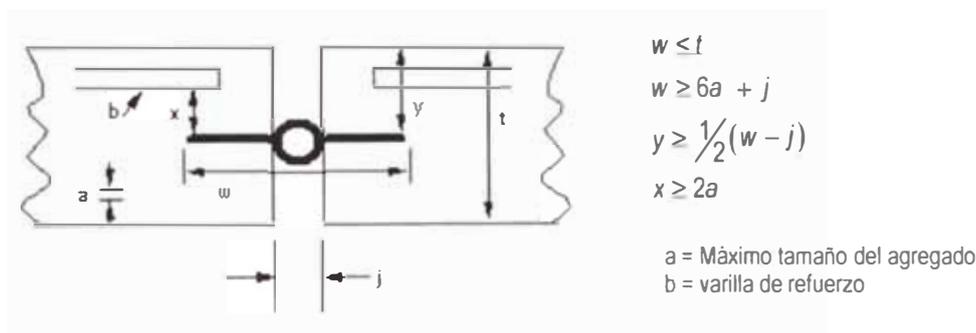


Figura 4.2. Reglas empíricas para la selección del tamaño más adecuado y del sitio correcto de instalación del waterstop.

Las juntas en obras de riego se caracterizan por tener como objetivo no sólo controlar la aparición de fisuras sino que también contar con un sellador capaz de soportar la presión del agua, evitando la pérdida de la misma por las juntas. El presente capítulo expone un breve estudio del diseño de juntas para estructuras hidráulicas, en especial el estudio de las juntas en obras de riego, específicamente en canales y estructuras anexas, tomando como ejemplos demostrativos aquellas estructuras construidas en diferentes proyectos del país.

5.1. Detalles generales del diseño de juntas para estructuras hidráulicas

En las obras hidráulicas, el diseño y la construcción de las juntas pueden llegar a ser de gran importancia en la obtención de un satisfactorio rendimiento de la estructura. Un pobre diseño o un inadecuado espaciamiento de las juntas para aliviar los esfuerzos que se originarán en el concreto pueden producir un progresivo deterioro de la estructura, lo que eventualmente requerirá una parcial o completa reconstrucción.

A continuación se dará mención a los detalles generales de diseño de las juntas en las estructuras hidráulicas de acuerdo a dos tipos de estructura: Las estructuras de concreto masivo y las de concreto armado.

5.1.1. Estructuras de concreto masivo

El prevenir la aparición de fisuras debido a la diferencia de temperaturas generada internamente es de gran importancia en las estructuras de concreto masivo. Además de las

medidas preventivas indicadas en el capítulo 2, a las estructuras de concreto masivo se les deben de proveer de juntas, ubicadas y espaciadas adecuadamente, tal que se controle el agrietamiento al azar, se acomode los cambios volumétricos y se facilite la construcción.

a) Juntas de construcción

Las juntas de construcción horizontales o casi horizontales son colocadas para dividir la estructura en unidades convenientes a fin de realizar el trabajo de vaciado o para permitir la instalación de elementos embebidos. El espaciamiento de las juntas de construcción esta supeditado al tipo y tamaño de estructuras, además de la capacidad de producción de la planta de concreto, del clima prevalerte durante la construcción, por la programación de obras, y por los requerimientos adicionales de control de temperaturas.

Adicionalmente, el efecto de la retracción del concreto durante el fraguado es de particular importancia en las estructuras de concreto masivo, siendo usual la construcción de las estructuras mediante el sistema de paños alternados tal que se minimizan los efectos producidos por la retracción. El sistema de paños alternados consiste en la construcción intercalada de secciones de concreto tal que la construcción de las secciones faltantes, en los espacios dejados durante la elaboración de las primeras secciones, se realiza luego que la retracción inicial del concreto se haya dado lugar. Aunque se podría estar aumentando el número de juntas, con este método se reduce la magnitud de las expansiones sobre los materiales usados para sellar estas juntas, aliviando en cierta parte los requerimientos para realizar un adecuado sellado.

b) Juntas de contracción

Las estructuras de concreto masivo son construidas en bloques separados por juntas de contracción que controlan la formación de fisuras mientras que el concreto experimenta cambios volumétricos debido al proceso de secado e enfriamiento. La ubicación y el espaciamiento de estas juntas está generalmente gobernado por las característica física

de la estructura, por los estudios de temperatura realizados, por los métodos de colocación, por la probable capacidad de la planta mezcladora de concreto, y por el tipo de concreto ha ser utilizado. Un espaciamiento de 12 a 18 m. es recomendado por el ACI. Las juntas de contracción son generalmente construidas de tal forma que no haya adhesión entre los bloques de concreto separados por la junta.

Los waterstops deben ser colocados a una suficiente profundidad debajo de la cara en contacto con el agua para permitir la compactación con facilidad del concreto ubicado entre esta cara y el sellador. Como se ha mencionado en el capítulo anterior, se sugiere que la profundidad no sea menor que 3 veces el tamaño máximo del agregado o la mitad del waterstop, cualquiera que sea mayor. Cuando se utilizan juntas machihembradas, no se recomienda ubicar al waterstop dentro del machihembrado, mejores ubicaciones se muestran en las figuras 5.1a y 5.1c. Si es que se utilizan waterstops de cobre en los diseños de juntas, se recomienda incluir una o dos cavidades bajo el lugar donde la junta se intercepta con el waterstop a fin de proveer una o dos líneas de defensa mediante la aplicación de algún material compresible o bituminoso. Además, si es necesario, se instalará otro waterstop debajo de los anteriores a fin de prevenir el posible desplazamiento del material bituminoso hacia el exterior de la junta (Ver figura 5.1b).

c) Juntas de expansión

Por lo general, estas juntas no son provistas ya que irían en desmedro de la estabilidad estructural. La expansión en este tipo de estructuras son largamente compensada, por la retracción inicial y los esfuerzos que se puedan producir ayudarán a soportar la presión del agua. Algunas de las estructuras que puede requerir la utilización de juntas de expansión son los canales de alivio de avenidas u otras estructuras similares que puedan estar expuestas completamente a las condiciones atmosféricas por largos periodos de tiempo durante el verano.

La utilización de juntas de expansión machihembradas no tiene muchas ventajas. Estas junta son construidas con un material de relleno compresible de modo tal que cuando se produzca la aplicación de una considerable presión sobre el elemento, una considerable deflexión del concreto se daría lugar antes que la carga sea transferida desde una a la otra sección. Para evitar esto se recomienda elaborar el machihembrado con lados paralelos, como e muestra en la figura 5.1d o sino, realizar la implementación de un sistema de dowels a fin de que exista una transferencia de carga. Como en el caso de las juntas de contracción, se recomienda ubicar al waterstop fuera del machihembrado.

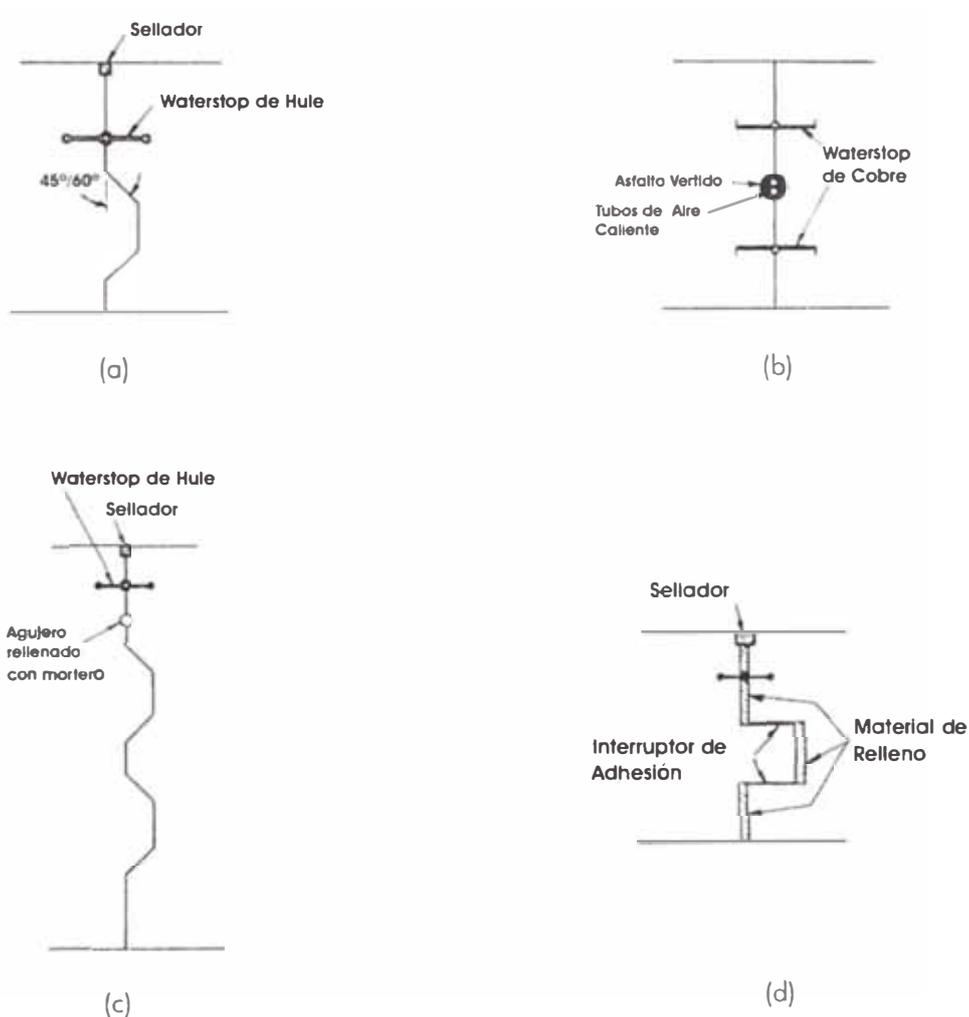


Figura 5.1. Detalles del diseño de juntas en estructuras de concreto masivo

Fuente: Critchell, Peter L.; "Joints and Cracks in Concrete"

5.1.2. Estructuras de concreto armado

Como la principal característica que debe cumplir este tipo de estructura es la impermeabilidad, su diseño se basa en un adecuado control de la calidad del concreto, en la resistencia del concreto y en el espaciamiento del acero de refuerzo. Con esto se controla la fisuras, se provee una buena resistencia a los químicos y se soporta una retracción menor en comparación al que se produce en un concreto típico. Esto último se debe a que la conducción constante del agua parará la retracción de concreto y hasta podrá, bajo ciertas condiciones climáticas, causar la expansión. Una breve explicación de este proceso se da en el capítulo 2.

Según el ACI, el método básico para controlar el tamaño y el espaciamiento de las fisuras en los muros se basa en el uso de una cuantía mínima igual a 0.0028. Este acero de refuerzo debe de estar dividido equitativamente entre ambas caras, no debe estar espaciado a más de 30 cm. y las barras no deben ser menores que el No. 4 (13 mm). En la figura 5.2 se muestra la relación entre la cuantía del acero de temperatura y el espaciamiento entre juntas que disipan la retracción del elemento.

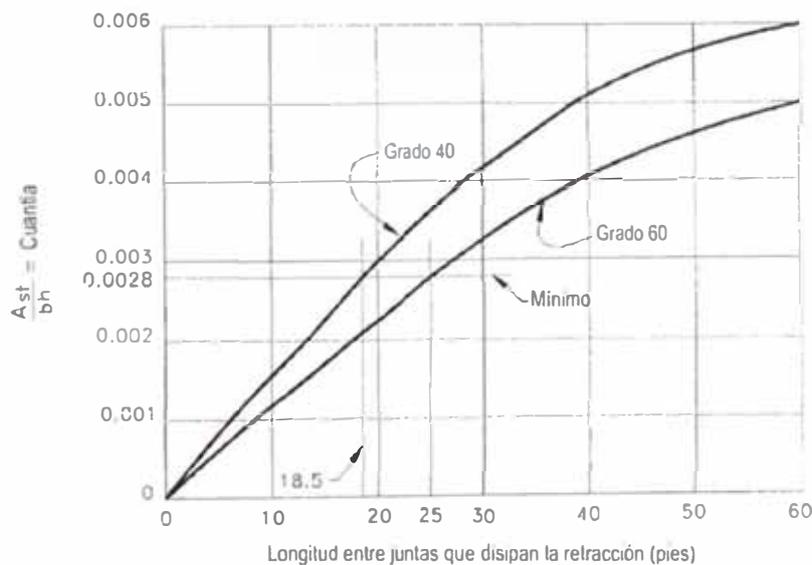


Figura 5.2. Refuerzo de temperatura y retracción para estructuras en ingeniería sanitaria

Fuente: Report ACI Committee 350; "Environmental Engineering Concrete Structures"

a) Juntas de expansión

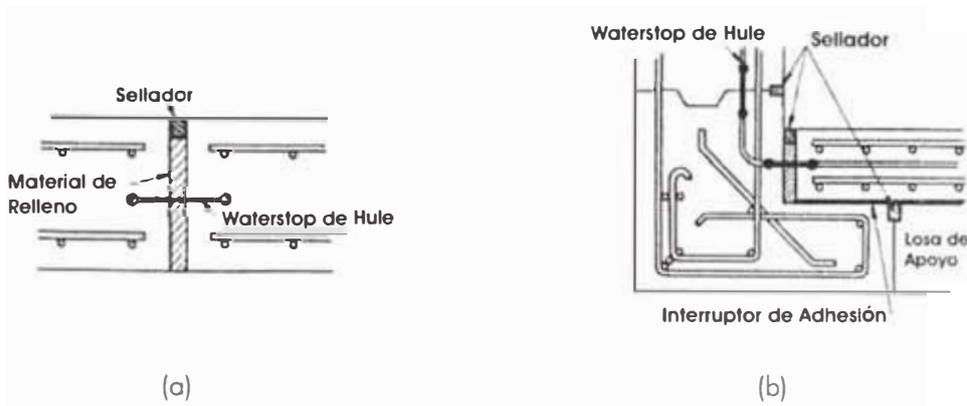
Estas juntas serán requeridas en aquellas partes de la estructura que se encuentran expuestas a las condiciones atmosféricas y en aquellas construidas sobre suelos cuyas propiedades de soporte son pobres o impredecibles; además, serán dispuestas cerca de los cambios abruptos en la configuración estructural. En general y según el ACI, el espaciamiento de juntas de expansión preferiblemente no debe exceder de 36.6 m. Si lo excediera, deberá de realizarse un especial estudio a fin de determinar los requerimientos de refuerzo y los detalles de las juntas de expansión.

Si sólo se espera que se experimenten movimientos producto de las condiciones atmosféricas, los diseños mostrados en la figura 5.3a, 5.3b y 5.3d son los más adecuados. Las principales características de estos diseños son las siguientes:

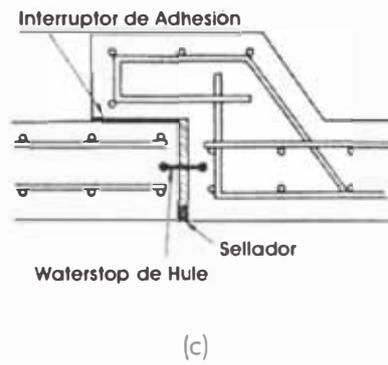
- Donde sea posible, la losa de piso debe descansar sobre la cimentación del muro y la losa de apoyo.*
- Los waterstops deben contar con un cierto grado de libertad provisto por un glóbulo en el centro a fin de incrementar su habilidad para acomodar el movimiento sin que se produzca una deformación permanente.*
- En la cara inferior de las juntas ubicadas en los techos no es necesario utilizar materiales de relleno o selladores. Esto elimina el arduo trabajo que significaría aplicar el sellador en estas juntas.*
- Si se espera que se produzcan movimientos debido a las propiedades del suelo, se recomienda utilizar waterstops de mayores dimensiones con un glóbulo en el centro, a menos que la configuración de la junta sea tal que permita la transferencia de carga, tal como se muestra en la figura 5.3c.*

En cualquiera de los casos, el ACI recomienda que el ancho mínimo del waterstop sea de 225 mm. (9") para una adecuada instalación dentro del concreto y su espesor de 9 a 12 mm. (de $\frac{3}{8}$ " a $\frac{1}{2}$ "). Entre los materiales disponibles para sellar las juntas en la superficie expuesta, el ACI recomienda el uso de los selladores elastómeros a base de poliuretano.

Detalles del diseño de juntas para pisos



Detalle del diseño de juntas para muros



Detalle del diseño de juntas para techos

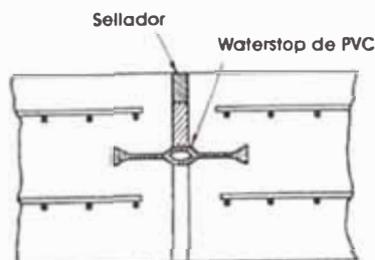


Figura 5.3 Detalles del diseño de juntas de expansión en estructuras de C°A°

Fuente: Critchell, Peter L.; "Joints and Cracks in Concrete"

Para el diseño de la junta se puede tomar como referencia las dimensiones recomendadas por el Ing. Rivera Feijóo indicadas en el siguiente cuadro:

Rango de temperatura	Espaciamiento entre juntas			
	12 m.	18 m.	24 m.	30 m.
Enterrado a 4°C	1/2"	3/4"	7/8"	1"
Parcialmente protegido sobre terreno a 27°C	3/4"	7/8"	1"	*
No protegido, como techos y losas	7/8"	1"	*	*

* No recomendado

Cuadro 5.1. Espesor de Juntas de Dilatación

Fuente: Rivera Feijóo, J.; "Diseño Estructural de Obras Hidráulicas" en El Ingeniero Civil N°116

b) Juntas de contracción

No existe una regla específica para la ubicación de las juntas de contracción. Cada estructura debe ser examinada individualmente para determinar el lugar donde la junta debe ser colocada. En general, el espaciamiento entre juntas de contracción no debe exceder los 9.1 m. a menos que sea provisto un refuerzo adicional.

Adicionalmente, el ACI propone las siguientes consideraciones:

- Para muros de 3 a 4 m. de altura con aberturas, el espaciamiento de las juntas de contracción deben de ser de 5 a 6.5 m. Muros sin aberturas o muros más altos pueden tener juntas espaciadas a 8.3 m. Para muros de menor tamaño, el espaciamiento entre juntas debe ser reducido.*
- Para muros de 3 a 4 m. de altura, las juntas se colocan desde la esquina del muro entre los 3 a 5 m. si es posible. Si el espaciamiento entre juntas es menor a 3 m. puede resultar en una excesiva deformación en la junta.*
- Se debe ubicar las juntas al borde de las aberturas, en los cambios de espesor del muro, o en los lugares donde es evidente la gran posibilidad de producirse una fisura vertical.*

Si la junta de contracción divide completamente la estructura, todo acero de refuerzo se termina a 50 mm. (2") antes de la junta. Las caras de concreto colindantes se recubren para impedir la adhesión.

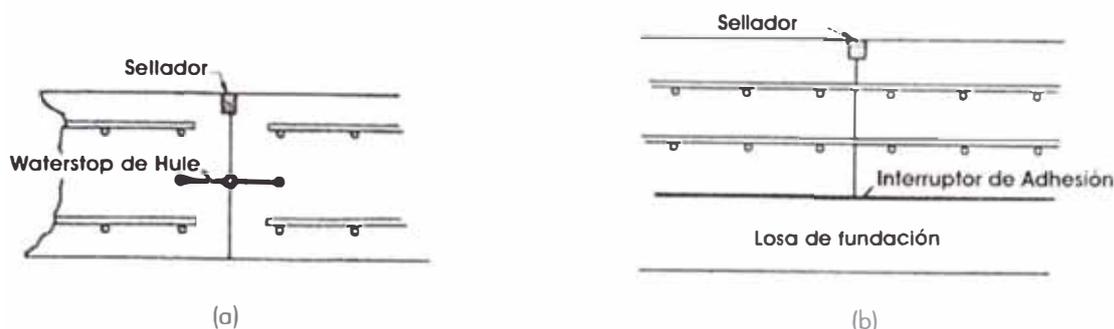
Detalles del diseño típico de la junta de contracción, ya sea en pisos o muros, se pueden observar en la figura 5.4a y 5.4c. Si estas juntas van a acomodar el pandeo debido a los cambios de volumen, se recomienda que el waterstop que cruza dichas juntas tenga un cierto grado de libertad. Esto es provisto mediante el uso de un waterstop que tenga un glóbulo central hueco.

Si se espera que se produzcan movimientos de considerable magnitud debido a las propiedades del suelo, el espaciamiento entre las juntas de expansión puede ser aproximadamente igual al máximo espaciamiento de las juntas de contracción: 9 m (30 pies), comportándose las juntas como combinadas: de expansión y contracción.

Cuando se requiere obtener una mayor estabilidad en la estructura mediante el u. o de una mayor cantidad de refuerzo, se debe optar por la utilización de juntas de contracción que dividan parcialmente a la estructura. Típicos detalles del diseño de juntas son mostrados en la figura 5.4b y 5.4d. Como el movimiento en estas juntas es restringido por el refuerzo, se espera que el movimiento a acomodar por el waterstop sea pequeño. El ACI recomienda lo siguiente: Por este tipo de junta debe pasar a lo más el 50% del acero de refuerzo de los muros sino se le considera como una junta de construcción. Entre los vaciados sucesivos, las superficies colindantes que conforman la junta serán recubiertas para evitar la adhesión. Y, si se elabora la junta mediante la utilización de matrices, se recomienda que la abertura tenga una profundidad igual al 20% del espesor del muro no siendo superior a 50 mm. (2").

En general, el ACI recomienda que los waterstops utilizados en juntas de contracción deban tener un ancho mínimo igual a 150 mm. (6") para una adecuada instalación dentro del concreto y un espesor de 9 a 12 mm. (de $\frac{3}{8}$ " a $\frac{1}{2}$ ").

Detalles del diseño de juntas para pisos



Detalles del diseño de juntas para muros

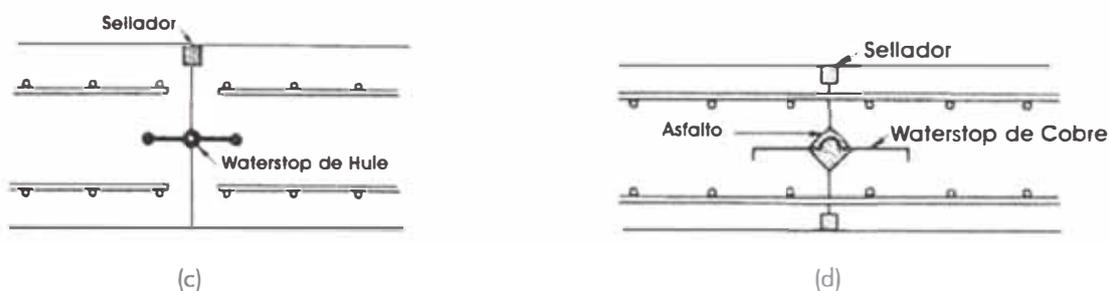


Figura 5.4 Detalles del diseño de juntas de contracción en estructuras de C°A°

Fuente: Critchell, Peter L.: "Joints and Cracks in Concrete"

c) Juntas de construcción

Las juntas de construcción se colocan en aquellas ubicaciones planeadas para las juntas de contracción y dilatación. Si no fuera el caso, este se sella como si fuera una junta de contracción, a menos que el plano de la junta se encuentre comprimido por pretensión. Las caras son elaboradas con cierta rugosidad a fin de mantener la impermeabilidad y la continuidad estructural.

La junta de construcción más común que es colocada entre capas sucesivas de concreto es similar al que se muestra en la figura 5.3b. El waterstop utilizado en este tipo de junta a de cumplir con las condiciones expuestas para los waterstops utilizado en las juntas de contracción que dividen parcialmente a la estructura.

5.2. *Canales trapezoidales*

Como el canal es una conducción sin presión cuyo objeto funcional es transportar el agua, este debe de cumplir con la condición de impermeabilidad a fin de reducir al mínimo las pérdida de conducción. Si se diera el caso en que el agua a ser transportada es escasa y costo a, siendo las características hidráulicas, mecánicas o físicas del terreno, desfavorables; se deberá de optar por el revestimiento del canal a fin de cumplir con esta condición.

Entre los materiales utilizados para revestir el canal, el más adecuado es el concreto ya que además de ser impermeable, es liso y resistente a la erosión del agua. Estas ventajas que ofrecen con respecto a otros materiales justifican su elevado costo. Más aún, si el diseño, la construcción y el mantenimiento se realizan como es debido, los revestimientos elaborados con concreto pueden prestar un buen servicio durante un promedio superior a los 40 años (Kraatz, D. B.; "Revestimiento de Canales de Riego", 1977). Además, los revestimientos de concreto son adecuados para canales grandes y pequeños y para velocidades altas y bajas. Cumplen prácticamente todos los fines que pueden pretenderse con un revestimiento y rara vez necesitan operaciones de mantenimiento costosas.

En beneficio de la impermeabilidad es conveniente que el revestimiento del canal sea continuo; pero tal revestimiento sin juntas no es factible ya que el fraguado del concreto, las variaciones de temperatura y los asientos del terreno tienen por consecuencia deformaciones y variaciones de longitud en el revestimiento que dan origen a grietas irregulares. Se puede argumentar que debido al transporte continuo del agua, no existe una verdadera necesidad de utilizar juntas ya que los canales no podrían sufrir retracciones, siendo las variaciones de temperaturas mínimas y llegando a tener una temperatura no menor a los 0°C. No obstante, cuando el canal no esta completamente lleno o durante los periodos de mantenimiento y reparación, partes del revestimiento estarán expuestos al medio ambiente. Debido a las restricciones ofrecidas por el suelo de apoyo, estas condiciones producirán una tensión que pueden re ultar, si es que no se utilizan juntas, en el agrietamiento del canal.

La mayoría de las grietas se pueden presentar en una dirección transversal al eje del canal; pero en canales anchos, las grietas puede aparecer longitudinalmente o en cualquier dirección.

Debido a que el uso de juntas disminuiría la impermeabilidad del revestimiento, mas la falta de su uso determinaría la aparición de grietas que producirían también la pérdida del agua, se debe optar por el uso de juntas que cuenten un sistema de sellado tal que permita las deformacione y movimientos del revestimiento y así mismo, no permita la pérdida del agua. Por lo tanto, estas juntas serán selladas como juntas de superficie expuesta.

Cuando nos referimos a los revestimientos de canales trapezoidales con concreto, se toma en consideración el uso de concreto simple. Adicionalmente existen otros tipos de revestimiento de concreto: los revestimientos de concreto armado, los revestimientos con concreto lanzado y los revestimientos con bloques de concreto prefabricados, cuyas aplicaciones están supeditadas a ciertos casos específicos.

5.2.1. Revestimientos de concreto simple

Los revestimientos de concreto simple son los más utilizados en los canales debido a sus bajos costos de construcción en comparación a los revestimientos de concreto armado, no existiendo una diferencia perceptible de eficiencia y duración. Aun cuando los revestimientos de concreto simple están más expuestos a daños por presiones hidrostáticas o de otra clase que actúen por debajo de ellos, esta desventaja no es tan grande que justifique la diferencia de costo.

El hecho de no llevar armadura da mayor libertad a la formación de fisuras, por lo que e hace necesario controlar la aparición de las mismas mediante el uso adecuado de juntas.

a) Juntas de expansión

Las juntas de expansión, conocidas también como juntas de dilatación, común y generalmente no son requeridas en los revestimientos de concreto, salvo que se encuentren en contacto con estructuras fijas o se hallen en otras condiciones extremas. Su utilización resulta inconveniente debido a que implica el aumento del riesgo de pérdida de agua.

Como las juntas de expansión son requeridas en aquellos lugares donde alguna estructura hidráulica (caída, conducto, puente, etc.) cruza o entra en contacto con el revestimiento; estas deberán extenderse por toda la sección del revestimiento, separando por completo el revestimiento de la estructura hidráulica y deberán contar con un ancho de gran amplitud. En este caso se deberá de instalar un adecuado sistema de sellado a fin de aminorar el riesgo de pérdida de agua.

b) Juntas de construcción

Las juntas de construcción se colocan en cualquier lugar donde el vaciado haya sido interrumpido y resumido con posterioridad por razones de avances o de programación de obras. En este tipo de juntas el concreto antiguo debe de conformar una sólida unión con el concreto fresco luego que el vaciado haya sido reasumido. Para obtener una adecuada adhesión, antes de que el vaciado sea reasumido, la superficie de la junta debe ser lavada meticulosamente de tierra o de otra suciedad mediante el uso de un potente chorro de agua para ser luego rociado con una mezcla de agua-cemento.

Es común que este tipo de junta sea combinada, de modo tal que una junta de construcción desempeñará también la función de una junta de contracción o dilatación.

En el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, se aplicó un procedimiento similar para elaborar la junta de construcción: Antes de reanudar los vaciados de las fases sucesivas de

reve timiento se tuvo que limpiar, cincelar perfectamente y humedecer la superficie de concreto ya endurecido. Este procedimiento es adecuado si se toma en consideración que se espera que la junta funcione también como una junta de contracción, diseñándola como tal.

c) Juntas de contracción transversales

Las juntas de contracción transversales se instalan con el objetivo de combatir el agrietamiento transversal debido a la retracción y a las contracciones térmicas. Su espaciamiento estará en función del espesor del revestimiento. El United States Bureau of Reclamation (USBR) recomienda el siguiente espaciamiento de este tipo de junta en los revestimientos de concreto simple:

<u>Espesor del revestimiento</u>	<u>Espaciamiento aprox. de las juntas</u>
5 cm. a 6.5 cm. (2" a 2.5")	3 m. (10')
7 cm. a 11.5 cm. (3" a 4.5")	3.5 m. a 4.5 m. (12' a 15')

También se puede considerar como la separación media igual a 50 veces el espesor del revestimiento.

Si se realiza la construcción del canal mediante el método de paños alternados, la ubicación de las juntas de construcción se hace coincidir con la ubicación de las juntas de contracción transversales. Echando el concreto en paños alternados a intervalos de unos siete días, se evita la mayor parte de los daños que puede ocasionar la retracción del concreto, y las juntas de construcción entre los paños impares y los pares sirven como juntas de dilatación.

Como ejemplo se tienen el procedimiento que se utiliza durante la construcción del canal principal en el Proyecto Especial ALTO MAYO y que se ilustra en las fotos CT-01 y CT-02. Teniendo el revestimiento un espesor de 7.5 cm., el espaciamiento de las juntas de contracción transversales es de 4 m.



Foto CT-01. Los diferentes tonos de color que tiene el concreto del revestimiento demuestran la construcción del canal en paños alternados. (Canal Principal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)



Foto CT-02. Revestimiento de dos paños separados a una distancia igual al ancho del paño. (Canal Principal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)

Adicionalmente es importante mencionar que en nuestro medio el espaciamiento de las juntas de contracción transversales se ha condicionado por la posibilidad de obtener un adecuado revestimiento. Esto se ve presenciado en la construcción del canal principal del Proyecto Especial RIO CACIII donde se ha determinado un menor espaciamiento entre las juntas debido a las restricciones que se imponen en la zona de influencia. Estas

restricciones son determinadas por las condiciones cambiantes del medio ambiente tales como precipitaciones, grandes cambios de temperatura y en especial la insolación; así como por la disponibilidad de los equipos, materiales y mano de obra calificada. Es así que teniendo el revestimiento un espesor de 7.5cm., se opta por el menor espaciamiento de las juntas de contracción transversales: desde 3 m. hasta 2.4 m. Esto se ilustra en los planos CT-01/RC-01 y CT-02/RC-02, y en las fotos CT-03 y CT-04, donde se ha construido el revestimiento mediante el uso de una máquina de encofrado deslizante y a mano, respectivamente. Es importante señalar que estos inconvenientes se podrían salvar mediante el mejoramiento del diseño de la mezcla así como en la gestión de los recursos, siendo decisivo en la determinación de la mejor alternativa, el aspecto económico.

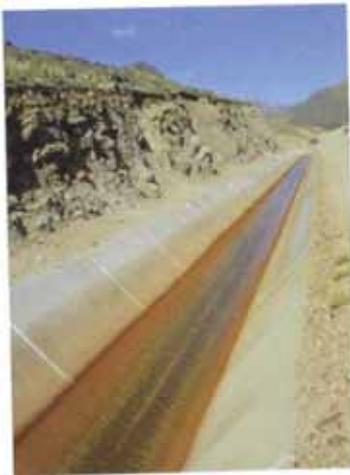


Foto CT-03. Revestimiento realizado con maquinaria de encofrado deslizante. Nótese la junta de construcción-contracción en el centro de la base. (Canal Derivador Colector Apacheta-Choccoro – Proyecto Especial Río Cachi)



Foto CT-04. Revestimiento realizado a mano. Los diferentes tonos de color del concreto demuestran la construcción del canal mediante el sistema de paños alternados. (Canal Principal Colector Chiara-Chontaca – Proyecto Especial Río Cachi)

d) Juntas de contracción longitudinales

Las junta. de contracción longitudinales se instalan en canales de gran perímetro, de más de 9 metros, a fin de combatir el agrietamiento longitudinal irregular de las losas. La ubicación de estas juntas están supeditadas al sistema elegido para ejecutar las distintas partes del canal, solera y cajeros, ya sea con maquinaria o a mano. En general se puede indicar que el espaciamiento de este tipo de junta varía entre los 2.5 m. a 4.5 m.

Como no es factible establecer una guía fija para ubicar las juntas longitudinales de contracción, se toma en cuenta las recomendaciones dadas por el ACI y el USBR.

El ACI indica lo siguiente: Las juntas longitudinales se colocarán a similares espaciamientos que las juntas transversales cuando la base del canal sea ancha. Estas también serán utilizadas en el fondo de los taludes si la colocación del concreto sobre los taludes y la base se realizan por separado. Se debe de incluir una junta de contracción longitudinal a la altura de la línea que limita el corte de excavación con el material de relleno debido a ser un lugar donde es muy probable la aparición de una fisura.

Por otro lado el USBR indica lo siguiente: En aquellos revestimientos de concreto que tienen un perímetro desde los 9.0 m. a los 15.0 m., vaciados sin juntas de construcción longitudinales, se les dotará de dos juntas longitudinales de retracción cerca del fondo de cada talud. En los revestimientos con perímetros mayores, se ubicarán juntas adicionales en ambos taludes a 1/3 parte de la altura a partir del fondo del canal; además, e establece a menudo la ubicación de juntas a aproximadamente 1 metro por debajo del nivel de agua de diseño a fin de dar alivio a la tensión que se diera lugar.

Aunque en algunos canales de tamaño pequeño o medio se construye por completo la sección del revestimiento mediante el uso de una máquina de encofrado deslizante, ólo teniendo juntas de contracción-construcción transversales, lo normal es hacer primero los laterales y luego la solera. Con este tipo de construcción, las juntas de contracción

longitudinales e ubican para formar las juntas de construcción entre los cajeros y la solera.

Como ejemplo de este método se tienen dos de los procedimientos propuestos a ser utilizados en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. Ambos procedimientos involucran el uso de máquinas de encofrado deslizante, diferenciándose en las fases de construcción: Mientras que en un procedimiento se establece la elaboración de toda la sección en una sola fase de construcción, en el otro se establece la elaboración en dos fases, construyéndose en cada una la mitad de la sección. En ambos casos, las áreas del revestimiento encerradas entre las juntas oscilan entre los 9 y 16 m², es decir las juntas están espaciadas a cada 3 ó 4 m. aproximadamente entre si. En el segundo caso, la junta de construcción coincide con la junta de construcción. Esto se puede observar en el plano CT-03/CH-01 y en las fotos CT-05 y CT-06.



Foto CT-05. Revestimiento realizado con maquinaria de encofrado deslizante. Las juntas horizontales y verticales son elaboradas por la maquinaria durante el revestimiento del canal. (Foto cortesía de GOMACO Internacional Ltd.)



Foto CT-06. Revertimiento realizado con maquinaria de encofrado deslizante. La juntas horizontales como verticales se encuentran espaciadas a 4 m. aproximadamente entre i. (Canal Madre Zona Cortina Forestal 1-Estación La agonía – Proyecto Especial Chavimochic)

En el método de construcción a mano, el revestimiento de canales de gran perímetro se realiza en dos fases principales. Primero se reviste el fondo del piso del canal en paños alternados hasta una cierta altura en los taludes (por ejemplo a 0.30 m.) que es donde debe establecerse una junta de construcción. Posteriormente se reviste los taludes y bermas del canal por paños alternados. En ambos casos, el espaciamiento de las juntas de construcción determinará las dimensiones del vaciado de los paños alternados, los que son aproximadamente simétricos.

Como ejemplo de este método se muestra en la figura 5.5, uno de los procedimientos propuestos a ser utilizado en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC.

En ambos métodos se debe evitar la ubicación de la junta de construcción longitudinal entre la base y los taludes. Para disminuir la posibilidad de agrietamiento en este sitio, se puede proveer de una suave transición curvilínea talud a base. Ver los planos CT-01/RC-01 y CT-03/CH-01.

e) Detalle del diseño

Las juntas de construcción en los revestimientos de concreto simple suelen ser del tipo plano debilitado. Existen dos métodos para elaborarlas en los revestimientos de concreto: mediante la inserción del sellador o mediante la elaboración de una ranura donde posteriormente se colocará el sellador.

Como se puede apreciar en la Cuadro 3.5 existen varios materiales recomendados por el ACI que pueden ser utilizados como selladores de juntas en los revestimientos de canales. Adicionalmente, el ACI recomienda el uso de masillas asfálticas y de los selladores a base de caucho-bituminoso aplicados en frío cuando se espera que se presenten pequeños movimientos, y el uso de selladores a base de polisulfuro y sellos de compresión de neopreno cuando se espera la ocurrencia de grandes movimientos.

FASE A : Vaciado del Piso en paños alternados (paños 1 y 2)

FASE B : Vaciado de los taludes en paños alternados (paños 3 y 4)

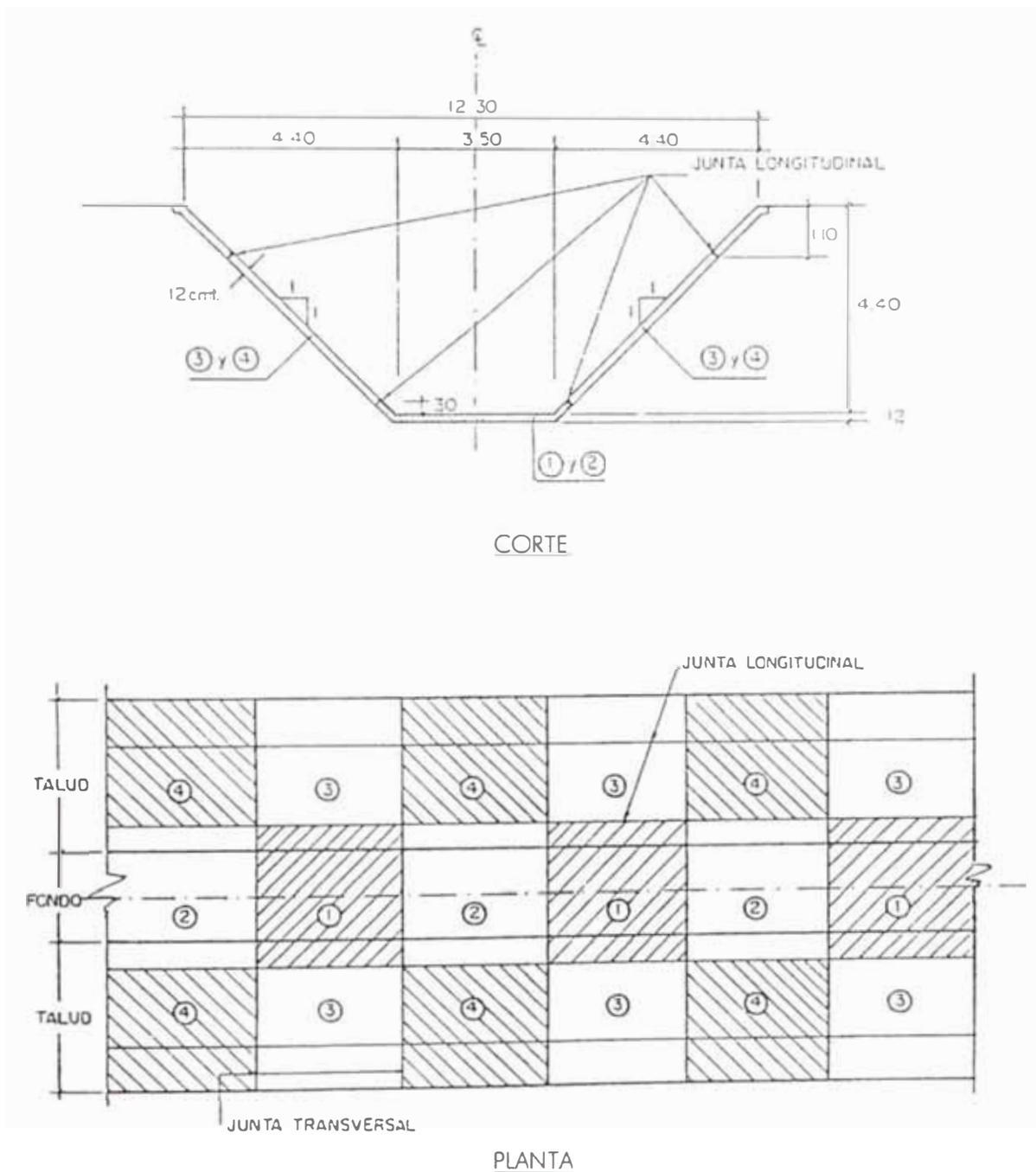


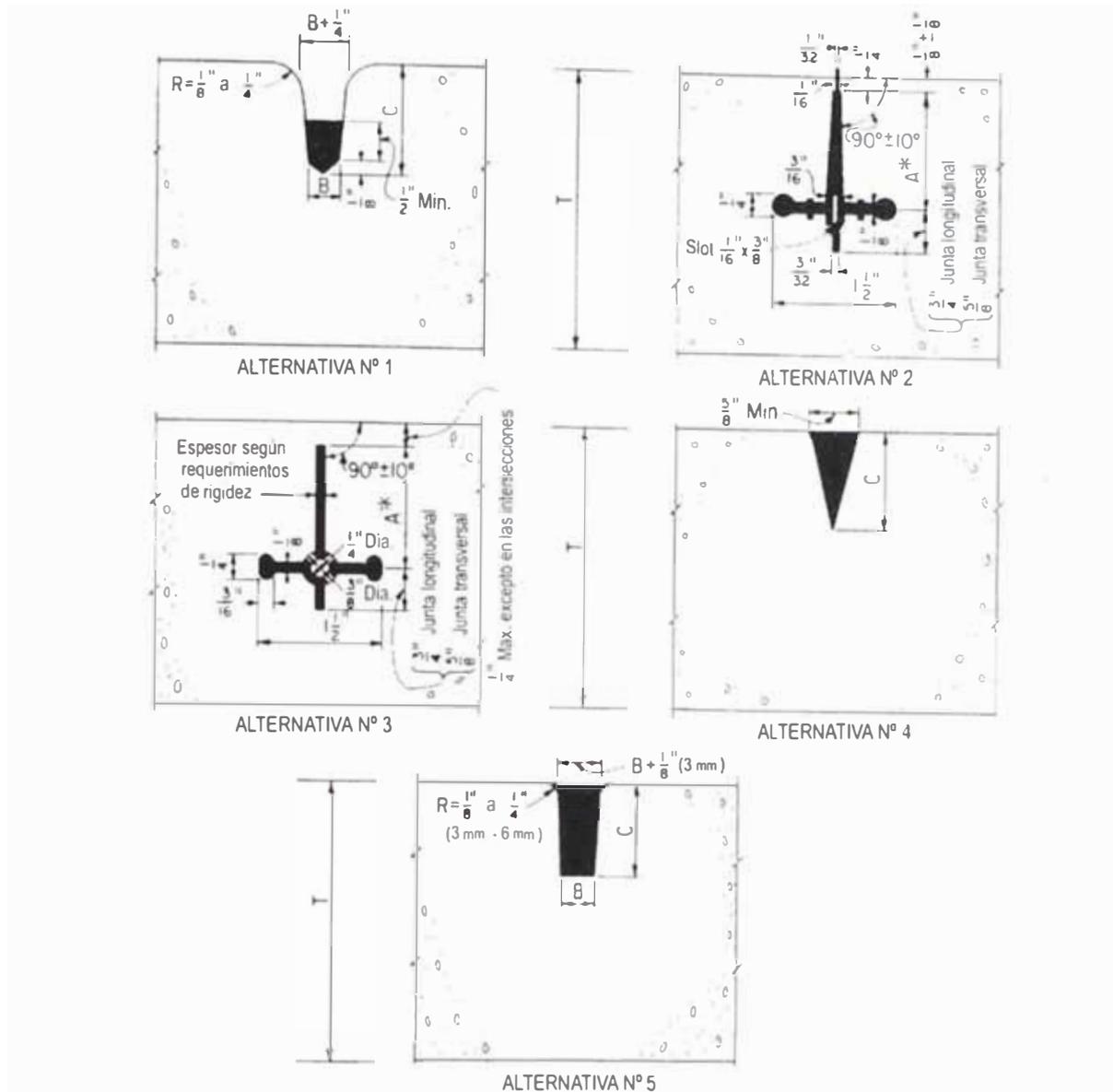
Figura 5.5. Fases de vaciado de un revestimiento de canal a mano

Fuente : Documentos del Proyecto Especial CHAVIMOCNIC – Biblioteca del
 Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI

En contraste, el USBR recomienda el uso de sellos a base de polisulfuro-brea, de inductores de fisura de PVC y últimamente, de sellos a base de poliuretano. Sus razones se sustentan en el hecho de que los sellos de base asfalto, habiéndose utilizado por un buen tiempo a cau a de haber sido los únicos materiales disponibles, no son los más adecuados debido a su rápido deterioro. Esta afirmación se ha podido constatar en nuestro medio ya que luego de haber utilizado mezclas asfálticas y sellos termoplásticos de caucho-bituminosos en zonas de climas extremos, se ha concluido su inaplicabilidad en estas situaciones. Un estudio má detallado se realiza en el siguiente capítulo. Los selladores a base de poliuretano fueron introducidos posteriormente debido a la necesidad de encontrar productos que puedan ser aplicados en las ranuras elaboradas en concretos verdes (de 1 a 3 días de antigüedad). El USBR determinó la eficiencia de ciertos selladores a base de poliuretano para e tas condiciones de trabajo.

En la figura 5.6 se muestra, en detalle, las diferentes alternativas de juntas tipo propuestas por el USBR, sus diferentes dimensiones y su relación con el espesor del revestimiento y con el espaciamiento de las juntas.

La primera alternativa se basa en la formación de la junta de contracción mediante la elaboración de una ranura y en la utilización del sellador a base de polisulfuro-brea. En la segunda y tercera alternativas se utilizan inductores de fisura de PVC. Estos son tiras que se insertan en el concreto durante el colocado del recubrimiento; siendo un sistema consistente en un pequeño waterstop más un elemento vertical elaborado para crear el plano de debilitamiento, se logra controlar eficazmente el agrietamiento y la pérdida del agua. En la cuarta alternativa se muestra un caso especial del uso del sellador a base de polisulfuro-brea. Aquí el sellador es proporcionado como una franja preformada en forma triangular; siendo adecuada para instalar sólo en concreto plástico, su funcionamiento como sello se basa en una fuerte adhesión con el concreto. En la quinta alternativa se muestra la ranura estándar que fue usada por muchos años y que sigue siendo utilizada debido a que es la más fácil de hacer. No es recomendada por el USBR porque no es tan efectiva en inducir el agrietamiento como aquellas ranuras que tienen una punta razonablemente afilada, como la primera alternativa.



T Espesor de la losa (mm.)	A Alto de la tira de PVC (pulgadas)	B Ancho de la ranura (mm.)	C Profundidad de la ranura (mm.)	Espaciamento aproximado entre ranuras (m.)
50	1 1/4 a 1 1/2	10 a 12	16 a 19	3
65	1 1/4 a 1 1/2	10 a 12	20 a 22	3
75	1 1/4 a 1 1/2	10 a 12	25 a 28	3.7 a 4.6
90	1 1/4 a 1 1/2	10 a 12	29 a 31	3.7 a 4.6
100	1 1/2 a 1 3/4	10 a 12	32 a 34	3.7 a 4.6
115	1 1/2 a 1 3/4	13 a 15	38 a 41	3.7 a 4.6

Figura 5.6. Detalles del diseño de juntas de contracción en canales revestidos con concreto simple.

Fuente: U.S. Bureau of Reclamation, "Concrete Manual"

Las dimensiones que se muestran en el cuadro de la figura 5.6 se han obtenido de la experiencia en el control de fisuras en el revestimiento, por lo que su aplicación puede implicar la certeza de obtener un adecuado diseño de juntas de contracción.

Si fuera requerido, se realizará la instalación de un material de respaldo debajo del sellador en la junta tipo de la quinta alternativa a fin de obtener un factor de forma adecuado. Este perfeccionamiento tiene su explicación en la necesidad de cumplir con el factor de forma para un óptimo funcionamiento del sellador y a su vez, elaborar una adecuada junta de contracción, en este caso una ranura, de manera tal que se obtenga las dimensiones requeridas para formar un plano debilitado por donde se deberá de agrietar el revestimiento.

Un ejemplo aplicativo de un buen diseño se puede mostrar en la elaboración de las juntas de contracción del canal principal del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. Teniendo un revestimiento de 10 cm. se elaboraron las juntas transversales a cada 4 m. Luego de haberse presentado el fallo del sellador a base de caucho-bituminoso, se optó por la instalación de selladores a base de poliuretano. Considerando la figura 5.6., se diseñó una ranura de forma similar a la quinta alternativa, con un ancho de 10 mm. y un alto de 32 mm. El sellador se diseñó con un factor de forma igual a 1:1 (factor de forma especificado por el fabricante del sellador), por lo que se colocó un material de respaldo con una altura de 17 mm. El diseño de la junta se observa en el plano CT-03/CH-01 y en la figura 5.7. Este diseño ha tenido un buen desempeño, no habiéndose requerido ningún mantenimiento por una buena cantidad de años.

Adicionalmente, el ACI indica como otra alternativa en el sellado de junta a la utilización de sellos de compresión. Si se opta por esta alternativa, la ranura elaborada para la instalación del sello de compresión debe tener una profundidad de un 1/3 del espesor del revestimiento y su diseño a de ceñirse a lo indicado en el capítulo 4.

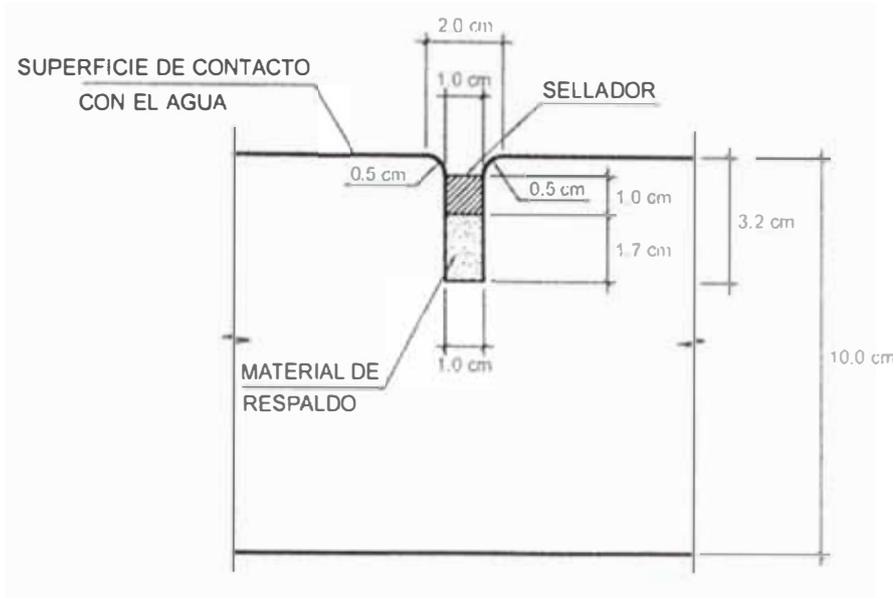


Figura 5.7. Detalle del diseño de juntas longitudinales y transversales del Canal Madre:
Tramo Virú-Moche (Proyecto Especial Chavimochic)

Otra consideración a tomar en cuenta es la realización de juntas combinadas: juntas de contracción y construcción. En estas juntas, la ranura de la junta de contracción se elabora posteriormente a la junta de construcción, en el concreto del siguiente vaciado. Ejemplos de este tipo de junta se puede observar en las juntas de contracción del canal principal elaborado manualmente del Proyecto Especial ALTO MAYO y en las juntas de construcción del canal principal elaborado mediante el uso de maquinarias de encofrado deslizante en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. En este último, el detalle de este tipo de junta se observa en el plano CT-03/CH-01 y en la figura 5.8.

Una variante en la elaboración de la junta de construcción-contracción se puede observar en parte del canal principal del Proyecto Especial RIO CACHI donde se determinó el posterior relleno del espacio dejado entre paños adyacentes con mortero de cemento-arena en 1:10. Aún cuando esta variación no pudiera alterar el comportamiento del sellador, asegurando la aparición de fisuras por dichas juntas, su desarrollo puede implicar un mayor costo de elaboración del canal. Ejemplo de este sistema se puede ver en el plano CT-02/RC-02.

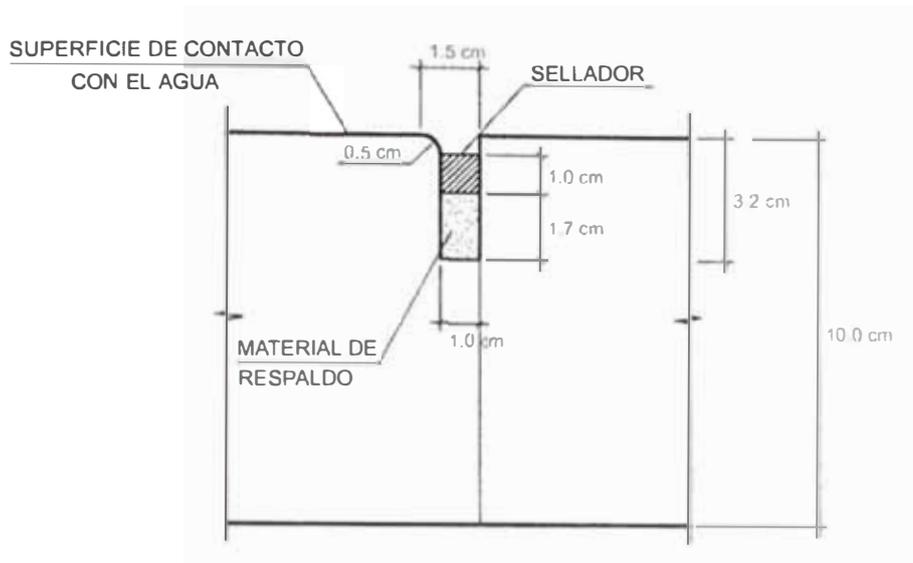


Figura 5.8. Detalle del diseño de juntas de construcción-contracción del Canal Madre:
Tramo Virú-Moche (Proyecto Especial Chavimochic)

5.2.2. Revestimientos de concreto armado

Normalmente no es necesaria la utilización de acero de refuerzo en el revestimiento de un canal de sección trapezoidal. Aún cuando los revestimientos de concreto armado están menos expuestos a daños por presiones hidrostáticas o de otra clase que actúen debajo de ellos, esta ventaja no es tan grande que justifique la diferencia de precios. Además, si por debajo del revestimiento de concreto armado se presentarán presiones hidrostáticas de imprevisto, el concreto armado no se rompería tan fácilmente como el concreto simple, aliviándose la presión e incrementándose la zona dañada.

El revestimiento de concreto armado es utilizado en casos específicos donde hay consideraciones estructurales en el diseño debido a, por ejemplo, la presencia de fuertes contrapresiones, de grandes velocidades de corriente, la inestabilidad del terreno de fundación y la necesidad de evitar la rotura en ciertos tramos donde se podría poner en peligro vidas y propiedades en zonas cercanas al canal; tal que la principal función de la armadura es reducir la anchura de las grietas y evitar, en caso de rotura, la fragmentación del revestimiento cuyos trozos podrían causar el bloqueo del canal y el consiguiente desborde del agua.

Según Kraatz, si se realizará el revestimiento con concreto armado, la separación entre las junta de contracción transversales no debe exceder los 6.0 m para evitar la formación de grieta grandes. En este caso es necesario que la armadura se interrumpa a fin de que las grietas e formen en ellas. Las juntas de contracción longitudinales no son necesarias debido a la presencia de una armadura transversal, salvo en el caso de canales muy grandes. Y a í como los canales revestidos con concreto simple, las juntas de dilatación no son requeridas a excepción de las zonas de contacto con otras estructuras o en zonas donde se hallen condicione extremas.

5.2.3. Revestimientos con concreto lanzado (Shotcrete)

La aplicación del shotcrete en el revestimiento de canales no suele resultar económica en el caso de grandes proyectos debido al mayor consumo de cemento en comparación a los anteriores revestimientos, a la menor velocidad de colocación en comparación con el método de encofrados deslizantes y a la necesidad de contar con mano de obra especializada para manejar el equipo y dar el espesor previsto al revestimiento. Entonces, el revestimiento con shotcrete es aplicable sólo en casos específicos como en canales cortos, en tramos en que abundan los recodos pronunciados, en secciones curvas de revestimientos de concreto prefabricados y en lechos de roca intemperizada, así como en la reparación de canales. En estos casos se pueden obtener buenos resultados debido a la ventaja que se obtiene por el uso de un equipo bastante pequeño y de fácil transporte; además de no ser necesario un buen enrase ni un trazado con gran precisión, ni ajustarse estrictamente a las dimensiones del revestimiento especificada en el proyecto.

Las juntas de contracción se pueden diseñar de acuerdo a lo establecido en los anteriores revestimientos de concreto mas es posible la no aplicación de los mismos por completo. Esto es debido a que puede resultar más económico el rellenar las fisuras con algún material elástico luego de su formación a elaborar las juntas por anticipado. Adicionalmente, se debe evitar el uso de cualquier tipo de waterstop debido a la dificultad que existe en colocar el shotcrete alrededor de este sellador.

Las juntas de con trucción son formadas en chaflán con una longitud igual a la mitad del espesor del hotcrete. Se debe de seguir un procedimiento que evite o en caso contrario, remueva el material rebotado atrapado en la junta. Además, antes que se continúe con la aplicación del shotcrete, la junta en su totalidad debe ser limpiada meticulosamente y mojada.

5.2.4. Revestimientos con bloques de concreto prefabricados

El revestimiento con bloques de concreto prefabricado es recomendado únicamente en zonas de mano de obra abundante y barata o en aquellos pequeños proyectos donde es antieconómico el traslado del equipo necesario para la elaboración del concreto en sitio. Aún cuando este tipo de revestimiento sea menos resistente a las presiones hidrostáticas laterales y al hinchamiento del suelo que otros recubrimientos, su mantenimiento y reparación son muy económicos y fáciles de hacer. Estos consisten en la recolocación o en el reemplazo del o los bloques en la zona afectada.

Como este revestimiento está expuesto a estropearse en las curvas pronunciadas, el revestimiento en estas zonas se puede realizar mediante el uso de uno de los tipos de revestimiento anteriormente enunciados. Así mismo, si las contrapresiones que se darán lugar en la zona serán de tal magnitud que pudieran dañar considerablemente el revestimiento con bloques, se optará por el revestimiento del fondo del canal con concreto vaciado in-situ. En este caso el espe or de la solera será de mayor magnitud.

Las dimensiones de los bloques son variables a fin de que se amolden a las dimensiones del canal y de que el peso sea tal que permita su fácil acarreo sin que se quiebren durante el proceso de levantamiento. El espesor de los bloques suelen ser de 5 a 7 cm. y si se realiza el transporte a mano, la longitud variará entre los 20 a 60 cm.

La junta longitudinales y transversales del canal están supeditadas al posicionamiento de lo bloque . Como se puede observar en la figura 5.9, estas pueden ser continuas o escalonada . Como las juntas son premoldeadas, estas pueden optar diferentes configuracióne . Las juntas entre bloques pueden ser de tope, montadas en zigzag o machihembradas. En estos casos, la unión entre los laterales y el fondo del canal se realiza mediante la colocación de grandes bloques prefabricados o de vigas vaciadas in-situ de concreto a fin de obtener un buen ajuste y contrarrestar los daños que pueda sufrir el canal por las presiones variables a que puede estar sujeto el revestimiento sobre y debajo de él. Estos tipos de junta se muestran en la figura 5.10. Existen dos variantes de juntas machihembradas que debido a su configuración hacen que no sea requerido el reforzamiento en la unión de los laterales y el fondo del canal. Estas son propuestas por el USBR y se muestran en detalle en la figura 5.11.

Según Kraatz, el relleno de las juntas se puede realizar con mortero o con una masilla bituminosa. Si se realiza con mortero, se deberá de ubicar juntas de contracción a intervalos de 4 a 5m. El diseño de estas juntas debe seguir las indicaciones dadas para el revestimiento con concreto simple.

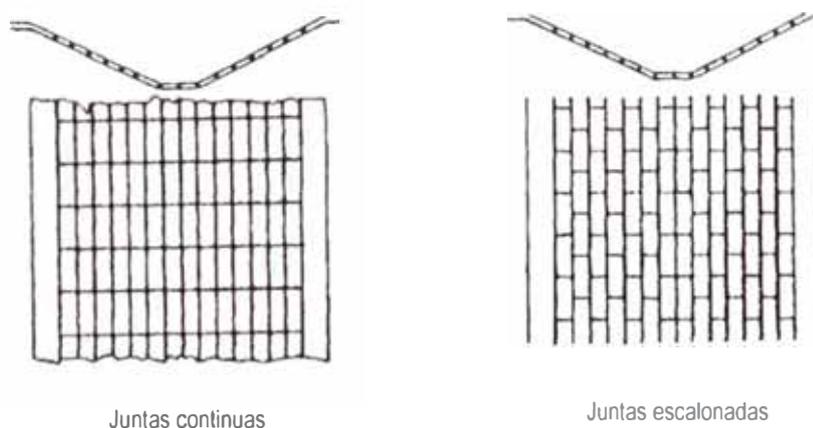
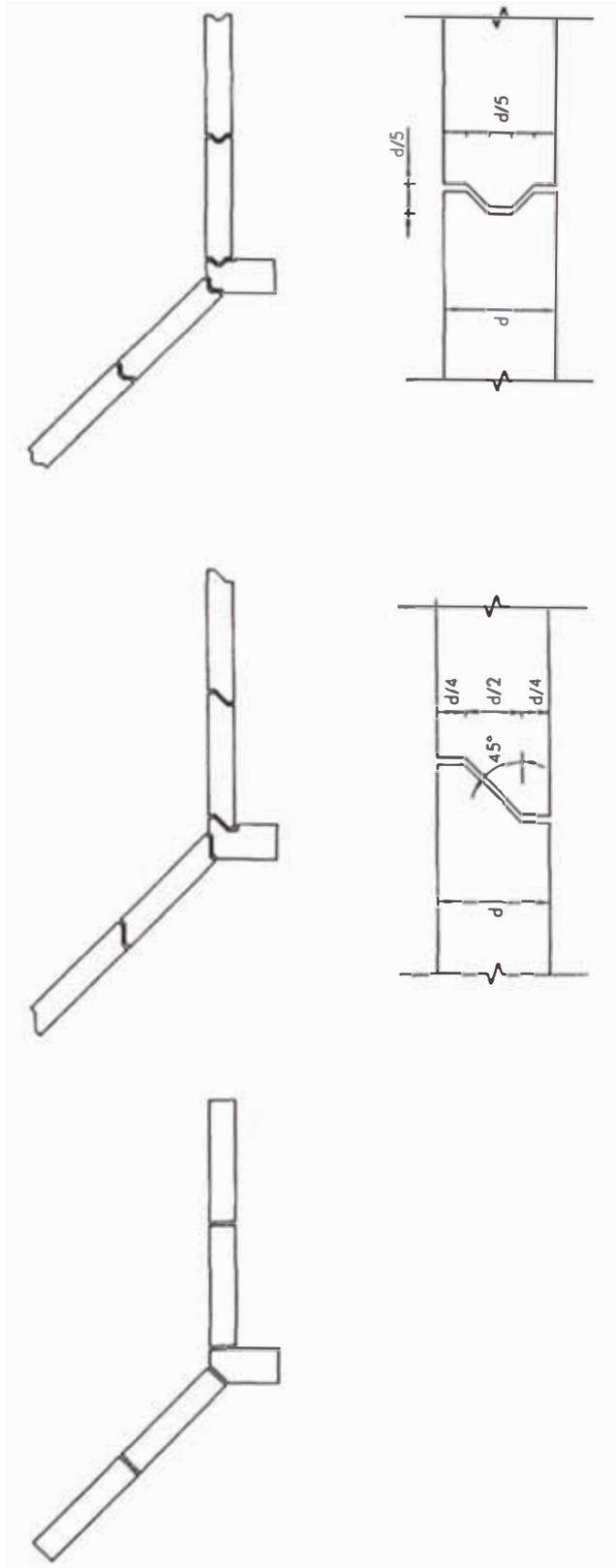


Figura 5.9. Juntas en revestimientos con bloque de concreto prefabricados

Fuente: Kinori, B.Z.: "Manual of Surface Drainage Engineering"; Vol. 1



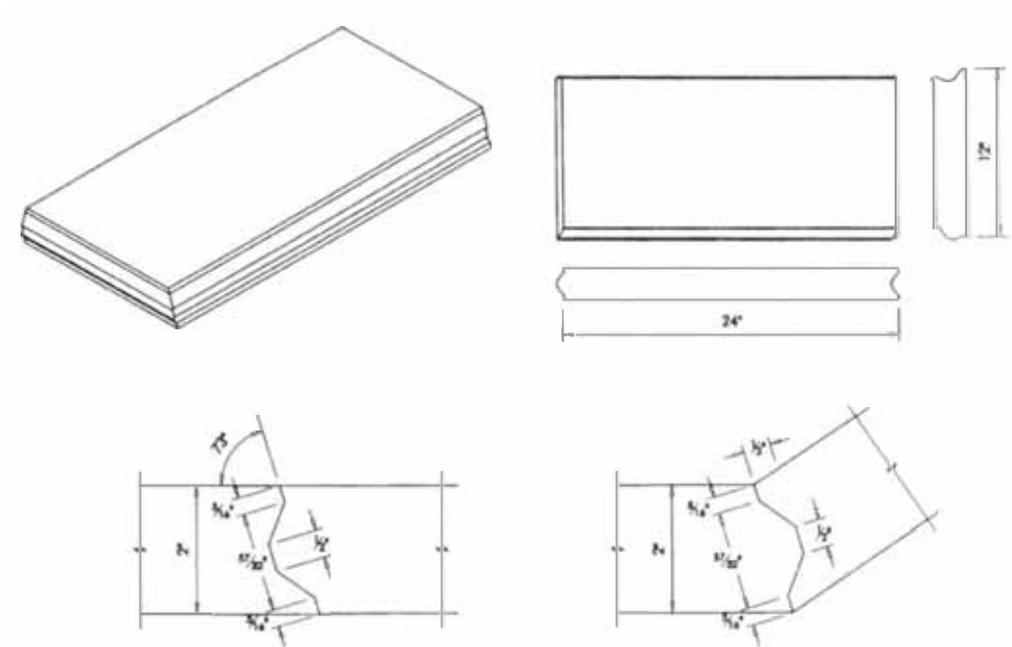
Junta a Tope

Junta en zigzag

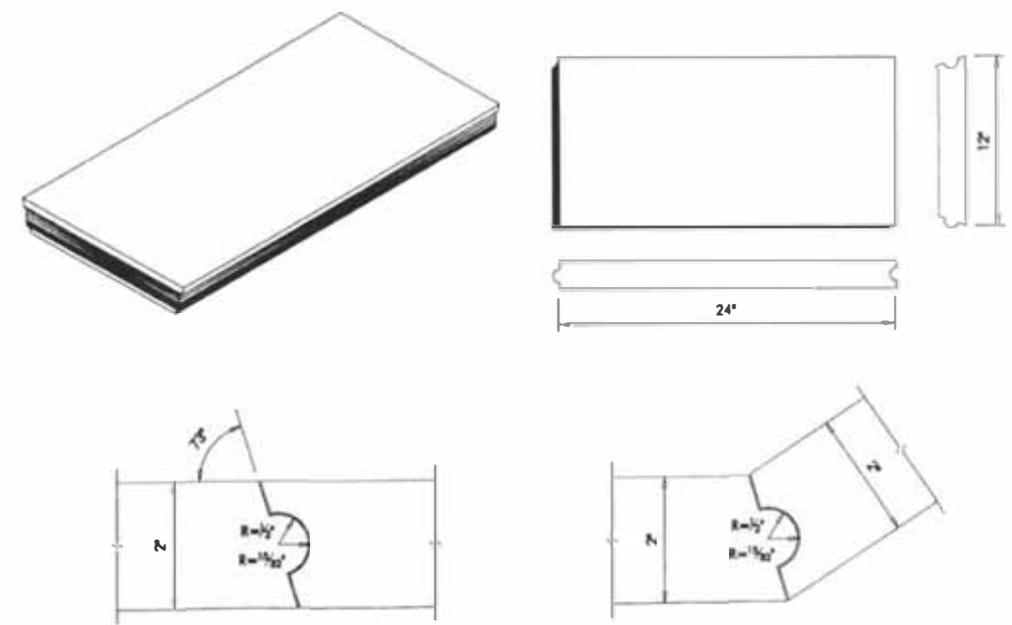
Junta machihembrada

Figura 5.10. Tipos de juntas para losas de concreto prefabricadas

Fuente: Kinori, B.Z.: "Manual of Surface Drainage Engineering"; Vol. I



Junta USBR Tipo (a)



Junta USBR Tipo (b)

Figura 5.11. Tipos de juntas para bloque de concreto prefabricada

Fuente: Kinori, B.Z.: "Manual of Surface Drainage Engineering"; Vol. I

5.2.5. El terreno de fundación: factor influyente del diseño

El terreno de fundación puede llegar a desempeñar un papel muy importante al momento de determinar la ubicación y el espaciamiento de las juntas en los canales. Esto tiene su origen en que la firmeza del terreno reduce la posibilidad de grietas y el peligro de roturas por a entamiento del subsuelo.

Entre los materiales a tomar en cuenta se tienen los suelos de arcillas expansivas y de yeso. Mientras que la construcción del revestimiento sobre arcillas expansivas no conviene debido a que se dilatan al humedecerse, el agua en contacto con el yeso disuelve las sales del suelo, llegando a crear cavidades que pueden provocar roturas y graves desperfectos en el canal. En ambos casos la mejor solución sería la modificación del trazado a fin de evitar estos tipos de suelos. Sin embargo, si fuera necesario colocar un revestimiento de concreto sobre arcilla expansiva, siendo imposible la sustitución del material mediante la excavación adicional o la variación del trazado, se puede prevenir roturas mediante el uso de juntas de construcción a 0.2 m. ó 0.5 m. desde el fondo de las pendientes laterales del canal. Este es una precaución adicional al posible tratamiento químico de la arcilla mediante el uso de cal.

Como ejemplo se tiene el método utilizado durante la construcción del canal principal del Proyecto Especial ALTO MAYO. En aquellas zonas donde se presentan arcillas expansivas se elaboran juntas longitudinales de contracción a aproximadamente 0.4m. como se muestra en la foto CT-07.

Se debe de recalcar que todas las juntas elaboradas en un canal deben de llevar un adecuado sellado a fin de evitar el paso del agua a través de estas. Se ha observado que algunas ranuras longitudinales elaboradas en las zonas de arcillas expansivas no llevan un sellador; si estas son diseñadas para formar un plano de debilidad en las losas, deben de llevar un sellador a fin de evitar la pérdida del agua si es que se llegan a agrietar por dichas ranuras. Ver fotos CT-07 y CT-08.



Foto CT-07. Juntas longitudinales sin sellar ubicadas en revestimientos construidos sobre zonas de arcillas expansivas. (Canal Principal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)

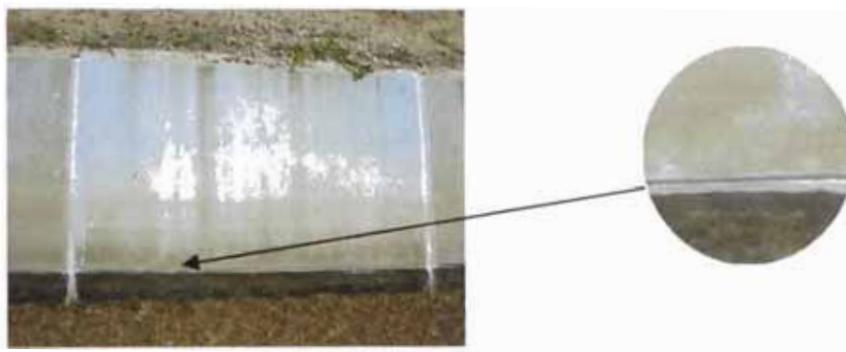


Foto CT-08. Revestimiento con juntas longitudinales sin sellar en ambos laterales. (Canal Principal Colector Chiara-Chontaca Proyecto Especial Rio Cachi)

5.3. Canales Rectangulares

Los canales rectangulares son canales revestidos construido con concreto armado con el propósito de soportar al empuje activo del terreno. Estos se ubican en aquellos tramos del canal donde las características del terreno así lo requieran y están conformados por una losa y por muros (pañños) de longitudes variables. En algunos caso; los muros son arriostrados por vigas.

Siendo estructuras de concreto armado que transportan agua, las juntas se diseñan según lo establecido en el capítulo anterior y siguiendo algunos lineamientos de los detalle generales de diseño indicados al comienzo de este capítulo.

Se toma como ejemplos aplicativos un tramo de sección rectangular de 2.40 x 1.65 construido dentro del canal Apacheta-Choccoro en el Proyecto Especial RIO CACI.II (ver plano CR-01/RC-03) y el canal rectangular-Variante Cerro Oreja de 6.50 x 4.30 construido dentro del trazo del Canal Madre tramo Viru-Moche en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC (ver plano CR-02/CH-02).

a) Juntas de contracción

Las juntas de contracción en los tramos rectos de los canales rectangulares CR-01 y CR-02 se encuentran distanciadas igual o casi igual al máximo permisible recomendado por el ACI para estructuras en ingeniería sanitaria (9.1 m. y 9.0 m. respectivamente). Como el refuerzo que se dispone en el sentido transversal de la sección del canal está en función de la separación de las juntas de construcción longitudinales, de la figura 5.2 se determina una cuantía mínima de 0.0032. Siendo la cuantía del tramo CR-01 aproximadamente igual a 0.0035, se cumple con la condición anterior.

Con respecto a los tramos curvos, en el canal rectangular CR-02 se optó por construir la menor cantidad de secciones pero cumpliendo con el máximo espaciamiento admisible. Así se diseñó con secciones trapezoidales (vistas desde planta) con paños laterales de 8.55 y 6.37 m. Los paños laterales no se dimensionaron a igual magnitud que los paños del tramo recto debido a que conllevaría al dimensionamiento de secciones muy pequeña al inicio y final de la curva. Por otro lado, en el canal rectangular CR-01 se optó por construir secciones de menor longitud, casi la mitad de lo máximo permisible (4.6 m. con respecto al eje del canal). De esta manera, se asegura un buen comportamiento de las juntas y además, las secciones al inicio y al final de la curva podrán tener una longitud mayor sin haber la posibilidad de exceder la máxima longitud permisible. Así se señala en este caso que si las secciones al inicio o al final de la curva son de longitudes menores a 1 m., se asimilarán a la sección posterior o anterior respectivamente.

El detalle del diseño de la junta de contracción es similar al de las figuras 5.4a y 5.4c. Este se caracteriza por ser una junta de contracción que divide por completo la estructura, tiene como único sellador un waterstop. Las superficies adyacentes se han cubierto con bitumen a fin de evitar su adhesión.

b) Juntas de expansión

Las juntas de expansión en los tramos rectos de ambos canales se encuentran distanciadas a 36.4 m. y 45 m. respectivamente. Siendo estas distancias proporcionales al espaciamiento de las juntas de contracción (agrupan 4 y 5 secciones respectivamente), se facilita la construcción del canal. La selección de la cantidad de secciones que separan las juntas de expansión va de acuerdo al diseño de la junta. Además, las juntas de expansión se ubican al inicio y al final de las curvas, y al comienzo y al final del tramo del canal de sección rectangular.

El detalle del diseño de la junta de expansión está en concordancia con el indicado en la figura 5.3a. Este se caracteriza por tener un sistema de sellado constituido por un waterstop en el centro de la sección, material de relleno y un sellador elastomérico.

c) Juntas de construcción

Las juntas de contracción y expansión son juntas combinadas ya que también funcionan como juntas de construcción. Adicionalmente, cuando la sección del canal rectangular es muy grande, como es el caso del canal rectangular CR-02, se diseñó la sección para tener juntas de construcción a una cierta distancia vertical con respecto al pie de los muros. En este caso, como las juntas deben ser monolíticas, estas se elaboran de forma machihembrada y con una superficie rugosa a fin de asegurar una fuerte adhesión con el siguiente vaciado y la transferencia de los esfuerzos cortantes.

d) Diseño de la junta

El sistema de sellado de la junta de contracción se basa en la utilización de un waterstop. Como este soporta pequeña cargas de presión, su diseño se fundamenta en las condiciones de tamaño y posición.

Los canales CR-01 y CR-02 tienen losas con espesores mínimo iguales a 15 cm. y 25 cm. respectivamente. Según la reglas indicadas en el capítulo anterior, el ancho del waterstop debe ser a lo más el espesor de la losa. Tomando en cuenta esto y considerando un diseño conservador, se determina la instalación de waterstops de 150 mm. (6") y 225 mm. (9") en las juntas respectivamente. Además, los waterstops se ubican a 7.5 y a 15 cm., cumpliendo con estar ubicados a una distancia debajo de la superficie en contacto con el agua igual o superior a la mitad del ancho del waterstop. Es decir, estos se encuentran ubicados igual o debajo de los 7.5 y 11.5 cm. respectivamente. Los waterstops tienen la forma de pesas de tres glóbulos debido a que se pueden esperar grandes desplazamientos verticales y horizontales producto del empuje del terreno.

El sistema de sellado de las juntas de expansión se basa en el uso de un sellador en la superficie más un sellador interior. Mientras que el diseño del waterstop utilizado como sellador interior es igual al realizado para las juntas de contracción, el diseño del sellador de superficie se basa en la dilatación y en la contracción de los tramos divididos por las juntas de expansión y contracción respectivamente. Esto se debe a que mientras que la expansión del elemento es absorbido por las juntas de expansión, se espera que la contracción por temperatura sea absorbida por las juntas de contracción ya que dividen completamente la estructura.

Entonces, tomando en consideración el diseño de juntas establecido en el capítulo anterior, se deduce las siguientes expresiones:

$$W_{\text{junta exp min}} = \left(\alpha \cdot L_{\text{exp}} \cdot (T_{\text{max}} - T_{\text{min inst}}) - (R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{inst}}) \right) \cdot \left(\frac{100}{k} \right) - R_{\text{inst}}$$

$$W_{\text{junta contr min}} = \left(\alpha \cdot L_{\text{contr}} \cdot (T_{\text{max inst}} - T_{\text{min}}) + (R_{t \rightarrow \infty} - R_{\text{inst}}) \right) \cdot \left(\frac{100}{k} \right) - R_{\text{inst}}$$

Siendo:

α = Coeficiente de expansión del concreto armado

$k(\%)$ = Rango de movimiento permisible por el material del sellador

L_{contr} = Longitud de la sección entre juntas de contracción

L_{exp} = Longitud de la sección entre juntas de expansión

T_{min} = Temperatura mínima

T_{max} = Temperatura máxima

$T_{\text{min inst}}$ = Temperatura mínima de instalación

$T_{\text{max inst}}$ = Temperatura máxima de instalación

R_{inst} = Movimiento por retracción que se dará lugar en la junta desde su formación hasta la instalación del sellador

$R_{t \rightarrow \infty}$ = Máximo movimiento por retracción que se dará lugar en la junta

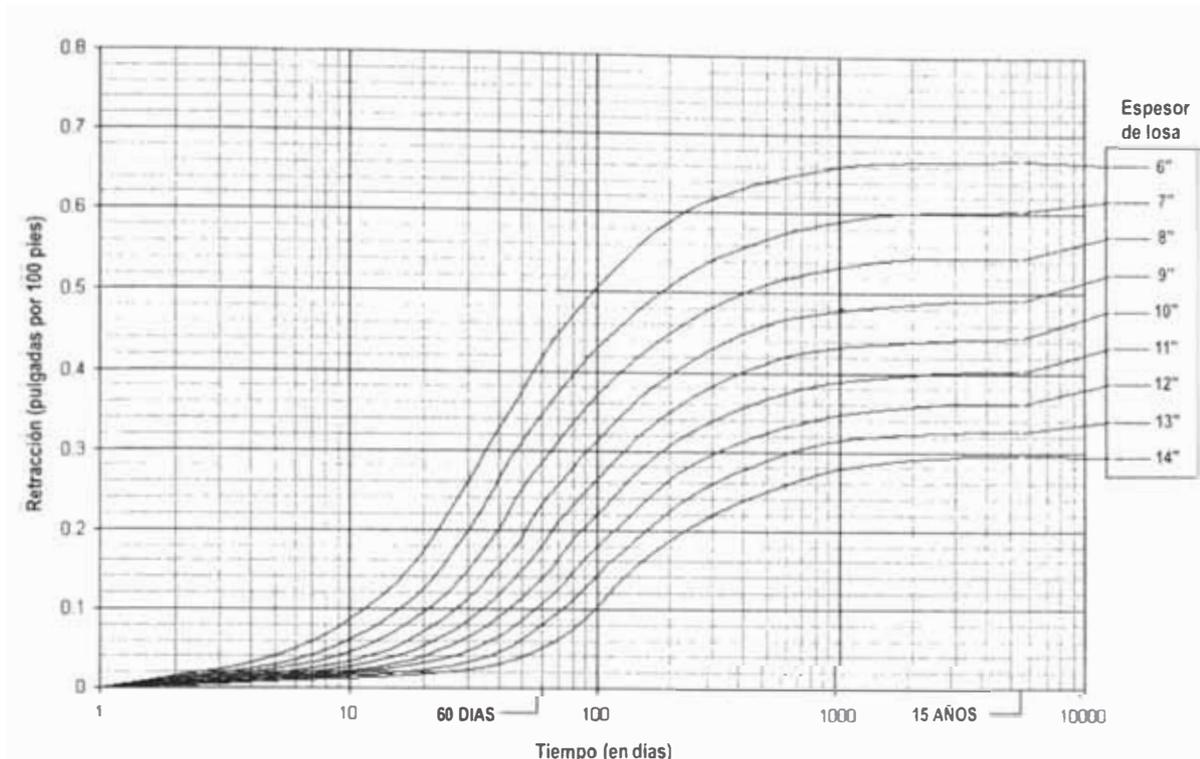
El ancho mínimo de la junta será igual al mayor entre el ancho mínimo de junta por expansión y el ancho mínimo de junta por contracción.

Como se puede apreciar, el ancho mínimo a calcular por las expresiones anteriores es el ancho de la junta en el momento de su elaboración. Aunque existen autores que determinan el ancho de diseño como aquel ancho de junta medido luego de que gran parte de la contracción se haya dado lugar, dejando al constructor el redimensionamiento de la junta al momento de su elaboración, se cree más pertinente realizar un diseño que permita al constructor realizar la elaboración de la junta tal cual aparece en los planos, sin la necesidad de realizar un cálculo adicional para su redimensionamiento. Sin embargo, esto implica a su vez, la realización de estudios anteriores a la construcción del canal que conlleven a la obtención de los valores de todas las variables que determinen dicho dimensionamiento.

Como en los ejemplos aplicativos no se tienen los valores de todas las variables, la comprobación del diseño de las juntas en estos canales se realizará asumiendo valores que se aproximen a la realidad y condicionando el diseño de las juntas al rango de temperatura de instalación del sellador $[T_{\min \text{ mst}}, T_{\max \text{ mst}}]$. Entonces se tiene lo siguiente:

En el canal rectangular CR-01, las juntas de contracción y expansión se encuentran distanciadas a 9.1 m. y a 36.1 m. respectivamente; además, la junta de expansión tiene un ancho de 12.5 mm. en una losa cuyo espesor es de 15 cm. Se considera que la cantidad de movimiento permisible del sellador es igual a +25% y las temperaturas, máxima y mínima de la zona, son iguales a 25.3°C y 4.7°C. Además se asume un coeficiente de expansión igual a $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ y movimientos por retracción hasta el momento que se instala el sellador (60 días) y hasta que gran parte del mismo se haya dado lugar (15 años) iguales a 3.2 mm y 5.1 mm., según el cuadro 5.2. Entonces, se determina que la temperatura de elaboración de la junta tuvo que haber sido mayor que 9.2°C para que el sellador se comporte adecuadamente. Además, considerando un factor de forma igual a 1:1, la profundidad del sellador es igual a 12.5 mm. El resto de la junta fue rellena con un material de relleno, en este caso una espuma plástica.

En el canal rectangular CR-02, las juntas de contracción y expansión se encuentran distanciadas a 9 m. y a 45 m. respectivamente; además, la junta de expansión tiene un ancho de 19 mm. en una losa cuyo espesor es en promedio 33 cm. Se considera que la cantidad de movimiento permisible del sellador es igual a +25% y las temperaturas, máxima y mínima de la zona, son iguales a 32°C y 11.7°C. Además se asume un coeficiente de expansión igual a $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ y movimientos por retracción hasta el momento que se instala el sellador (60 días) y hasta que gran parte del mismo se haya dado lugar (15 años) iguales a 0.6 mm y 2.4 mm., según el cuadro 5.2. Entonces, se determina que la temperatura de elaboración de la junta tuvo que haber sido mayor que 18.4°C para que el sellador se comporte adecuadamente. Además, considerando un factor de forma igual a 1:1, la profundidad del sellador es igual a 20 mm. El resto de la junta fue rellena con un material de relleno, en este caso con espuma rígida de poliestireno expandido (teknopor).



Cuadro 5.2 Retracción vs. Tiempo en losas de 6" a 14" de espesor basado en datos de Russell.

Fuente: Chowchuvech & Gee: " pecifying expansion joint width in supported concrete slabs"

Se debe de mencionar que los datos del cuadro 5.2 fueron obtenidos por Russell de losas de concreto pretensado mantenidos a 23°C y a 50% de humedad por lo que su uso se realizó con fines prácticos. Se recomienda realizar estudios a fin de determinar los valores que se aproximen más a la retracción que se vaya dar lugar en la estructura.

Los anteriores ejemplos demuestran la importancia que tienen las magnitudes de todas las variables en la determinación del ancho de la junta y en el momento más adecuado para realizar la instalación del sellador en la superficie expuesta. Un adecuado diseño en estas estructuras requiere el realizar estudios con respecto a los cambios volumétricos que se esperan se produzcan durante toda la vida del elemento. De acuerdo a los datos obtenidos, de la zona y de los estudios realizados, se podrá recomendar no sólo el ancho mínimo al que debe ser elaborada la junta sino también el momento más adecuado para realizar la

instalación del sellador, es decir, el intervalo de tiempo, en meses, días y hasta horas, en que se debe de realizar la instalación del sellador con respecto al intervalo de temperaturas y al periodo de tiempo que se debe esperar posteriormente a la elaboración de la junta.

5.4. Conductos cubiertos

Los conductos cubiertos son estructuras que sirven para atravesar terrenos no consistentes, cruzar cursos de agua y tramos donde existe el peligro de arenamiento debido a la presencia dinámica de arenas eólicas y en tramos en media ladera con materiales inestables o de escombros. Estos son comúnmente de sección rectangular tipo cajón de una o doble abertura, con techo abovedado o plano de tapas prefabricadas, construidos con concreto armado. Si fuera necesario el cruzar quebradas entre túneles sin variar la sección hidráulica, los conductos cubiertos podrían tener una sección de herradura.

El diseño de las juntas en la base y en los muros cuando tiene una sección rectangular, es similar al utilizado para los canales rectangulares. La diferencia está en el diseño del techo.

Cuando el techo esta constituido por bloques prefabricados, estos se dimensionan tomando en cuenta algunas consideraciones como son el ancho de la sección, la capacidad de producción, el equipo requerido para el izaje, las dimensiones mínimas para que soporten las cargas de diseño y se puedan levantar sin fracturar, entre otros.

Como ejemplo aplicativo se tiene el conducto cubierto Zona Santo Domingo de 4.80 de alto x 5.00 de ancho, construido dentro del trazo del Canal Madre tramo Viru-Moche en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. (Ver plano CC-01/CH-03). En este conducto cubierto, las juntas de expansión y contracción de la base y de los muros se encuentran espaciados a igual distancia que los del canal rectangular analizado con anterioridad (plano CR-02/CH-02). Además, la diferencia de la dimensión del espesor entre ambas estructuras es pequeña. Entonces, el diseño de las juntas es igual.

Los bloques prefabricados tienen una longitud de 1.50 x 5.22 promedio, con un espesor de 0.25 m. Estos se ubican de tal forma que las juntas coincidan con las juntas de expansión y contracción de los muros. Las juntas entre bloques forman una abertura de 1 cm. en cada uno de los lados, la cual es rellena con tekopor y mortero 1:4 de cemento-arena. En la intersección de los bloques con los muros, los bloques se apoyan dentro y sobre la mitad del espesor del muro. Las juntas que se encuentran entre ambos elementos tienen 2 cm. de ancho y se rellenan también con mortero 1:4 de cemento-arena.

La aplicación del mortero elimina la posibilidad de ingreso de sustancias extrañas y crea una junta monolítica, eliminando también la posibilidad de un desplazamiento diferencial. Debido a que el uso del mortero como material de relleno es recomendado sólo cuando se espera que no se produzca algún movimiento, se supone que su aplicación se realiza cuando gran parte de la retracción de los bloques se haya dado lugar.

5.5. Túneles

Los túneles para la conducción del agua son revestidos con concreto a fin de soportar o resistir las cargas estructurales e hidrostáticas externas, y para mejorar las características hidráulicas del flujo. Estos se deben de construir de tal forma que se evite la pérdida de agua por fugas y aunque pueda ser beneficiosa la entrada de flujo por infiltraciones, se podría estar introduciendo sustancias contaminantes o alterando el ecosistema de la zona. Entre los métodos para revestir los túneles de concreto, el más común es el vaciado in-situ. Este revestimiento es relativamente impermeable, de costo competitivo y se caracteriza por no necesitar normalmente de juntas de expansión o contracción debido a las pequeñas variaciones de temperatura que se experimentan a excepción de los portales donde se pueden ubicar juntas de expansión o contracción, machihembradas o no, utilizando el waterstop como sistema principal de sellado.

El tamaño de las fisuras que se pudieran producir por la retracción del concreto o por las fuerzas exteriores que actúan sobre el revestimiento (presiones del terreno) se podrán

limitar mediante la colocación de una adecuada armadura. Así mismo, la utilización de armadura limita la presencia de fisuras ligadas a los cambios térmicos que ocurrirán en el concreto desde su colocación hasta su estabilización de temperatura concreto/ambiente, asociada a la restricción del contacto concreto-roca.

Además, en el caso que no se recomiende el uso de armaduras para el revestimiento, la reducción de las fisuras por retracción se deberá obtener de una buena mezcla, su curado y el control de la gradiente de la temperatura de fragua a la temperatura de servicio.

a) Juntas de construcción transversales

Las juntas de construcción transversales simplifican la construcción del revestimiento y reducen la presencia de fisuras por retracción. Estas se ubican entre vaciados y su espaciamiento está sujeto a las limitaciones del procedimiento de colocación y del sistema de encofrado. Normalmente se recomiendan juntas de construcción cada 6 a 12 m.

Si el revestimiento es de concreto armado, el acero de refuerzo será continuado a través de las juntas. Además, antes que se continúe con el vaciado, las juntas serán lavadas con chorro de agua y aire.

b) Juntas de construcción longitudinales

Las juntas de construcción longitudinales dividen a la sección transversal del revestimiento en partes designadas como solera, muros laterales y bóveda. La ubicación de estas juntas depende del tipo de sección y de la secuencia de vaciado. Para obtener una continuidad estructural entre las partes se recurre a la continuación del acero de refuerzo. El sellado de las juntas se obtiene mediante la unión de concretos, pudiéndose recurrir a la utilización del waterstop en el caso que se necesite transportar agua a presión y sea muy importante la hermeticidad.

Como ejemplo aplicativo se tienen un túnel en roca tipo 3 de 5.10 de diámetro, construido dentro del trazo del canal madre tramo Viru-Moche en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. (Ver plano T-01/CH-04). El túnel tiene una sección tipo herradura y se caracteriza por tener juntas de construcción longitudinales que separan la solera de los muros laterales. El acero de refuerzo transversal es continuado a través de dichas juntas. En el perímetro del anillo de portal se instaló un waterstop. Nótese el detalle del acero de refuerzo rodeando al waterstop, uniendo el anillo con el revestimiento del túnel.

5.6. Transiciones

5.6.1. Transición entre canales trapezoidales

De acuerdo al tipo de terreno en que fueron cimentados, los canales trapezoidales tienen diferente tipos de sección. Estas secciones se unen mediante transiciones cuyas características dependen de las características de los canales trapezoidales a unir.

En el plano TR-01/CH-05 se puede observar el diseño de las transiciones construidas entre canales trapezoidales de diferentes dimensiones dentro del trazo del Canal Madre tramo Viru-Moche en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. Entre cada cambio de dirección se ubican juntas cuyos detalles de diseño son iguales al resto del canal.

5.6.2. Transición canal trapezoidal – canal rectangular

Las transiciones de entrada y salida de un canal trapezoidal a un canal rectangular tienen las mismas características. Al inicio de la transición se ubica una junta de construcción cuyo diseño es similar al realizado en el canal trapezoidal. Al final de la transición se ubica una junta de dilatación cuyo diseño es similar al realizado en el canal rectangular.

En el plano TR-02/CH-06 se puede observar el diseño de la transición de entrada y salida a canales rectangulares construidas dentro del trazo del Canal Madre tramo Viru-Moche en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC.

5.6.3. Transición canal – túnel

Para efectos de empalme entre un canal con la sección del túnel y viceversa, se construyen transiciones a la entrada y a la salida. Una transición típica está conformada por un tramo abierto, entre el canal trapezoidal y sección rectangular, y un tramo cubierto, entre la sección rectangular y la sección del túnel (herradura).

En la transición se ubican tres juntas transversales: 1) Al inicio de la transición, 2) al final de la sección rectangular del tramo cubierto, donde se da inicio a la transformación entre esta sección y la sección del túnel, y 3) al final de la transición, en el anillo de portal del túnel. La primera junta es una junta de contracción cuyo diseño es igual al realizado para los canales trapezoidales. La segunda y tercera junta son juntas de expansión y contracción, respectivamente, cuyos diseños son similares a los realizados para juntas de canales de sección rectangular con la diferencia que las juntas se ubican en todo el perímetro de la sección.

Como ejemplo aplicativo se tiene la transición de entrada y salida a túneles, construidos dentro del trazo del Canal Madre tramo Viru-Moche en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. (Ver plano TR-03/CH-07). Aquí, la construcción de una transición adicional (transición 1) se debió a la necesidad de unir un canal trapezoidal con talud diferente a 1 con la transición que une un canal trapezoidal de talud 1 con el túnel. En este caso, el diseño de las juntas es igual al realizado para las juntas de las transiciones entre canales trapezoidales. Hay que indicar que aun cuando la ubicación y el tipo de junta son los adecuados, el diseño del sellador de superficie no es apropiado. Esto se concluye debido a que se diseña con un factor de forma que no sigue las especificaciones del fabricante ni las indicaciones dadas con anterioridad.

5.7. Caídas

Las caídas son estructuras de concreto armado utilizadas para empalmar canales que se encuentran a desnivel.

Como ejemplo tenemos la Caída 3A, construida como parte de un sistema de caídas que permiten el empalme del canal de derivación con el túnel intercuenca en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. (Ver plano C-01/CH-08). Esta estructura se construyó mediante el proceso de paños alternados. Al inicio y al final de la estructura se ubican juntas transversales de dilatación cuyo detalle de diseño se basa en el uso de un sellador sobre un material de respaldo, en este caso, teknopor. Las juntas transversales de construcción se ubican en cada cambio de dirección y a distancias que no superen el espaciamiento sugerido por el USBR para canales trapezoidales, indicado con anterioridad. Las juntas de contracción y construcción longitudinales se empalman siguiendo la misma distancia vertical con respecto a la base del canal. El diseño de las juntas de contracción y construcción en la caída son iguales al de las juntas de los canales que empalma. En este caso se diseñaron siguiendo las especificaciones del USBR según las alternativas N°1 y N°5 y siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante del sellador.

El diseño de las juntas de dilatación se caracteriza por tener un sellador cuyas dimensiones son similares a las obtenidas del diseño de las juntas de construcción. El tamaño del material de respaldo se debe ajustar a las dimensiones del sellador y al ancho de la losa.

CAPITULO 6

INSTALACION, MANTENIMIENTO, REPARACION Y EVALUACION DEL SELLADOR

Luego de haber realizado un adecuado diseño de juntas, los procedimientos de instalación y de mantenimiento son de gran importancia para el óptimo desempeño de la estructura. El descuido en la realización de alguno de estos aspectos puede conducir a la necesidad de realizar trabajos adicionales de reemplazo o de reparación que originarían costos adicionales. El presente capítulo explica brevemente y en forma teórica los procedimientos de instalación, mantenimiento y reparación del sellador. Además se realiza la evaluación del desempeño de los selladores empleados en obras de riego del país, tomando en cuenta los procedimientos de instalación, de mantenimiento y el estado actual de los selladores.

6.1. Instalación del sellador

Para poder realizar una adecuada instalación, se recomienda tomar en consideración varios factores como son: las características del material a utilizar, las dimensiones y la ubicación de las juntas a sellar, la magnitud del proyecto de sellado así como las condiciones internas y externas que se presentan o se presentarán sobre la estructura y el sellador. Además, es muy importante seguir paso a paso los procedimientos de construcción de la junta así como realizar una adecuada instalación del sellador a fin de evitar defectos que originarán la pérdida de tiempo y dinero para su corrección.

6.1.1. Instalación del sellador moldeado in-situ

El mejor momento para realizar la instalación del sellador moldeado in-situ, si la programación de obras lo permite, es en días secos y cuando la temperatura se encuentra

cerca a la media anual. Sin embargo y por lo general, la instalación del sellador se debe realizar en condiciones poco favorables, por lo que es necesario proveer de un adecuado diseño que permita efectuar la instalación del sellador en dichas condiciones.

Teniendo en cuenta la instalación del sellador, las juntas se elaboran dejando las aberturas en la ubicación, forma y tamaño de acuerdo al diseño indicado en los planos. Además, se debe evitar la contaminación de la abertura por el compuesto de curado o por algún otro material.

Toda instalación del sellador debe de seguir los procedimientos establecidos por el fabricante. A continuación se mencionan algunas consideraciones adicionales:

- Como las superficies de la junta deben de estar limpias, secas y libres de defectos que podrían impedir una adecuada adhesión del sellador, se recomienda remover dichos contaminantes mediante el corte y limpieza con escobilla de alambre o con chorro de arena (arenado), para posteriormente proceder a la remoción del polvo mediante el barrido o la utilización de aire comprimido (sopleteado).*
- Cuando sea requerido el imprimado de las superficies de la junta, el imprimante será aplicado con brocha o en spray. Si fuera necesario, se debe dejar secar al imprimante antes que el sellador o algún material accesorio pueda ser instalado. En el caso que se realice el imprimado en juntas de expansión, el material de relleno deberá ser protegido si es vulnerable a los efectos del imprimante.*
- Los materiales de respaldo y los interruptores de adhesión son generalmente instalados manualmente. Estos deben ser colocados correctamente, evitando su torsión o la contaminación de las superficies de la junta ya limpiada.*
- Si se utiliza un sellador de aplicación en caliente, el ACI recomienda calentarlo a una temperatura de 11°C sobre la temperatura indicada por el fabricante, a fin de asegurarse un óptimo desempeño.*
- Si se utiliza un sellador de dos componentes, se debe asegurar una completa e íntima mezcla a fin de que el material cure con uniformes propiedades. Si se requiere realizar pequeñas aplicaciones, se puede utilizar taladros eléctricos portátiles con aspas en forma de paletas. Para mayores aplicaciones se deberá utilizar adecuadas máquinas de*

mezclado. Es muy importante limitar el tamaño de la tanda según el tiempo de trabajo (pot life) del sellador.

En el caso específico de los canales, comúnmente los fabricantes de selladores solicitan que el concreto se encuentre completamente curado (mínimo 28 días) antes de proceder con la instalación del sellador debido a que el vapor expulsado por el concreto podría interferir con la adhesión entre el concreto y el sellador. No obstante y debido a que esta recomendación es muy conservadora, el USBR especifica sólo 7 días de curado antes de la instalación del sellador.

Al final se espera que el diseño de la junta sea tal que permita la instalación del sellador en cualquier momento posteriormente a los primeros días de curado. En el caso supuesto que el diseño no se haya realizado tomando en cuenta esta consideración, se recomienda el rediseño de las juntas de acuerdo a las condiciones que se presentan durante el proceso de elaboración de la junta y durante la instalación del sellador.

Ejemplos de la instalación de selladores moldeados in-situ se tienen en los trabajos realizados en los canales trapezoidales del Proyecto Especial Alto Mayo y del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. Sus estudios se realizan más adelante.

6.1.2. Instalación de selladores preformados

1. Instalación del Waterstop

Los waterstops son embebidos dentro del concreto. A diferencia de la mayoría de selladores cuya instalación se realiza posteriormente a la construcción de la estructura, los waterstops son colocados en los encofrados antes del vaciado. Entonces, cuando el concreto es vaciado, este se amolda conforme a la forma del waterstop.

Los waterstops pueden ser instalados más fácilmente y eficientemente mediante el uso de encofrados de madera o encofrados metálicos revestidos con madera. Existen diferentes métodos de instalación de acuerdo a la forma y al tipo de waterstop. Cualquiera que sea el método de instalación a emplear, el waterstop debe ser asegurado en su posición a lo largo de la junta a fin de evitar su desplazamiento durante el vaciado. Esto es particularmente importante cuando se instala un waterstop flexible con un glóbulo en el centro en una junta a tope, ya que el glóbulo debe estar libre a fin de permitir el libre movimiento. Además, se debe realizar una adecuada colocación y consolidación del concreto alrededor del waterstop con el objetivo de conformar un concreto denso e impermeable, evitando la formación de marcas en formas de panal o de cavidades por burbujas de aire atrapadas, defectos que perjudican la capacidad del sellado.

En general se tienen dos métodos de instalación: mediante el uso de encofrados divididos (Figura 6.1a), y mediante la flexión y sujeción del waterstop al encofrado (Figura 6.2).

Comúnmente la instalación del waterstop requiere que el encofrado sea abierto, tal que se permita la inserción del waterstop a través del encofrado. Esto obliga a elaborar complejos sistemas de encofrado que logren sujetar al waterstop firmemente en su lugar durante el concretado o a realizar el amarre del waterstop al acero de refuerzo o al encofrado a través de orificios que se deben encontrar en los extremos de los ribetes.

En cambio, si se usa un waterstop con un ribete dividido, la instalación del mismo no requiere la trabajosa elaboración de un encofrado dividido. Su instalación se realiza mediante la apertura del ribete, colocándolo al ras de la cara interior del encofrado y sujetándolo en los extremos. Luego, posteriormente al desencofrado del primer vaciado, se vuelve a unir el ribete antes que se realice el siguiente vaciado. Mediante este sistema se simplifica el sistema de encofrado y se provee de un efectivo sello contra la pérdida de finos (lo que puede suceder cuando se divide el encofrado), evitando la aparición de marcas en formas de panal alrededor del sellador.

Una variante de este método se utiliza en los waterstops de metal maleable, los cuales pueden ser doblados y sujetos al encofrado.

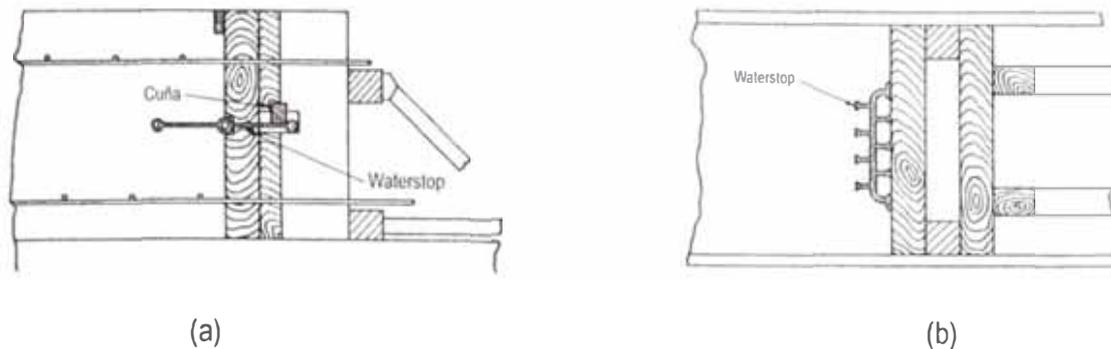


Figura 6.1. Métodos para instalar el waterstop

Fuente: Critchell, Peter: "Joints and Cracks in Concrete"

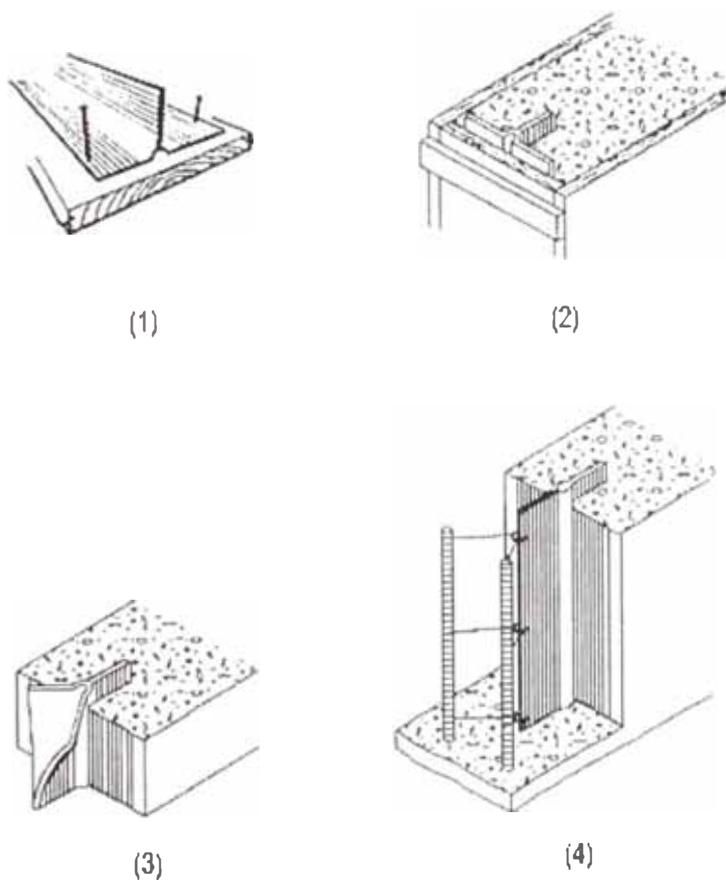


Figura 6.2. Procedimiento de instalación del waterstop con ribete dividido

Otro método que no requiere la división del encofrado es mediante la sujeción del water top al encofrado. Este sistema es usado si el waterstop empleado es del tipo laberinto pero aunque el diseño del water top pueda proveer de un largo camino para el pa o del agua a través de la junta, se pueden presentar algunas dificultades al tratar de obtener un concreto que sea denso e impermeable alrededor del waterstop. (Ver figura 6.1b).

En el caso que se necesite perforar el waterstop, este procedimiento se recomienda realizar entre el extremo y el último acanalado, nunca cerca al centro o en el bulbo central (Ver figura 6.2-1). Además, cuando se ata el waterstop a las varillas de refuerzo o cuando se vuelve a unir el ribete, se recomienda realizar sus amarres cada 30.5 m.

Los waterstops requieren ser empalmados en las intersecciones, en los cambios abruptos de dirección o para formar tramos continuos. Cuando se tenga que realizar un empalme, este se realiza de acuerdo al tipo de material empleado y al procedimiento especificado por el fabricante.

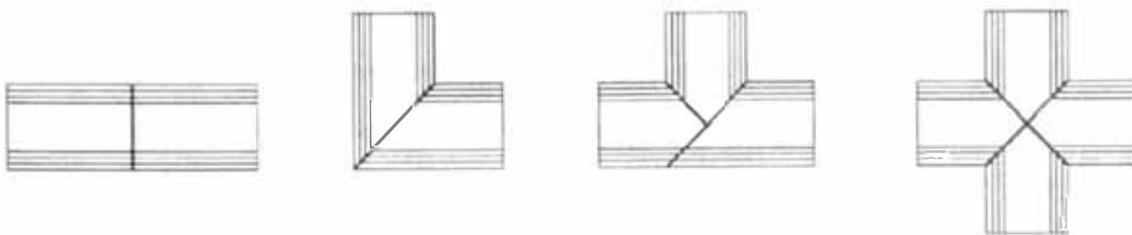


Figura 6.3. Empalme para water tops

2. Instalación del sello de compresión

Si se piensa utilizar sellos de compresión las juntas a sellar deben ser elaboradas con mucho cuidado a fin de obtener un ancho uniforme a lo largo de toda su longitud. Además, las caras laterales de la junta deben de seguir una línea recta, y deben de tener

superficies lisas, limpias y sin astillar. Los procedimientos de limpieza utilizados con los sellos moldeados in-situ son valederos para realizar la limpieza en aquellas juntas donde se instalarán sellos de compresión. El ACI recomienda la elaboración de las juntas con borde ligeramente redondeados o en chaflán, lo que permite la instalación del sellador con mayor facilidad y evita que las caras laterales de concreto se puedan astillar.

Existen varios métodos de instalación del sellador que van desde una instalación manual hasta sistemas completamente automáticos que realizan la lubricación del sellador mientras este es instalado dentro de la junta. El procedimiento manual requiere el introducir a presión el sellador. Otros procedimientos requieren el uso de herramientas que alineen y ejerzan presión sobre todas las caras del sellador. Cualquiera que sea el procedimiento a seguir, se requiere el uso de lubricantes o de adhesivos para poder realizar una apropiada instalación. Los lubricantes facilitan la entrada del sello y el adhesivo une el sello a las caras laterales de la junta. Adicionalmente se deben seguir las indicaciones del fabricante.

3. Instalación del inductor de fisura

Los inductores de fisura son instalados en los revestimientos de canales cuando aún el concreto se encuentra en estado plástico. Usualmente este tipo de sello es instalado por la máquina utilizada para realizar el revestimiento. Si se utiliza este tipo de sello, se debe realizar la suficiente vibración para producir la consolidación completa del concreto alrededor del inductor a fin de que el concreto este en contacto con toda la superficie del sellador.

Para asegurar su funcionamiento deben ser instalados correctamente: se deben instalar perpendicularmente a la superficie y según lo indicado por el USBR, la parte superior de la tira no debe estar más de 12 mm. debajo de la superficie de concreto. De esta manera se asegura que las grietas se producirán por estas tiras y que la parte elaborada como waterstop funcione como tal.

En las intersecciones entre juntas longitudinales y transversales, la parte superior del inductor de fisura instalado primero se corta en la medida necesaria para colocar el segundo sellador a la correcta profundidad.

En revestimientos cuyos espesores sean menores a 75 mm. Sólo podrá ser posible la instalación del inductor de fisura en una sola dirección. En la otra dirección el USBR recomienda elaborar las juntas para ser selladas con un sellador moldeado in-situ.

6.1.3. Precauciones de seguridad

Existen ciertos peligros en el uso de los selladores. Sin embargo, estos se pueden minimizar tomando simples precauciones y siguiendo las indicaciones de seguridad dadas por el fabricante. Antes de utilizar cualquier producto, se deben tomar todas las medidas de seguridad a fin de evitar el poner en peligro la salud o la integridad física de los trabajadores.

6.1.4. Pruebas y muestro

Como durante el diseño de la junta se establece el tipo de sellador a utilizar, se recomienda realizar pruebas con todos los productos disponibles a fin de seleccionar aquel que tenga un comportamiento satisfactorio de acuerdo a las condiciones impuestas por la programación de obras, por el método de instalación establecido, por las características de la estructura; cuyos resultados estén de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante y sea además, el más económico.

Por otro lado, luego que se haya seleccionado el producto a utilizar, se recomienda realizar muestreos de cada lote enviado por el fabricante o distribuidor antes de ser aplicado en su totalidad. La aceptación o rechazo de todo el lote se basa en el hecho de que todo el lote se ha producido bajo las mismas condiciones, existiendo la posibilidad de error durante la

producción del material. Las pruebas del muestreo se pueden realizar en el sitio de fabricación, en el punto de entrega o en el lugar de instalación.

Se pone en consideración que un constante procedimiento de muestreo puede ser evitado si el material seleccionado cuenta con certificados de calidad internacionales, las que garanticen la utilización de un material con iguales propiedades y características, y si su aplicación se va a realizar en algún proyecto de poca envergadura.

Comúnmente las especificaciones dadas por el fabricante se basan en las especificaciones establecidas por las normas ASTM y por el USACE. También las pruebas se pueden realizar tomando en cuenta estas especificaciones dadas para diferentes tipos de selladores. Entre las especificaciones se tiene que la norma ASTM-C920 establece las especificaciones para los selladores elastoméricos (cuadro 6.1), y las del USACE CRD-C 572 y CRD-C 513 establece la especificaciones para los waterstops no metálicos. Además, la norma ASTM-C719 establece las pruebas para establecer la cantidad de movimiento permisible del sellador moldeado in-situ y las normas ASTM D-412 y D-638, las pruebas para establecer la elongación del sellador preformado no metálico.

6.2. Mantenimiento del sellado

A diferencia de los selladores utilizados para sellar interiormente la junta, como es el caso de los waterstops y de las empaquetaduras, los cuales pueden durar indefinidamente debido a que se encuentran aislados del intemperismo y de otros agentes que puedan ocasionar su deterioro, las juntas selladas en su superficie puede que requieran de un resellado a fin de mantener la impermeabilidad de la estructura. El tiempo de resellado depende de las condiciones de servicio, por las propiedades del tipo de material utilizado como sellador, de su rendimiento y de la calidad de los trabajos desarrollados para la elaboración y sellado de la junta.

<u>NORMA</u>	<u>REQUERIMIENTO</u>
ASTM C 639 Propiedades Reológicas	3/16"(4,7 mm.) máximo
ASTM C 603 Tiempo de Aplicacion	3 horas mínimo
ASTM C 661 Dureza	Shore A 15-50
ASTM C 792 Efecto de envejecimiento por calor	10% máx en pérdida de peso. No agrietamiento o trituramiento
ASTM C 679 Tiempo de secado al tacto	En 72 horas
ASTM C 510 Manchas y cambio de color	Manchas no visibles en mortero blanco
ASTM C 719 Adhesion y cohesión después de movimientos cíclicos	Fallas de 1-1/2 pulg ² máximo en cada sustrato
ASTM C 794 Adhesión por capas	51 lb/pulg ² mínimo esfuerzo Falla de adhesión 25% máximo
ASTM C 793 Envejecimiento acelerado	No presenta grietas

Cuadro 6.1. Normas y requerimientos para selladores elastómeros según A TM C-920

Fuente: CASTELLARES, ESPEZUA y OLMO. "Sellado de Juntas de los Canales Trapezoidales en el Proyecto Especial Chavimochic", en el Libro de Ponencias del Congreso Nacional de Ingenieria Civil de 1992

Además, si es que se constata que el producto utilizado tiene un pobre desempeño, lo que se caracteriza por la necesidad del reemplazo del sellador en un corto período de tiempo, los trabajos de mantenimiento también implican el reemplazo del sellador con otro producto o material. El procedimiento de resellado es el mismo que el realizado para la instalación del sellador con la diferencia que el procedimiento de limpieza de la junta debe de incluir el completo retiro del antiguo material. Un ejemplo aplicativo es el mantenimiento del

sellado de juntas mediante el reemplazo del material realizado en los canales trapezoidales del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. Su estudio se realiza más adelante.

Es muy importante realizar el mantenimiento del sellador ya que la omisión del mismo originará, tarde o temprano, la realización de trabajos de reparación. Los cuales son, por lo general, má costosos.

6.3. La reparación de los defectos del concreto y el reemplazo de selladores

6.3.1. La evaluación

Cuando se observe el fallo del sellador, su pobre desempeño no sólo estará relacionado a la selección de un sellador cuyas propiedades no son las adecuadas sino que también puede ser debido a otras causas como son: un mal diseño de junta, el uso de un sellador inapropiado a las condiciones de servicio, un pobre trabajo durante la construcción de la junta, la deficiente preparación de las superficies de la junta para el sellado o la deficiente instalación del sellador. Por lo que se debe efectuar una adecuada evaluación a fin de determinar la causa de la falla y realizar una adecuada reparación. En el cuadro 6.2 se resumen los defectos que se pueden producir en el sellador y los procedimientos para mejorar su desempeño.

Por otro lado, como se ha podido estudiar en el segundo capítulo, la presencia de fisura en el concreto debe sus orígenes a diferentes causas, no siendo todas responsables por la falta de elaboración de juntas o por el pobre desempeño de las mismas. Debido a esto, cuando se observe el agrietamiento del elemento, se deberá realizar una cuidadosa evaluación a fin de determinar sus causas y poder desarrollar el mejor procedimiento de reparación. Esta evaluación va desde la descripción de las características físicas de la fisura (aparición superficial, profundidad, ancho, estado actual de actividad, ocurrencia antes o después del curado) mediante la inspección visual, toma de medidas y de imágenes, hasta el muestreo y la realización de pruebas en laboratorio.

Se debe resaltar que el pobre desempeño de la junta puede originar también el agrietamiento del elemento, en especial cuando no se realiza una adecuada construcción de la junta. Debido a esto es muy importante realizar una evaluación integral, la que comprenda no sólo la evaluación de las fisuras sino también la evaluación del desempeño de las juntas y del sellador. En la figura 6.4 se muestran algunos defectos constructivos relacionado con la aparición de fisuras.

6.3.2. Reparaciones en las fisuras

Existen varios materiales y procedimientos para la reparación de fisuras. Cada una es utilizada de acuerdo a las características específicas del proyecto. Entre todos estos, a continuación se describen brevemente cuatro procedimientos relacionados con errores constructivos en estructuras hidráulicas: el ensanchamiento y sellado, el sellado flexible, la inyección de polímeros y las técnicas de detención de fisuras.

El ensanchamiento y sellado

Este método involucra el ensanchamiento de la fisura a lo largo de su superficie expuesta para su posterior llenado y sellado con un adecuado material (figura 6.5). Sólo puede ser utilizado en fisuras estáticas (donde no se presenta movimientos importantes posteriormente al agrietamiento del elemento) y en aquellas fisuras que son estructuralmente irrelevantes. Aunque no sea efectivo en reparar fisuras sujetas a una importante presión hidrostática, se puede obtener una disminución del flujo si es utilizado. El ensanchamiento de la fisura se realiza mediante el corte de una abertura lo suficientemente grande para poder recibir el sellador. El ancho mínimo recomendado por el USACE es de 6 mm. Las superficies deben de estar limpias y secas antes de realizar el sellado. El sellado puede realizarse con diferentes materiales. Es común el uso de compuestos epóxicos. El USACE recomienda utilizar uretanos debido a que se mantienen flexibles frente a grandes variaciones de temperatura y por tener un buen desempeño en el sellado de fisuras de hasta 19 mm. de ancho, con una considerable profundidad.

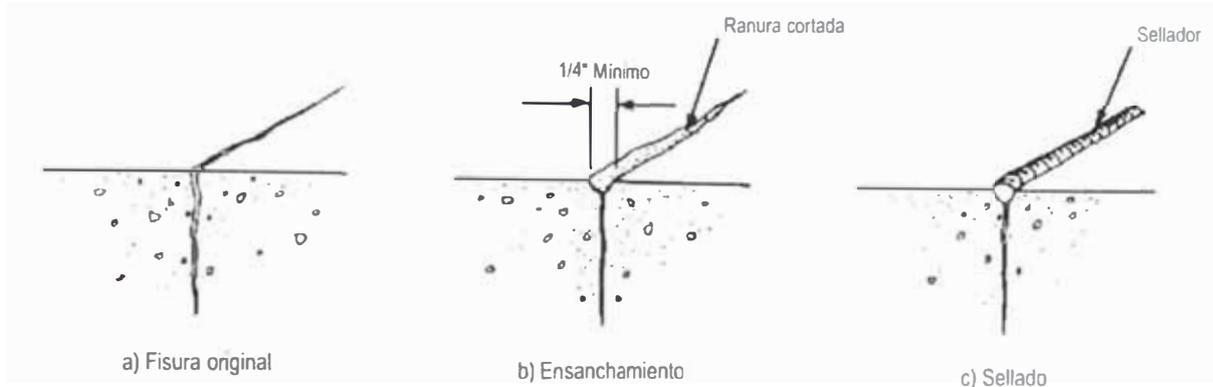


Figura 6.5 Reparación de fisuras mediante el ensanchamiento y sellado

Fuente: USACE: "Evaluation and Repair of Concrete Structures"

Uso de selladores flexibles moldeados in-situ

Este método involucra el ensanchamiento de la fisura para su posterior llenado con un adecuado sellador moldeado in-situ. Difiere del anterior procedimiento en que este constituye la construcción de una junta más que el simple llenado de una fisura, por lo que puede ser utilizado para reparar fisuras grandes y dinámicas. El procedimiento de elaboración de la junta es similar al desarrollado para los selladores moldeados in-situ con la diferencia que es obligatorio el uso de un interruptor de adhesión para permitir al sellador cambiar de forma en la parte inferior sin concentraciones de esfuerzos que puedan hacerlo fallar (figura 6.6). Adicionalmente, si se utiliza para reparar fisuras en estructuras sometidas a bajas presiones hidrostáticas donde existe el movimiento del agua, e puede utilizar una cubierta que confine al sellador. Esta cubierta de oportu puede ser hecha mediante la colocación de una tira de metal, sujetándola con pernos expansibles o con pernos embebidos en el concreto a lo largo de un lado de la fisura. Para mantener la eficiencia, puede ser necesario cortar la superficie del concreto para instalar la cubierta de soporte al ras. Ver figura 6.7.

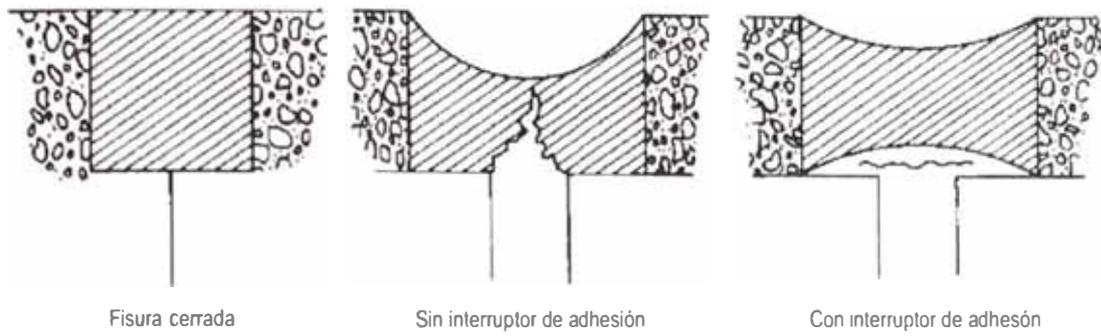


Figura 6.6 Efecto del interruptor de adhesión en el desempeño del sellador moldeado in-situ

Fuente: USACE; "Evaluation and Repair of Concrete Structures"

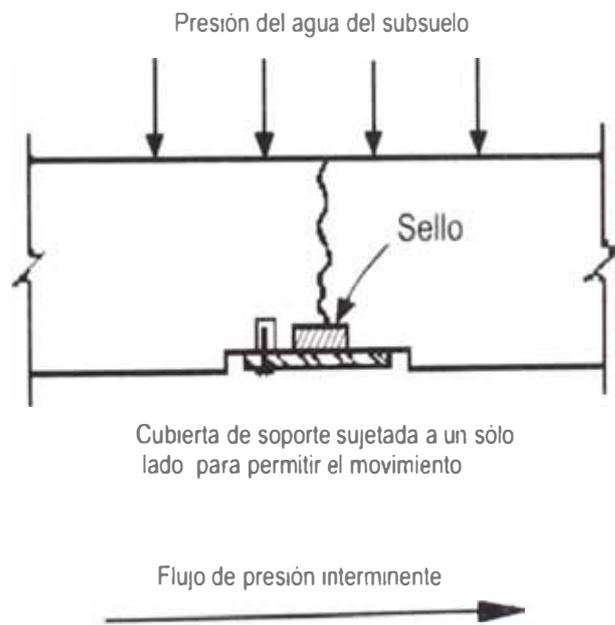


Figura 6.7 Reparación de fisuras mediante el uso de una cubierta de soporte para mantener el sellador en su lugar en contra de la presión externa

Fuente: USACE; "Evaluation and Repair of Concrete Structures"

Inyección de polímero

Los polímeros utilizados en la reparación de fisuras pueden ser clasificados en sistemas de reparación rígidos o flexibles.

Los epóxicos son los sistemas rígidos más comúnmente utilizados en la reparación de fisura estáticas, donde se requiere obtener una estructura monolítica. Estos se aplican sólo en fisuras secas (no pueden ser aplicados en fisuras donde es constante la filtración, no logrando ser secadas) ya que la humedad u otros contaminantes reducen su efectividad.

Por otro lado, los sistemas flexibles son utilizados para parar el flujo del agua y sellar fisuras dinámicas. Estos sistemas sellan la fisura y al mismo tiempo permiten el continuo movimiento en esta, comportándose como una junta funcional. Comúnmente se utiliza resinas de poliuretano hidroactivas, las cuales son de dos tipos básicos: las hidrofóbicas y las hidrofílicas. Mientras que las hidrofóbicas requieren utilizar una cantidad específica de agua, desplazando el exceso y formando espumas rígidas y flexibles; las hidrofílicas se combinan con la cantidad de agua disponible, formando espumas flexibles y geles. Cada trabajo o aplicación debe analizarse en forma particular, debiéndose considerar aspectos como el medio en que se inyectará, las condiciones ambientales, el equipo disponible y la magnitud del problema. Básicamente, la forma de aplicación consiste en la perforación de orificios a lo largo de la fisura en las que se instalan boquillas a través de las cuales se inyecta el líquido a alta presión.

Las técnicas de detención de fisuras

Estas técnicas son utilizadas durante la construcción de estructuras de concreto masivo, donde se requiere detener la propagación de las fisuras entre subsiguientes capas de vaciado. Sólo pueden ser utilizadas en fisuras originadas por la restricción del movimiento y no en aquellas que se originan por una excesiva carga.

Además de seguir un adecuado procedimiento de construcción entre capas sucesivas de vaciado, las siguientes técnicas pueden ser utilizadas para detener las fisuras originadas por la contracción del concreto masivo:

- La más simple técnica consiste en la colocación de una malla de acero de refuerzo sobre el área agrietada. Esta debe de ser rodeada por concreto convencional en vez del concreto masivo utilizado en la estructura.
- Otro procedimiento más complejo consiste en la utilización de una tubería semicircular. La superficie que rodea la fisura es bien limpiada, luego se ancla la tubería sobre la fisura, abriéndole orificios por los cuales ingresan tuberías de inyección. La tubería es cubierta con concreto colocado concéntricamente mediante procedimientos manuales. Finalmente se inyecta lechada por las tuberías con la finalidad de tratar de restituir la integridad estructural de la sección agrietada. Ver figura 6.8.

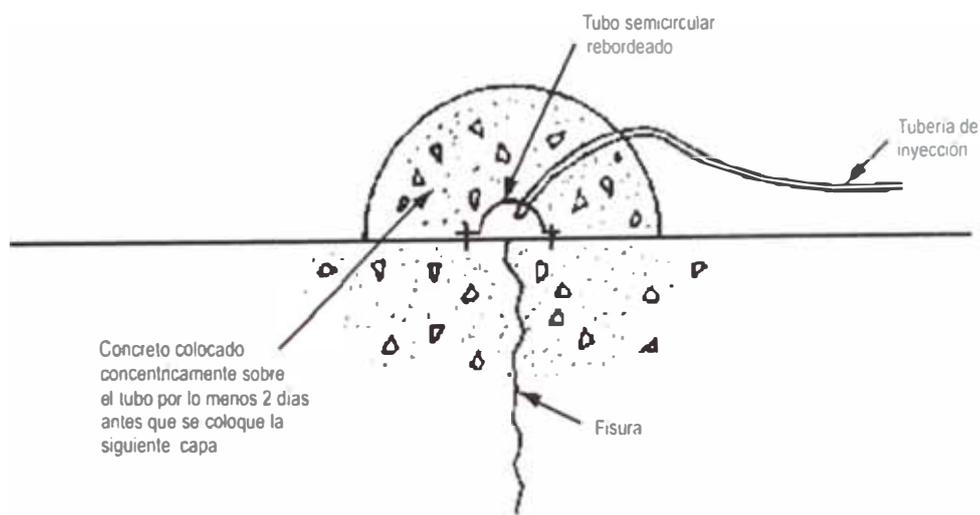


Figura 6.8 Uso de un tubo semicircular como una técnica de detención de fisuras

Fuente: USACE: "Evaluation and Repair of Concrete Structures"

6.3.3. Reparaciones en las juntas de superficie expuesta

Cuando se produce el fallo del sellador en juntas de superficie expuesta, los trabajos de reparación se realizan de acuerdo a la extensión del daño: Cuando estas son de menor magnitud, la reparación podría realizarse utilizando el mismo material. Sin embargo, si el fallo del sellador se ha producido en gran extensión, será necesario el retiro y el reemplazo del material.

El procedimiento de retiro se puede realizar con herramientas manuales o utilizando equipos especiales. Además, si es requerido el redimensionamiento de la junta, mejorando el factor de forma, la abertura en la junta puede ser ampliada mediante el aserrado de la misma. Luego de haber realizado la limpieza de la junta y haber tomado las medidas adicionales con el objetivo de mejorar el desempeño del sellador en la junta, el procedimiento de resellado se realiza siguiendo los procedimientos de instalación indicados con anterioridad.

6.3.4. Reparaciones en las juntas de sellado interior

Cuando se produce el fallo del waterstop y debido a que no es usual el poder reemplazarlo, se debe optar por reparar el fallo mediante el uso de un material o técnica que sea el más adecuado según el tamaño y los movimientos de la junta. Existen una infinidad de materiales y técnicas para reparar la falla del waterstop, a continuación se nombran algunas de estas: (los valores son resultados obtenidos de la evaluación realizada por el U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station)

Instalación de sellos preformados para juntas de expansión

Estos sellos son adecuados en juntas cuyo ancho no sea mayor a 38.1 mm. y donde el movimiento en la junta no supere los 5.1 mm. La elaboración de la abertura se realiza

mediante el a errado, luego se procede con la limpieza mediante el uso del chorro de arena.

Inyección de polímero

Esté método se comporta bien en anchos de hasta 12.7 mm. y donde el máximo movimiento es de 1.3 mm. Para obtener el mejor rendimiento, la inyección del material se debe realizar a las máximas presiones permisibles por las condiciones de reparación. El USACE recomienda el uso del poliuretano hidrofílico.

Uso del sellador moldeado in-situ

Las reparaciones que utilizan un sellador en la cara de la junta aguas arriba son adecuadas en reducir las pérdidas de agua a través de juntas cuyo ancho máximo sea de 1.6 mm. y donde el movimiento máximo no supere los 2.5 mm. El USACE no recomienda el uso de selladores muy flexibles en la reparación de estructuras hidráulicas debido a que no soportan las pequeñas presiones de agua.

Uso de la inyección de polímero y el sellador moldeado in-situ

Este tipo de reparación tiene un buen desempeño cuando el ancho de la junta no sea mayor de 1.6 mm. y donde el movimiento en la junta no supere los 7.6 mm.

Por otro lado, si se determina durante la construcción de la junta de sellado interior defectos constructivos alrededor del waterstop, como es la presencia de cangrejas o la posible formación de juntas falsas, se debe de realizar los trabajos de corrección respectivos antes que se pueda continuar con la colocación del concreto.

En el caso de verificar una posible formación de una junta de dilatación falsa, lo que podría provocar que las juntas de dilatación no trabajasen como tales por haberse colmatado con concreto, se debe de realizar los trabajos de limpieza que retiren el excedente.

En el otro caso, cuando se observe la formación de cangrejas alrededor del waterstop, se puede seguir el siguiente procedimiento de resanes establecido durante la construcción del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC. Este indica lo siguiente: El concreto defectuoso será removido completamente, liberando al waterstop en ambas caras (figura 6.9). Las superficies destinadas a resanes, deberán ser limpiadas y encontrarse secas para la aplicación de la pintura epóxica, la que es indicada para asegurar la unión entre el concreto viejo y el nuevo.

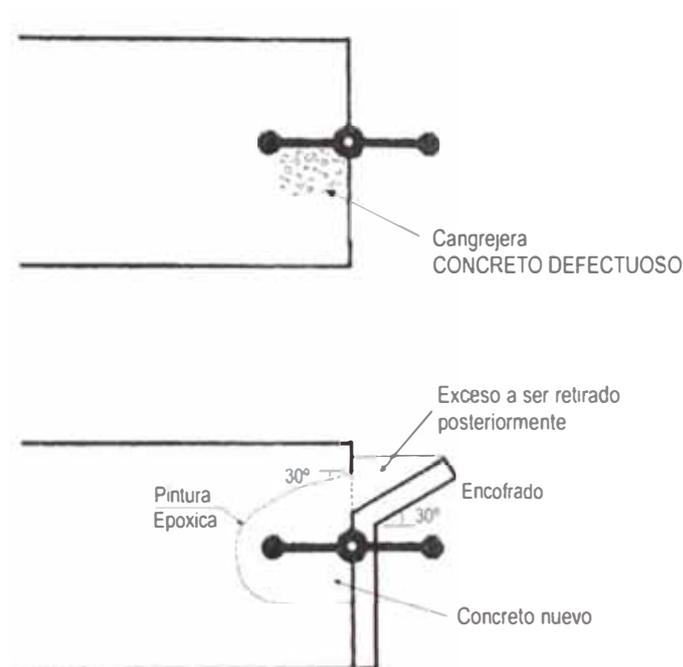


Figura 6.9. Resane en concreto que tiene embebido el water top

Fuente : Documentos del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC – Biblioteca del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI

Finalmente, es muy importante que los trabajos de mantenimiento o de reparación se realicen lo antes posible ya que no sólo evitará la pérdida de agua, sino que también evitarán un mayor deterioro de la estructura debido a la acción erosiva del agua sobre el concreto o sobre el terreno de apoyo, a la corrosión del acero de refuerzo, a la pérdida de funcionalidad de las juntas por una posible obstrucción de las mismas, entre otros.

6.4. Desempeño de diferentes selladores empleados en estructuras de concreto para obras de riego del país

Como el sellado de juntas puede ser realizado con diferentes tipos de material, así como productos, en una gran variedad de climas y bajo condiciones que por lo general no son las ideales, el desempeño del sellador puede que varíe en gran medida.

A continuación se realiza el estudio del desempeño de diferentes selladores instalados en las junta de canales trapezoidales de tres proyectos de irrigación situados en la costa, sierra y selva del Perú. Estos son: el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, el Proyecto Especial RIO CACHI y, el Proyecto Especial ALTO MAYO.

En el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC se estudia los trabajos de mantenimiento de las juntas mediante el reemplazo de un material de base caucho-bituminoso por un material de base poliuretano, en el Proyecto Especial RIO CACHI (PERC) se estudia el desempeño del sellador de base poliuretano y de la mezcla asfáltica, y en el Proyecto Especial ALTO MAYO (PEAM) se estudia la utilización de la mezcla asfáltica en el sellado del canal.

6.4.1. Utilización de mezcla asfáltica en el sellado de las juntas de los canales trapezoidales del Proyecto Especial ALTO MAYO

a) Marco legal y ubicación

El Proyecto Especial ALTO MAYO, es una Institución Pública Descentralizada con carácter multisectorial integrado; cuya finalidad es lograr el desarrollo económico y social en el Valle del mismo nombre y abarca una extensión de 755,519 hectáreas distribuidos de la siguiente manera: 486,448 en la Margen Derecha y 269,071 en la Margen Izquierda del Río Mayo; comprendiendo dentro de su ámbito a las provincias de Moyobamba, Rioja, y parte de Lamas, en el departamento de San Martín.

b) Climatología

El clima de la zona es tropical de sabana lluviosa, semicálida y húmeda, con menores precipitaciones en invierno. La temperatura varía entre 18°C mínima y 24°C máxima, y la precipitación pluvial se produce en todos los meses del año, llegando a un total de 1200 a 1700 mm. La humedad relativa está alrededor del 85%. Además, de los datos obtenidos de las condiciones climáticas observadas entre los años 1996-2001, se obtiene que la estación climatológica de Moyabamba registró las mayores temperaturas mínimas y máximas promedio mensuales de 16 a 21°C y de 26 a 30°C, respectivamente.

c) Canal de Irrigación Progreso: Obra en ejecución

El Proyecto Especial Alto Mayo, desde 1,982 ha venido ejecutando Infraestructuras de riego entre las cuales se destaca los trabajos en el Canal de Irrigación Progreso, ubicado en el CPM. de San Juan de Río Soritor, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja. Esta obra en su III Etapa, tiene como meta llegar hasta los 11+200 Km. de Canal Principal, y los laterales derecho 880 mts e izquierdo 2+400 Km. Beneficiando a más de 600 familias con un total de 1,800 hectáreas mecanizadas, contribuyendo en el aumento de la producción de arroz y en las mejoras económicas de las familias de esta parte del Alto Mayo.

d) Construcción de la junta e instalación del sellador

La construcción del canal se realiza manualmente por el método de paño alternados. El revestimiento del canal tiene un espesor de 7.5 cm., las junta de contracción-construcción se encuentran distanciados a 4 m. y aunque el diseño establecido para la abertura de las juntas especifica 1 cm. de espesor y 2.5 cm. de profundidad, en campo se ha observado dimensiones variables, teniendo aproximadamente 2 cm. de ancho por 2.5 cm. de profundidad.

Adicionalmente se han elaborado en aquellas zonas donde se presentan arcillas expansivas, ranuras longitudinales de 1cm. por 1 cm. a aproximadamente 0,4m. de la base del canal. Estas son labradas con herramientas manuales (Ver fotos AM-01).



Fotos AM-01. Labrado de juntas longitudinales en zonas de arcillas expansivas
(Canal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)

El sellado de las juntas se ha establecido mediante el uso de una mezcla asfáltica constituida por asfalto diluido RC-250 y arena gruesa, en la proporción de 1 galón de asfalto por 0.015 m³ de arena gruesa utilizando como solvente kerosene. El procedimiento a seguir según las especificaciones contractuales es el siguiente: La mezcla asfáltica es introducida por simple colado después de haber sido calentado hasta los 160°C – 180°C de acuerdo a la fabricación nacional. Antes del colocado, las superficies que entrarán en contacto con la mezcla asfáltica serán perfectamente limpiadas de cualquier sustancia ajena, tales como polvo, grasa, aceites, tierra, agua, etc. Para que permita un buen contacto y adherencia. El acabado superficial del relleno con mezcla asfáltica tendrá que ser realizado con mucho cuidado, con el fin de no formar irregularidades abruptas que son perjudiciales para el flujo del agua.

En el campo, se ha seguido el siguiente procedimiento: Se zarandea la arena para luego ser secada sobre llama directa durante un intervalo aproximado de 2 horas. Luego se calienta el asfalto sobre llama directa aproximadamente por media hora y se procede a realizar la

mezcla con la arena gruesa. Antes de la colocación de la mezcla, se cubre con brea toda la superficie de la abertura de la junta. La mezcla asfáltica es colocada en la junta y compactada con herramientas manuales. Al final se realiza el acabado superficial mediante el retiro del material excedente, ubicado a ambos lados de la junta sellada, utilizando una herramienta manual de corte (Ver fotos AM-02 al AM-5). Mediante este procedimiento se tiene un rendimiento de instalación aproximado de 30 juntas transversales por día.



Fotos AM-02. Procedimiento de mezcla de asfalto con arena gruesa
(Canal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)



Fotos AM-03. Imprimación con brea y colocación de la mezcla asfáltica
(Canal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)



Fotos AM-04. Compactación de la mezcla asfáltica y retiro del excedente
(Canal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)



Foto AM-05. Sellador de mezcla asfáltica luego del procedimiento de instalación.

e) Desempeño del sellador

En general, el comportamiento de la mezcla asfáltica en las juntas no ha sido satisfactorio. En el Canal Principal Irrigación Progreso así como en el canal Lateral N°2, canales que aún no comienzan a dar servicio, el sellador ha fallado por adhesión, por cohesión y por extrusión (Ver fotos AM-06 y AM-07).

Entre estos defectos encontrados, hay que indicar que el fallo por extrusión del sellador en el Canal Lateral N°2 tiene la característica de haberse presentado en forma constante solamente en uno de los laterales del canal. Según la información obtenida del personal del proyecto, el fallo se debió a un error durante la instalación del sellador: el sobrellenado de la junta (Fotos AM-07). En el otro lateral del canal se observa el desprendimiento del sellador de la junta y la falla del sellador por cohesión; no siendo esto último, constante. (Fotos AM-07).



Fotos AM-06. Falla del sellador de mezcla asfáltica por adhesión
(Canal Irrigación Progreso y Canal Lateral N°2 – Proyecto Especial Alto Mayo)



Fotos AM-07. Falla del sellador de mezcla asfáltica por extrusión y por cohesión
(Canal Lateral N°2-Zona Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)

Si se revisa el diseño de la junta, se puede comprobar que el espaciamiento de las juntas así como su diseño siguen los lineamientos del USBR indicados en el capítulo 5. Si bien durante la construcción de las juntas se ha aumentado el ancho, incrementando la cantidad de material requerido para sellar la junta; este aumento mejora el factor de forma, disminuyendo los esfuerzos que a de soportar el sellador durante el movimiento de los paños adyacentes y ayudando a disminuir la posibilidad del fallo del sellador.

Como esto no se ha cumplido, se tiene que realizar un meticuloso estudio a fin de determinar el origen del fallo. Debido a que no se tiene información respecto a las propiedades del material como sellador, ni se tiene un método de cálculo probado para la determinación del diseño de la junta en canales trapezoidales; se desarrolla el siguiente procedimiento empírico, evaluando el diseño de la junta mediante el procedimiento establecido en el capítulo 4.

Puesto que las juntas son juntas de contracción, se asume que el diseño es influenciado por la contracción de los elementos adyacentes a la junta. En el cálculo no se considera la retracción debido a que existe una alta humedad relativa en la zona o constantes precipitaciones y porque se ha construido el canal por el método de paños alternados. Entonces, el cálculo del diseño de la junta queda resumido a la siguiente expresión:

Siendo:

$$w_{\min} = L \cdot \alpha \cdot (T_{\max} - T_{\min}) \cdot \left(\frac{100}{k} \right)$$

L = Longitud de la sección,
 α = Coeficiente de dilatación,
 T = Temperatura, y
 k = Rango de movimiento permisible (%)

Despejando k , se tiene:

$$k = L \cdot \alpha \cdot (T_{\max} - T_{\min}) \cdot \left(\frac{100}{w} \right)$$

Si se asume que las temperaturas máximas y mínimas son iguales a 16°C y 30°C, la longitud de la sección efectiva es igual a 4m., el coeficiente de dilatación es igual a $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ y que el ancho de la junta varía entre 1 cm. y 2 cm. Se tiene que el rango de movimiento permisible del sellador debe estar entre 2.8 - 5.6% para que no falle el sellador. Si se considera a la mezcla asfáltica como una masilla; según las propiedades establecidas en el capítulo 3, este tendría un rango de movimiento permisible alrededor del 3%. Como se ha calculado que el sellador ha requerido un mayor rango de movimiento, entonces se puede concluir que la falla del sellador tiene su origen en la inadecuada

selección del material, lo cual se agrava más por un inadecuado factor de forma y una errónea instalación.

La generalidad del mal comportamiento del sellador se debe a que también se ha verificado que este material no ha tenido un buen desempeño en estructuras que se encuentran en servicio. Como ejemplo se tiene el canal de derivación de la Bocatoma Naranjos, donde se puede apreciar la pérdida de elasticidad que ha sufrido el material, fallando por cohesión y pre entando flora en la junta (fotos AM-08).



Foto AM-08. Falla del sellador de mezcla asfáltica por cohesión. Nótese la presencia de flora en la junta.

(Canal de derivación de la Bocatoma Naranjos – Proyecto Especial Alto Mayo).

Entonces, si se toma como referencia lo indicado por Peter L. Critchell, se concluye que si la expansión de este material endurecido es seguida por la contracción, el movimiento no puede ser acomodado sin que se fracture el sellador (falla por cohesión) o falle por adhesión.

También hay que indicar que se han observado errores constructivos durante la elaboración de las juntas. Estos son: la elaboración de juntas de expansión en vez de juntas de contracción-construcción y la falta de continuidad del concreto en la junta de construcción entre dos paños continuos (fotos AM-09). Así mismo, se ha encontrado la omisión del sellador en las ranuras longitudinales elaboradas en aquellas zonas de suelos expansivos y el fallo del sellador debido a defectos durante su instalación (la mezcla no fue bien compactada en la junta) o por una mala fabricación de la mezcla (mezcla pobre de asfalto).



Fotos AM-09. Errores constructivos durante la elaboración de la junta: elaboración de juntas de expansión y la falta de continuidad del concreto entre paños continuos. (Canal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo)

El primer error constructivo fue subsanado mediante la adición de mortero hasta la altura en que se obtiene una adecuada profundidad de diseño. Con respecto al segundo se debe de indicar que la falta de continuidad del concreto no sólo conlleva a una mayor pérdida de agua luego que el sellador llega a fallar sino que también incrementa la posibilidad del afloramiento de agua en la junta, lo cual no permite un adecuado sellado y también, conlleva al fallo del sellador (foto AM-10).



Foto AM-10. Afloramiento de agua en la junta. (Canal Irrigación Progreso – Proyecto Especial Alto Mayo).

f) Conclusiones y recomendaciones

El uso de un material inadecuado más la posibilidad de una defectuosa fabricación del material, más errores en el proceso constructivo de la junta así como en la instalación del sellador, son los factores que han determinado el fallo del sellador de mezcla asfáltica.

Por lo tanto, se recomienda la selección de otro material que tenga un mayor rango de movimiento permisible y el sellado de toda junta elaborada con este nuevo material. Ya que no están incluidas en los alcances del proyecto las operaciones de mantenimiento, se recomienda tomar en consideración durante la selección del nuevo material, aquel que no requiera un mantenimiento por un largo periodo de tiempo. Además, se recomienda realizar un riguroso control a fin de evitar errores constructivos.

6.4.2. Empleo del sellador a base de poliuretano en los trabajos de mantenimiento de las juntas de los canales trapezoidales del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC

a) Descripción general del proyecto

Las obras del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, han sido concebidas para aprovechar el potencial hídrico del río Santa, en la atención de las demandas de agua de riego de 144,385 ha. de los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama en el departamento de La Libertad, en la solución del desabastecimiento de agua potable para Trujillo, así como, en la generación de energía eléctrica. Con la ejecución de las obras de la 1era. y 2da. etapas se ha mejorado el riego de 28,263 ha. y existe un potencial de incorporación de áreas nuevas de 46,665 ha. en los valles e intervalles de Chao, Virú y Moche, las que están siendo incorporadas progresivamente.

Para el presente estudio se ha realizado la evaluación del mantenimiento de las juntas del Canal Madre, en el tramo ubicado desde la progresiva Km. 54+500, zona Cortina Forestal Sector 1 - Estación La Agonía.

b) Climatología

La zona presenta características ambientales propias de los desiertos de la costa peruana, con clima muy cálido y seco. De los datos obtenidos de las condiciones observadas por la estación meteorológica de San José en el año 2002, se han registrado grandes variaciones de temperaturas ambientales durante todo el año, estando entre los 11.7°C y 32°C. La precipitación pluvial se produce sólo en algunos días del año, llegando a un total de 42,6 mm. Y la humedad relativa es variable, estando entre los 49 y 95%.

c) Precedente en el uso de selladores

El sellado de las juntas en los canales trapezoidales se realizó según las especificaciones contractuales, utilizando como sellador una masilla plástica bituminosa colocado con imprimante compatible. El Producto utilizado fue un sellador de base caucho-bituminoso que se aplica en caliente o en frío en juntas verticales como horizontales. El fabricante recomienda lo siguiente: Las juntas a impermeabilizar deberán estar limpias, secas y firmes. El factor de forma de la junta debe ser de 1:1,2 o 1:1,5 con un mínimo de 8mm:10mm y un máximo de 30mm:45mm. Es indispensable la imprimación de las paredes de la junta, este debe estar al tacking cuando se aplica la masilla. Además, el sellador tiene un rango de expansión-compresión permisible de $\pm 5\%$.

Durante la puesta en operación, se verificó problemas en el comportamiento de los sellos instalados en ciertos tramos del canal con regimenes hidráulicos supercríticos y también, en ciertos tramos ubicados en zonas eólicas.

En el primero de los casos, luego que se demostrará por ensayos realizados en distintos laboratorios que la calidad del producto correspondía al especificado y que su colocación siguió los procedimientos indicados por el fabricante, se concluyó que este material no soportaba el esfuerzo de arrastre del flujo en régimen supercrítico.

Por otro lado, en las zonas eólicas se observó el desprendimiento del sellador. Esto se debía a que el concreto de revestimiento del canal con gran superficie expuesta estaba sujeto a un significativo intervalo de variación térmica, llegando a calentarse hasta bordear los 50°C durante varias horas del día. Como la dilatación originaba que las juntas se cerraran con la consiguiente elevación del sello bituminoso, que habiéndose calentado adoptaba una consistencia muy plástica, este material era deformado y arrancado por las arenas calientes.

Entonces, se adoptaron las siguientes soluciones:

- *Para los tramos sometidos a flujo hidráulico supercrítico, se efectuaron pruebas reales en un tramo representativo de mayor velocidad con diferentes productos. En dichas pruebas se tomó en cuenta las características elásticas, la adherencia, la durabilidad y el factor de forma de los sellos; concluyéndose en la utilización de cualquiera de los siguientes productos: un sellador del tipo epoxídico y un sellador de base poliuretano. Posteriormente se descartó el uso del producto del tipo epoxídico debido a la eventualidad de la ocurrencia de problemas logísticos de suministro del producto.*
- *Para los tramos sometidos a los efectos de la migración de arenas eólicas se decidió por el reemplazo del material. Entre los productos propuestos se optó por el uso del mismo sellador a base de poliuretano. Los otros dieron buenos resultados en las pruebas, mas su utilización fue descartada por razones de costo.*
- *Al final, los trabajos adicionales comprendieron el reemplazo del material de sellado de juntas del Canal Madre en el tramo del Paquete "B" concluido hasta el Valle de Chao y la colocación del material en juntas nuevas en el tramo Chao-Virú. Esto significó la elaboración de alrededor de 150 000 m. lineales de juntas nuevas en los canales trapezoidales; además del reemplazo de 40 000 m. lineales de juntas en aproximadamente 5 Km. de canal. Mientras que el producto del tipo epoxídico fue empleado en el sellado de juntas nuevas en aproximadamente 4 Km., en el resto de trabajos se empleo el producto a base de poliuretano.*

De acuerdo con las especificaciones técnicas y recomendaciones de los fabricantes, el proceso de colocación de los materiales fue como sigue:

- *En la zonas de reemplazo, se extrajo el material bituminoso existente.*
- *Limpieza con arenado de las juntas, para garantizar superficies de adherencia adecuada con los nuevos productos*
- *En las juntas nuevas se efectuó la limpieza de junta con agua y cepillo para la extracción de la membrana de curado y se sopleteo con aire comprimido.*
- *En todas las juntas, se colocó tiras de teknopor de $\frac{3}{4}$ " , teniendo cuidado de que sobre dicho material de relleno quede una altura libre de 1.5 cm. hasta la superficie del revestimiento.*
- *En el caso del producto del tipo epoxídico, el sellador elástico fue aplicado en las juntas directamente con el uso de espátula para el relleno de juntas.*
- *Para la aplicación del producto a base de poliuretano previamente se aplicó el imprimante recomendado por el fabricante en las superficies de contacto lateral.*
- *Con la finalidad de obtener el acabado final, con rasante de 5mm. bajo el concreto de revestimiento de canal, se empleó espátulas de goma, logrando el acabado deseado y consiguiendo la profundidad de diseño (1 cm.).*

En el gráfico 1 se muestra el plano de ubicación del reemplazo del material de sellado en juntas, planta del canal y detalle de la junta típica.

d) Comportamiento de los selladores

En general, el comportamiento del sellador de base poliuretano ha sido satisfactorio. Este no ha mostrando deterioro alguno, salvo en el cambio de color, lo que no ha afectado su funcionamiento (Ver foto CH-01). El diseño de la junta esta de acuerdo a las especificaciones del USBR y se describe en el capítulo 5.

Por otro lado se ha observado que en algunos tramos del canal, sujetos a la acción de las arenas eólicas y donde no se realizó el reemplazo del producto de base caucho-bituminoso por otro material, se ha producido el fallo del material (fotos CH-02 y CH-03). Aunque la falta de reemplazo se debió a que durante los trabajos de inspección se determinó que no

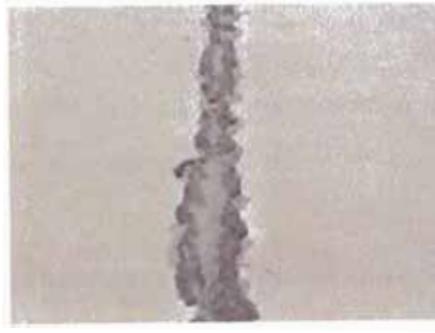
era necesaria su sustitución, luego de un tiempo de servicio se ha requerido realizar labores de mantenimiento en la junta para su reemplazo.



Foto CH-01. Satisfactorio desempeño del sellador de base poliuretano. (Canal Madre, zona cortina Forestal Sector 1 – Proyecto Especial Chavimochic).



Fotos CH-02. Fallo por adhesión del sellador de base caucho-bituminoso. Nótese la acumulación de arena y la presencia de flora en las juntas. (Canal Madre, zona cortina Forestal Sector 1 – Proyecto Especial Chavimochic).



Fotos CH-03. Fallo por adhesión y cohesión del sellador de base caucho-bituminoso. (Canal Madre, zona cortina Forestal Sector 1 – Proyecto Especial Chavimochic).

Hay que señalar que aun cuando estudios realizados determinaron el origen de la falla del sellador de base caucho-bituminoso debido a la acción de las arenas eólicas, también se ha observado el fallo del material por cohesión (foto CII-03). Lo que conduce al supuesto de que el fallo no sólo se debió a las condiciones del medio.

Entonces, de las especificaciones del fabricante se destaca lo siguiente:

- *El fabricante indica que el factor de forma es la relación del ancho entre la profundidad. Da como relación sugerida 1:[1.5,2].*
- *En juntas con movimiento debe evitarse la adherencia del sellador al fondo, colocando una tira de poliestireno permitiendo con ello una mayor amplitud de dilatación de la junta sin dañar el sellador.*
- *En zona con una fuerte concentración de rayos UV se debe proteger el producto colocando arena encima o en su defecto una lechada de mortero hasta que entre en servicio.*

De las propiedades establecidas para el tipo de material según el ACI (resumidas en el cuadro 3.1), de las especificaciones dadas para el reemplazo del material (gráfica 1) y de las condiciones en que se encontraban el sellado de las juntas observadas durante los trabajos de mantenimiento, se tiene lo siguiente:

- *La junta elaborada tiene una dimensión aproximada de 15 mm. de ancho por 35 mm. de profundidad. Estas cumplieron con su función (foto CH-04).*
- *El sellador no contaba con un material de respaldo, por lo que su factor de forma era dado por las dimensiones de la junta. Entonces, el factor de forma (profundidad/ancho) es aproximadamente igual a 2.3:1.*
- *El sellador es instalado en zonas donde existe una fuerte concentración de rayos UV, sólo estando protegido el material que se encuentra debajo del nivel de las aguas del canal.*
- *Siendo un sellador termoplástico, este tiene la propiedad de no resistir la indentación o la intrusión de sustancias extrañas (dureza baja) en zonas de altas temperaturas.*

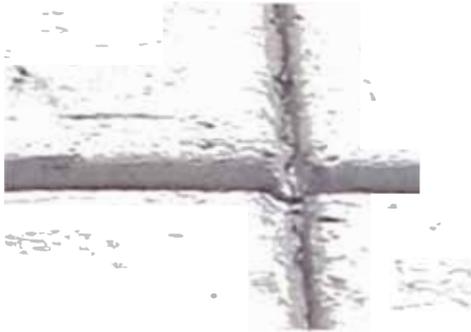


Foto CH-04. Grieta desarrollada a lo largo de la junta labrada. Se verifica un adecuado diseño. (Canal Madre, zona cortina Forestal Sector 1 – Proyecto Especial Chavimochic).

Entonces se concluye lo siguiente:

- *El factor de forma elaborado es mayor a los límites establecidos por el fabricante, los cuales son también mucho más grandes que los recomendados por el ACI para un buen funcionamiento del sellador (Ver capítulo 4). Aún cuando este cumpla con lo establecido por el USBR para el sellado de juntas según la alternativa 5 (ver capítulo 5), el USBR a su vez no recomienda el uso de sellos de base asfalto. Entonces, se había cometido el error de elaborar una junta con un factor de forma que hacía que se ejerzan sobre el sellador mayores deformaciones que este podía soportar.*
- *El sellador sufrió alteraciones en sus propiedades por haber sido instalado en una zona donde existe grandes concentraciones de rayos UV y en las que se presentan grandes variaciones de temperatura. Estos pudieron ser la causa de una consistencia muy plástica luego del calentamiento del material y que dio origen a la intrusión de la arena caliente en el centro y en los bordes del sellador.*
- *El inadecuado factor de forma más el cambio de las propiedades del material con la intrusión de la arena, conllevó a la falla por adhesión y cohesión. Agravándose más la situación por la adición del movimiento migratorio de las arenas finas de carácter eólico, lo que produjo la deformación y arrastramiento del sellador.*

Por lo tanto, el fallo del sellador se debió al uso de un material cuyas propiedades no eran las adecuadas para la zona y cuya instalación no siguió los lineamientos establecidos por el fabricante ni las consideraciones de diseño para juntas.

e) Operaciones de mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento de juntas han comprendido el reemplazo del sellador deteriorado por el tiempo de servicio en el Canal Madre por un material elastomérico de mejor calidad.

Cabe señalar que durante los trabajos de mantenimiento, se han realizaron pruebas reales para seleccionar el producto a emplear como alternativa al uso del sellador de base poliuretano. Sin embargo estos productos fueron rechazados debido a diferentes observaciones: Al momento de su aplicación no presentó un grado de trabajabilidad adecuado, en las juntas transversales presentó un acabado irregular, parte del material se desprendió antes de que fragüe o el material falló por adhesión y cohesión (foto CH-05). Luego, como se observó que el producto de base poliuretano continuaba presentando un buen estado de conservación, se decidió continuar con su empleo.



Fotos CH-05. Pruebas reales para seleccionar el producto a utilizar en los trabajos de mantenimiento. Los materiales propuestos como alternativa fallaron por adhesión y cohesión. (Canal Madre - Proyecto Especial Chavimochic).

El procedimiento de reemplazo del sellador de base caucho-bituminoso por el sellador de base poliuretano fue como a continuación se enumera:

- 1. Retiro del sellador de base caucho-bituminoso con platinas afiladas y limpieza de la junta eliminando los restos de sellador. Este procedimiento se realiza a tempranas horas, ya que el retiro se puede ver dificultado por el excesivo calor que cambia las*

propiedades del material. El rendimiento promedio calculado en el sitio de trabajo es de 12.5 m. por hora. Con una cuadrilla de 6 hombres se realiza aproximadamente 600 m. en un día.

2. *Arenado de la junta. El arenado se realiza con el objetivo de retirar cualquier remanente dejado durante las operaciones manuales de retiro.*
3. *Sopleteado de la junta. Luego del arenado, se realiza el sopleteado a fin de retirar la arena así como cualquier otro material que se haya depositado en la junta.*
4. *Preparación del imprimante. Para poder realizar la aplicación del imprimante en la junta, este será vertido en varios envases, de acuerdo a la cantidad del personal a utilizar para dicha actividad.*
5. *Aplicación del imprimante con brochas. La aplicación del imprimante puede ser realizado antes o después de la colocación del material de respaldo. El tiempo de espera antes de la colocación del sellador es de 10 minutos.*
6. *Colocación del material de respaldo. El material de respaldo utilizado es una espuma de polietileno flexible de células cerradas. Las dimensiones de este material de respaldo dependen del ancho y de la profundidad de la junta, su preselección se realiza tomando en cuenta las medidas indicadas en los planos. Anteriormente se había dispuesto la colocación de una espuma rígida de poliestireno expandido (Teknopor). Este producto se derretía al entrar en contacto con el imprimante, por lo que era necesario el protegerlo con masking tape (cinta adhesiva protectora) o realizar la imprimación con anterioridad. Con el cambio de material de respaldo, se solucionó este problema.*
7. *Preparación del sellador de junta. El sellador de base polietileno es de dos componentes: base y activador. Estos dos componentes se mezclan proporcional y uniformemente por 8 minutos. Los 2 primeros minutos se realiza la mezcla manualmente para llevarlo a un estado plástico uniforme y sin grumo, y los 6 minutos siguientes se realiza la mezcla con un taladro de paletas de baja velocidad.*
8. *Aplicación del sellador. La aplicación se realiza con espátulas justo después de haberse concluido con la mezcla de los dos componentes. Se tiene un rendimiento de 24 m. lineales por galón.*



Foto CH-06. Barrido de la superficie del canal



Foto CH-07. Retiro del sellador



Foto CH-08. Retiro del material remanente de las superficies de la junta



Foto CH-09. Arenado para el posterior sopleteado de juntas



Foto CH-10. Aplicación del Imprimante



Foto CH-11. Colocación del material de respaldo



Foto CH-12. Mezcla manual de los dos componentes del sellador de base poliuretano



Foto CH-13. Mezcla mediante el batido de los 2 componentes del sellador de base poliuretano



Foto CH-14. Colocación del sellador



Foto CH-15. Colocación del sellador sobre el material de respaldo



Foto CH-16. Acabado de la junta



Foto CH-17. Retiro del material sobrante para su reutilización

9. Acabado de junta. *Para el acabado final se utilizan bandas de jebe. Con esta herramienta se trata de eliminar todas las burbujas de aire atrapadas y de conseguir la profundidad de diseño. Posteriormente se retira el material sobrante a ambos lados de la abertura para su reutilización.*

Como ejemplo de este procedimiento de mantenimiento se tiene aquel realizado desde la progresiva Km. 54+500 del Canal Madre, zona Cortina Forestal Sector 1 - Estación La Agonía, en el mes de diciembre del 2002. Se puede observar la secuencia de trabajos en las fotos CH-6 al CH-17.

Por otro lado, los resanes en aquellas zonas donde se ha producido el agrietamiento de la losa, con un ancho mayor o igual a 2mm., se ha debido de realizar con la inyección de polímero o con el uso de un sellador elastomérico moldeado in-situ (fotos CH-18). El procedimiento de reparación se ha descrito anteriormente.



Fotos CH-18. Reparación de fisuras en el revestimiento del canal. Nótese como el sellador de base caucho-bituminoso ha fallado por adhesión y ha extrudido de la junta.

f) Conclusiones y recomendaciones

Por lo tanto, del estudio realizado al comportamiento de los selladores utilizado se concluye lo siguiente:

- *El fallo del sellador de base caucho-bituminoso en las superficies sobre el nivel de las aguas del canal no sólo se debió a la acción de las arenas eólicas, sino que sus características no eran las adecuadas para las condiciones ambientales y de diseño impuesta en la zona del proyecto.*
- *El sellador de base poliuretano ha tenido un buen desempeño, por lo que la decisión de utilizarlo en los trabajos de mantenimiento es acertada.*

Por último se recomienda lo siguiente:

- *Durante los procedimientos de mantenimiento de juntas mediante el resellado, tratar de realizar los trabajos cuando el canal no está en servicio ya que el arenado y el posterior sopleteado originan que los materiales retirados, ya sean desechos del sellador o la arena, sean transportados por el agua. Esto no sólo afecta la conducción sino que va en perjuicio de todo sistema de riego instalado aguas abajo de la zona en mantenimiento.*
- *Tomar las medidas de seguridad para el empleo del producto utilizado como sellador. Debido a que el producto tienen como componente un producto que tiene un químico posiblemente cancerígeno, se deben de tomar las medidas de seguridad para su empleo. Ya que el peligro de su uso, si se han seguido las indicaciones de preparación dadas por el fabricante, se manifiesta únicamente durante los procedimientos de mezcla e instalación; el personal debe utilizar los implementos adecuados para evitar la inhalación prolongada de los gases y el contacto con los ojos y la piel: gafas, guantes y mascarillas de seguridad. Mayor información se da en las especificaciones de seguridad dadas por el fabricante.*
- *Continuar realizando pruebas para la obtención de otros productos como alternativas para el sellado de juntas. Para tales pruebas se recomienda realizar una preselección de aquellos materiales o productos cuyas propiedades vayan de acuerdo a las condiciones impuestas por el medio ambiente y por el diseño de junta realizado.*

6.4.3. Desempeño del sellador en las juntas de los canales trapezoidales del Proyecto Especial RIO CACHI

1) Descripción general del proyecto

El Proyecto Especial RIO CACHI tiene su ámbito en las provincias de Huamanga y Huanta, del departamento de Ayacucho. Geográficamente se encuentra ubicado entre los 3000 y 3850 m.s.n.m. El proyecto tiene como objetivos la incorporación de 21463 ha. netas de áreas de cultivo al sistema de riego, generación de 16,8 MW de energía eléctrica, suministro de agua en 0,95 m³/s para consumo doméstico e industrial a Ayacucho y 0.15 m³/s para preservación ecológico y, elevar el nivel de vida del poblador de Ayacucho.

2) Climatología

El clima de la zona es templado, de verano cálido e invierno seco. De acuerdo a la estación climatológica de Huamanga, se tiene una temperatura media anual de 15.4°C, con una variación media mensual máxima de 25.3 °C en noviembre y media mensual mínima de 4.7°C en Julio. Por otro lado, en las zonas más altas se tiene registrado variaciones de temperatura entre -7.6°C a 17.6°C. Desde 1995 hasta el 2002 se han registrado diferentes valores de humedad relativa, de evaporación y de precipitación en diferentes zonas. La humedad relativa media mensual varía de 40% a 76.4%, la evaporación media mensual varía desde 2.6 mm. a 165.1 mm. y, la precipitación media mensual varía desde 7.7 mm. a 247.3 mm.

3) Comportamiento del sellador

Para el sellado de las juntas de canal trapezoidal se han utilizado dos tipos de materiales, una mezcla asfáltica y un sellador de base poliuretano de dos componentes que tiene una cantidad de movimiento permisible de ±25%. Estos materiales fueron utilizados en

diferente tramos del canal principal. A continuación se realiza el estudio del comportamiento de cada sellador según el tramo donde fue instalado:

Canal Derivador Colector Apacheta-Choccoro

El canal se encuentra ubicado en la zona alta del proyecto, donde las temperaturas varían entre los $-7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. El canal fue elaborado mediante el uso de maquinaria de encofrado deslizante y para el sellado de todas las juntas se utilizó un sellador de base poliuretano de dos componentes. El diseño de las juntas es similar a las recomendadas por el USBR (ver el capítulo 5). Debiendo tener un espesor de 7.5 cm., el ancho de la junta tiene un ancho de 10 mm. y una profundidad de 25 mm., aproximándose a los límites mínimos recomendados. El diseño difiere por ser conversador con respecto al espaciamiento de la junta, 3 m., siendo menor que el mínimo recomendado de 3.7 m. (ver el plano CT-01/RC-01).

Se ha observado que a lo largo del canal se ha producido el agrietamiento de varios paños y aunque las dimensiones de las juntas construidas varían de un paño a otro, no se ha observado el fallo del sellador (fotos RC-01).



Fotos RC-01. Agrietamiento aleatorio del revestimiento
(Canal Derivador Colector Apacheta-Choccoro – Proyecto Especial Río Cachi)

En general, el agrietamiento del revestimiento no es uniforme ni constante, se presenta en diferentes direcciones y en paños al azar. Además, de lo observado en campo y de la información obtenida del personal del proyecto, se tiene que el ancho del revestimiento es variable (de 5-6 cm. en el centro a 9 cm. en los bordes de los laterales), siendo menor a 7.5 cm. del espesor de diseño.

Aunque se puede deducir que el fallo del canal se debió al error constructivo del canal, se deben de realizar mayores estudios para determinar exactamente las causas del agrietamiento: si fue por la incorrecta elaboración de la junta, por el incorrecto espesor del revestimiento, o por otra causa. Se pone en consideración la siguiente suposición: Si se infiltraron grandes cantidades de agua, el agua estancada detrás del revestimiento se congeló debido a las bajas temperaturas de la zona, aumentando de volumen y ejerciendo el suficiente empuje para producir el agrietamiento del revestimiento. Además, si las dimensiones de las juntas no eran lo suficientemente grandes para asegurar la formación de un plano débil por donde el concreto debería de agrietarse, este sería un factor adicional que colaboró con el agrietamiento del concreto en otros lugares que no fueran las juntas.

Mientras tanto, los resanes se han realizado con el uso del mismo sellador elastomérico de base poliuretano moldeado in-situ (foto RC-02). El procedimiento de reparación se ha descrito anteriormente.



Foto RC-02. Reparación de grietas utilizando el sellador de base poliuretano utilizado en el sellado de las juntas. (Canal Derivador Colector Apacheta-Choccoro – Proyecto Especial Río Cachi).

Canal Derivador Colector Chicllarazo-Cuchoquesera

El canal se encuentra ubicado en la zona con mayores precipitaciones del proyecto, teniendo una anual media de 1456.6 mm., registrada por la estación Tunsulla entre los años 1992-2002. El canal fue elaborado mediante procedimientos manuales y para el sellado de todas las juntas se utilizó la mezcla asfáltica. La elaboración de las juntas se realizó con una mezcla de mortero pobre 1:10 (cemento-arena) y sobre esta se colocó la mezcla asfáltica con una relación de 1:4 de asfalto y arena.

En general, el sellador no ha tenido un buen desempeño. Este ha perdido por completo sus cualidades plásticas, volviéndose rígido y fallando por adhesión. Esto se observa a lo largo de todo el canal, presentando vegetación en el lugar de la falla (fotos RC-03).

Hay que señalar que en el canal se ha elaborado una ranura longitudinal sin sellar. Y aunque es necesario que toda junta este sellada, el haber realizado su sellado no hubiera sido muy significativo por las características del material utilizado.

Por otro lado, en un tramo de canal se observa la formación de juntas frías en la parte superior de los laterales del canal. El riesgo que aparezcan fisuras en estas juntas aumentará cuando el canal llegue a trasportar mayores caudales (foto RC-04).



Fotos RC-03. Fallo del sellador por adhesión y presencia de flora en la junta
(Canal Derivador Colector Chicllarazo-Cuchoquesera – Proyecto Especial Río Cachi)



Foto RC-04. Juntas frías en la parte superior del revestimiento
(Canal Derivador Colector Chicllarazo-Cuchoquesera – Proyecto Especial Río Cachi)

Canal Derivador Cuchoquesera-Allpachaca

El canal se encuentra ubicado a la salida de la presa Cuchoquesera. Este fue elaborado mediante procedimientos manuales y para el sellado de las juntas se utilizó la mezcla asfáltica y el sellador de base poliuretano. Este último sólo fue usado a la salida de la presa, en el resto fue utilizada la mezcla asfáltica.

El sellador de base poliuretano ha tenido un buen desempeño salvo en el último tramo de colocación, donde se continuo con la mezcla asfáltica (foto RC-05). En este tramo se presencia la falla del sellador por cohesión. Esto puede deberse a una incorrecta instalación del sellador ya que se evidencia la falta del material de respaldo (fotos RC-06).



Foto RC-05. Fallo de ambos selladores en el zona de intercambio del material
(Canal Derivador Cuchoquesera-Allpachaca – Proyecto Especial Río Cachi)

Por otro lado, la mezcla asfáltica ha tenido un mal desempeño como en el anterior canal. Este ha perdido sus cualidades elásticas, volviéndose rígido y fallando por adhesión (fotos RC-06).



Fotos RC-06. Fallo del sellador de base poliuretano por cohesión y de la mezcla asfáltica por adhesión (Canal Derivador Cuchoquesera-Allpachaca – Proyecto Especial Río Cachi)

Canal Principal Colector Chiara-Chontaca

El canal se encuentra ubicado en la zona baja del proyecto. Este se caracteriza por tener un diseño de junta muy conservador con respecto a las recomendaciones dadas por el USBR (ver capítulo 5). Tenido un espesor variable de 10 a 7.5 cm., se diseñó la junta con un ancho de 16 mm. y una profundidad de 41 mm., medidas que superan las máximas recomendadas de 12 mm. y 34 mm. para canales de 10 cm. de espesor. Además, el espaciamiento de diseño es de 2.4 m., el cual es mucho menor al mínimo recomendado de 3.7 m. para revestimientos de 7.5cm (ver el plano C'T-02/RC-02).

Para el sellado de casi la totalidad de las juntas se ha utilizado el sellador de base poliuretano. Este producto ha tenido un buen desempeño (foto RC-07) a excepción de dos sectores donde se ha observado el fallo del material: desde el Km. 24 al Km. 28, aproximadamente y alrededor del Km. 35+500.



Foto RC-07. Sellado de juntas con un sellador de base poliuretano. (Canal Principal Colector Chiara-Chontaca – Proyecto Especial Río Cachi).

En el primer sector, se ha observado que el material ha fallado por adhesión y cohesión debido a lo siguiente:

Insuficiente material aplicado. No se instalo el suficiente material para cumplir con las dimensiones de diseño ni con un factor de forma adecuado ni con las mínimas especificaciones del fabricante, teniendo un espesor menor que 6 mm. Esto se evidencia por una falta de unión en los bordes de los lados de la junta (foto RC-08), por la falta de apoyo del sellador sobre el material de respaldo (foto RC-09) y por el arrastre del material por el flujo de aguas, dejando al descubierto el material de respaldo.

Errado acabado del sellador. Esto se evidencia por la presencia de material en exceso (fotos RC-10) y por la presencia de burbujas de aire atrapadas dentro del material (foto RC-11).

Falta de aplicación. No se llegó a instalar el sellador a lo largo de toda la junta. Esto se evidencia por la falta de sellador sobre los laterales del canal (fotos RC-09).

Elaboración incorrecta de la junta. Se elaboraron juntas con anchos variables y diferentes al diseño. Esto se evidencia por la presencia del material de respaldo a poca profundidad (foto RC-12) y por haberse medido anchos en superficie de 25 mm. siendo el de diseño de 16 mm. Diseño que además es superior a las recomendaciones dadas por el USBR para canales cuyo espesor es igual a 10 cm. (Ver capítulo 5).



Foto RC-08. Falta de adhesión del sellador con los laterales de la junta



Foto RC-09. Insuficiente material y falta de apoyo sobre el material de respaldo.



Foto RC-10. Colocación del sellador en exceso, sin un acabado final



Foto RC-11. Presencia de burbujas de aire atrapadas dentro del sellador.



Foto RC-12. Exposición del material de respaldo



Foto RC-13. Ausencia total del sellador

Fotos RC-08 al RC-13. Problemas encontrados durante la evaluación del sellador Canal Principal Colector Chiara-Chontaca (Proyecto Especial Rio Cachi)

Entonces, la inapropiada instalación del sellador originó que este fallase por adhesión y por cohesión, desprendiéndose paulatinamente y llegando finalmente a ser arrastrado por la corriente.

También se debe indicar que, según observaciones realizadas por el personal del proyecto, la total ausencia del sellador en algunas juntas pudo deberse a acciones de vandalismo (foto RC-13). Algunos propietarios aledaños al canal retiraban el material de sello para poder hacer uso de las aguas del canal mediante la temprana instalación de mangueras subterráneas.

En el segundo sector se observó el fallo del sellador por adhesión en unos 200 m. de canal, desprendiéndose totalmente y siendo arrastrado por la corriente (foto RC-14). Además, este no tiene una mínima resistencia a la abrasión, desprendiendo pequeñas partículas en polvo al simple roce con la mano.

De lo observado y de lo narrado por el personal del proyecto se deduce que la causa del fallo del sellador se debió a una inadecuada mezcla de los componentes, el cual se realizó manualmente con una varilla de fierro, produciendo un material no apto para su aplicación. Además, en algunos casos el material de respaldo fue expulsado hacia fuera (foto RC-15), lo que deduce una incorrecta elaboración de junta.

Por lo tanto, la incorrecta elaboración del sellador más el posible error constructivo de la junta determinó el desprendimiento del material por completo.

Por otro lado, se ha observado que se han elaborado ranuras longitudinales a lo largo del tramo del canal, estas no tienen instalado ningún sello pero no presentan fisuras (foto RC-16).



Foto RC-14. Desprendimiento y arrastre del sellador.



Foto RC-15. Material de respaldo expulsado hacia fuera.



Foto RC-16. Ranuras longitudinales sin sellar. (Canal Principal Colector Chiara-Chontaca – Proyecto Especial Río Cachi).

4) Conclusiones y Recomendaciones

Por lo tanto, de la observación del comportamiento de los selladores instalados, se concluye lo siguiente:

- *La mezcla asfáltica ha tenido un mal desempeño, fallando por adhesión por lo que no se recomienda su uso en esta zona.*
- *El sellador de base poliuretano ha tenido un buen desempeño a excepción de aquellas zonas donde se ha presenciado la falla debido a dos principales causas: la inadecuada elaboración de la junta y la incorrecta instalación del sellador.*

Entonces se recomienda lo siguiente:

- *Realizar una minuciosa inspección a fin de evitar los errores constructivos y proceder a realizar una adecuada instalación del sellador, tomando en cuenta las especificaciones dadas por el fabricante.*
- *Realizar estudios en aquellas zonas donde se ha producido el agrietamiento del revestimiento a fin de averiguar las causas de la falla.*
- *No se debe dar uso a la mezcla asfáltica como sellador en los futuros trabajos de sellado.*
- *Realizar el inmediato reemplazo del material en la zona donde se ha producido el fallo del sellador a base poliuretano debido a la incorrecta mezcla de los componentes, ya que este se ha convertido en una sustancia que contamina las aguas del canal.*
- *Las aberturas longitudinales tienen la función de orientar el agrietamiento del revestimiento por lo que se les debe considerar como juntas de contracción, teniendo que ser selladas.*
- *Prevenir los actos de vandalismo mediante un constante monitoreo del canal.*

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El estudio de las juntas en estructuras de concreto para obras de riego y la evaluación de las mismas en diferentes zonas del país ha permitido establecer las siguientes conclusiones:

Sobre el diseño de la junta:

- *El diseño de juntas se debe realizar para cada tipo de estructura hidráulica.*
- *Las juntas se diseñan tomando en cuenta los cambios volumétricos del concreto y las propiedades del sellador a utilizar.*
- *Mientras que todas las juntas de los canales trapezoidales son juntas de contracción, las juntas en los canales rectangulares son juntas de expansión o de contracción. En ambos casos, las juntas pueden formar juntas de construcción según sea el procedimiento de construcción y la programación de obras.*
- *Las junta de contracción transversales en los canales trapezoidales, según lo analizado en los proyectos especiales Chavimochic y Alto Mayo, y resumido en la gráfica C1, han tenido un buen desempeño siguiendo las recomendaciones del USBR. Esto conduce a establecer el siguiente cuadro:*

<i>Diseño de junta</i>	<i>Espesor de losa (e)</i>	
	<i>e = 75</i>	<i>e = 100</i>
<i>Espaciamiento máximo entre juntas transversales</i>	<i>4000</i>	<i>4000</i>
<i>Ancho de la junta</i>	<i>10</i>	<i>10</i>
<i>Profundidad de la junta</i>	<i>25</i>	<i>32</i>

** Las unidades en milímetros.*

Cuadro C1. Dimensiones de juntas transversales en canales trapezoidales

El diseño de juntas presentado en el anterior cuadro se puede adoptar en todo proyecto hidráulico que tenga características climatológicas similares a las zonas investigadas tal como se muestra en la figura C1.

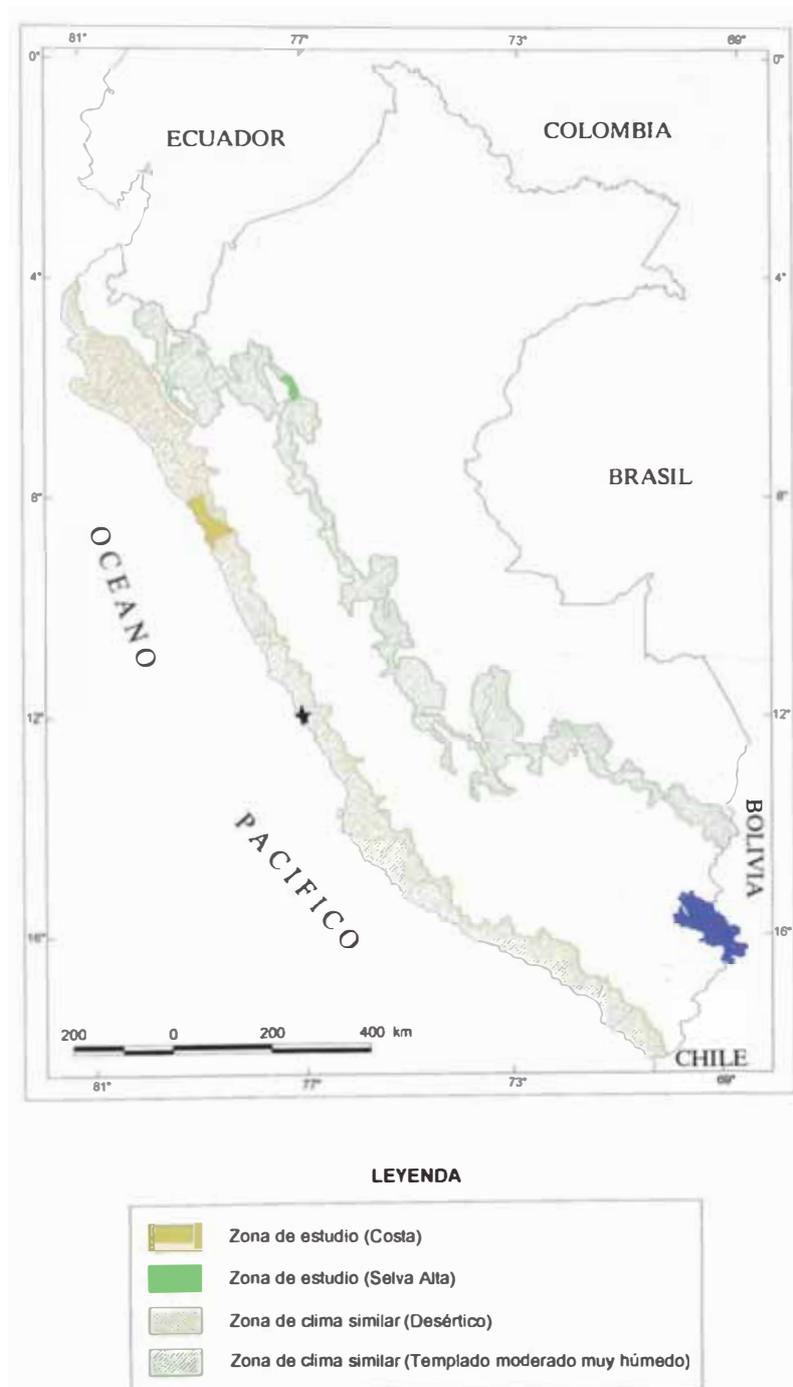
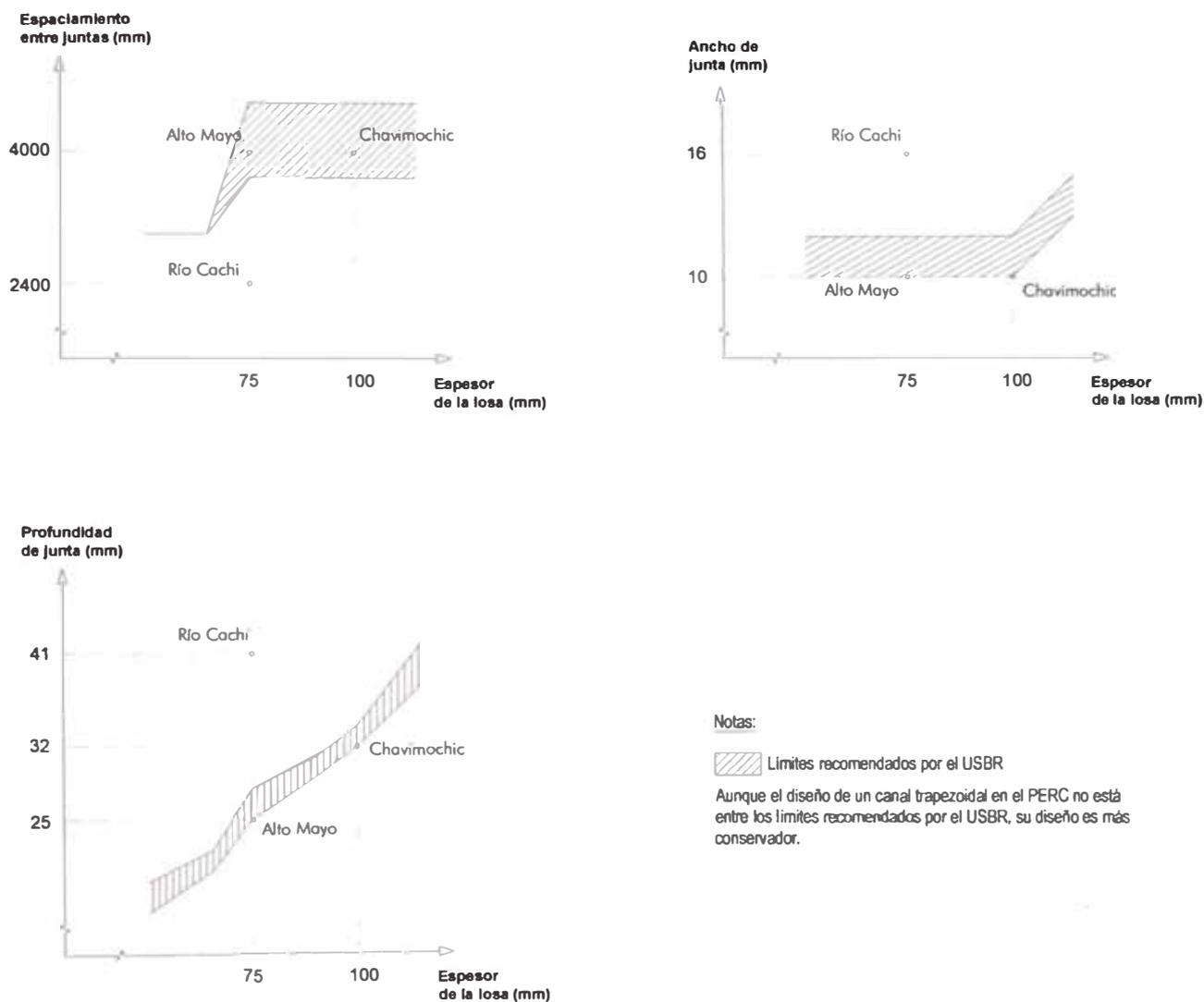


Figura C1. Mapa de zonas con climas similares a las zona de estudio.



Gráfica C1. Espesor de la losa vs. Dimensiones de la junta

- Aunque las juntas de los canales trapezoidales en el Proyecto Especial Río Cachi han tenido un satisfactorio desempeño, su diseño es muy conservador. Según se observa en la gráfica C1, su diseño excede inclusive los límites recomendados para canales de menor espesor, por lo que no se le puede considerar como un diseño concluyente para ser utilizado como referencia.

Lo que si se puede concluir es que no se deben utilizar valores más conservadores a los ya utilizados en el Proyecto Especial Río Cachi debido a que generarían un gasto innecesario en aquel proyecto que utilice tales medidas.

- *Las juntas de contracción longitudinales se ubican en aquellos canales trapezoidales donde el perímetro de la sección es mayor que 9m. Según lo analizado en el proyecto especial Chavimochic, el espaciamiento de estas juntas es aproximadamente igual al espaciamiento de las juntas transversales. Además y según lo analizado en el proyecto especial Alto Mayo, este tipo de junta también se ubica a una distancia aproximada de 0.4 m. con respecto al fondo del canal en zonas de suelos expansivos. Las dimensiones de las juntas longitudinales y transversales son iguales.*

Sobre el sellador:

- *El mal desempeño del sellador es una de las principales causas de la pérdida de agua en las obras de riego. Esto tiene su origen en la incorrecta selección del sellador o en la incorrecta instalación del mismo.*
- *Se debe descartar por completo el uso de mezclas asfálticas como sellador de juntas ya que han tenido un pobre desempeño fallando inclusive antes que la estructura entre en servicio.*
- *Los selladores elastoméricos son los materiales más apropiados para el sellado de juntas. Entre estos materiales destaca el uso del sellador de base poliuretano, el cual ha tenido un buen desempeño en diferentes obras de riego.*
- *La selección del menor factor de forma permisible mejora el desempeño del sellador, disminuyendo la cantidad de material requerido para el sellado y por ende, el costo de instalación del sellador.*
- *El sellado de las juntas en los canales trapezoidales se realiza con un material de respaldo a fin de obtener el factor de forma deseado.*

- *El diseño de las junta de contracción y expansión en los canales rectangulares se ciñe a las dimensiones del waterstop utilizado como principal sistema de sellado, siendo siempre ubicado en paralelo a las caras de la losa a sellar.*

Sobre el proceso de construcción y mantenimiento:

- *El diseño de la junta debe estar incluido en los planos de obra, indicando geometría de elaboración y materiales a utilizar en el sellado.*
- *Se deben seguir las recomendaciones del fabricante del sellador para evitar puntos de conflicto en la instalación del sellador.*
- *La supervisión de las juntas debe ser ejecutada por un profesional con experiencia y conocimiento de la tecnología y aplicación de la junta.*
- *La instalación del sellador se debe de realizar como último proceso en la construcción del canal, debiendo haber un mínimo de 7 días entre la elaboración de la junta y la instalación del sellador.*
- *Toda junta requiere labores de mantenimiento a largo plazo.*
- *Al final, la pérdida de agua no sólo afectará el funcionamiento de la estructura sino también al ecosistema de la zona donde se encuentra ubicada.*

7.2. Recomendaciones

- *Se recomienda no realizar la instalación del sellador en temperaturas máximas o mínimas ya que el sellador podría fallar al exceder, por contracción o expansión, su rango permisible de movimiento.*
- *Se recomienda utilizar materiales accesorios que sean compatibles con el material a utilizar como sellador. La incompatibilidad puede originar la alteración de las propiedades de los materiales utilizados, lo que posiblemente conduciría al reemplazo y por ende, al aumento del costo de instalación así como del tiempo para realizar el mismo.*

- *Se pone en consideración la utilización de cuerdas u otro material similar como relleno temporal para juntas. Esto evitaría la obstrucción de la junta con materias extrañas, permitiendo al mismo tiempo que las juntas funcionen como tales. Luego, cuando se requiera realizar la instalación del sellador, este material se podría retirar pudiendo ser reutilizado.*
- *Cuando se haya producido el fallo del sellador en un corto período de tiempo, se recomienda realizar los trabajos de mantenimiento mediante el estudio del mejoramiento del sistema de sellado que conduzca al reemplazo del material por otro producto cuyo desempeño haya probado ser mejor que el del material ha ser reemplazado.*
- *Al constatar la aparición de grietas en las estructuras, se recomienda realizar estudios a fin de determinar las principales causas de su origen y así poder optar por el mejor sistema de reparación.*
- *Se sugiere el desarrollo de estudios relacionados con los cambios volumétricos que pueda sufrir el concreto de estructuras de riego en diferentes zonas del país a fin de obtener la relación de estos con los factores externos e internos y realizar un cuadro que sirva de guía para el desarrollo de mejores diseños.*
- *Se recomienda realizar mayores estudios con respecto a la aplicabilidad de todos aquellos materiales recomendados a ser utilizados como selladores. En especial, el uso de selladores de base polisulfuro-brea en las juntas del revestimiento de canales. Este material es recomendado tanto por el USBR como por el ACI para el sellado de juntas en dichas estructuras, por lo que se puede esperar un satisfactorio desempeño si es utilizado.*

Asimismo se debe realizar pruebas con todos los productos recomendados por los fabricantes de selladores a fin de verificar las propiedades de cada uno y de esta forma garantizar su adecuado funcionamiento como sellador. Entre estas pruebas se debe destacar la realización de ensayos reales en las peores condiciones de instalación para determinar su aplicabilidad.
- *Se recomienda realizar una investigación para determinar la factibilidad del uso del revestimiento de canales con bloques prefabricados en nuestro medio, así como la más eficiente y por ende económica elaboración de juntas en este tipo de estructura.*

- *Se recomienda, en todo proyecto de envergadura, realizar estudios de pérdidas de aguas al fin de establecer las principales causas y poder optar por la mejor solución.*
- *Se recomienda la elaboración de un manual guía para el diseño de juntas para toda estructura de concreto armado tomando como base las características propias de nuestro medio.*
- *Por último, todo proyecto debe contar con un adecuado archivo. El archivo será una herramienta muy importante para la investigación en la determinación de las posibles causas de falla. Se debe tener un inventario al detalle de todos los documentos de todas las obras del proyecto, especialmente informes finales, informes del detalle y cálculos realizados por el proyectista, cuadernos de obra y planos. La carencia de alguno de estos recursos puede conllevar a la adopción de algún método que no sea el adecuado en los procedimientos de mantenimiento o reparación. Entonces, todo ente encargado en el desarrollo de un proyecto de gran envergadura debe hacerse responsable de la custodia de toda documentación referente a las estructuras que se hayan construido, que se estén construyendo y que se planeen construir.*

BIBLIOGRAFIA

1. *ACI Committee 207, "207.2R: Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete", ACI, 1995*
2. *ACI Committee 209, "209R: Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", ACI, 1992*
3. *ACI Committee 224, "224R: Control of Cracking in Concrete Structures", ACI, 1990*
4. *ACI Committee 224, "224.1R: Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures", ACI, 1993*
5. *ACI Committee 224, "224.3R: Joints in Concrete Construction", ACI, 1995*
6. *ACI Committee 302, "302.1R: Guía para la construcción de Pisos y Losas de Concreto", traducido por ACI-Perú, 1996*
7. *ACI Committee 309, "309.2R: Identificación y Control de Defectos Superficiales en Concreto Encofrado, relacionados con la Compactación", traducido por ACI-Perú, 1998*
8. *ACI Committee 350, "350R: Environmental Engineering Concrete Structure", ACI, 1989*
9. *ACI Committee 504, "504R: Guide to Sealing Joints in Concrete Structures", ACI, 1990*
10. *BLAIR, Larry A.; BORN, Robert A., "The Albuquerque Channel Joint", en SP-94: Second World Congress on Joint Sealing and Bearing Systems for Concrete Structures, ACI, Texas, USA, 1986*
11. *BUSSELL, M.N.; CATHER R., "Design and Construction of Joints in Concrete Structures", CIRIA, London, 1995*
12. *CAMPBELL, Roy L., "Repair of Failed Waterstops: An Evaluation of Products and Techniques", U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station*
13. *CASTELLARES, V; ESPEZUA, M; OLMO, C., "Sellado de Juntas de los Canales Trapezoidales en el Proyecto Especial Chavimochic", en el Libro de Ponencias del Congreso Nacional de Ingeniería Civil, CIP, Ica – Perú, 1992*

14. CHOWCHUVECH P; GEE C., "Specifying Expansion Joint Width in Supported Concrete Slabs", en *Concrete International Vol. 25 No. 3, ACI International, March 2003*
15. COLAN SUBAUSTE, José E., "Técnicas de Reforzamiento y Reparación de Edificaciones de Concreto Armado que sufren Deformaciones de Origen Físico y Químico". Tesis de Grado, FIC-UNI, Lima, 1989
16. COMISION FEDERAL DE LA ELECTRICIDAD, "Manual de Tecnología del Concreto", Sección 3: concreto en estado endurecido. Editorial Limusa, México D.F., 1994
17. CORONADO DEL AGUILA, Francisco, "Diseño y Construcción de Canales", FIC-UNI, Lima, 1992
18. CRITCHELL, Peter L., "Joints and Cracks in Concrete", Contractors Records, London, 1968
19. DE LAS CASAS PASQUEL, Jaime, "Algunos Aspectos Importantes para Lograr un Buen Cemento", Séptima parte, Compañía Peruana de Cementos Pórtland, Lima
20. HOFF, G.C; HOUSTON, B.J., "Nonmetallic Waterstops", en *ACI Journal*, enero de 1973
21. JOHNS, Henry, "Joint Sealing in Reclamation Canals", en *ACI Journal*, enero 1973
22. KINORI, B.Z., "Manual of Surface Drainage engineering", Vol.1, Elsevier pub. Co., New York, 1970
23. KRAATZ, D.B., "Revestimiento de Canales de Riego". Colección FAO: Fomento de tierras y aguas N°1, Roma, 1977
24. NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J., "Tecnología del Concreto", Editorial Trillas, México, 1998
25. NOVAK, P; MOFFAT, A; NALLURI, C., "Estructuras Hidráulicas", McGraw Hill, Bogotá, 2001
26. NUÑEZ SMITH, Jorge L., "Alternativas de revestimiento de Canales de Riego para el Departamento de Puno". Informe de Ingeniería, FIC-UNI, Lima, 1997
27. PASQUEL CARBAJAL Enrique, "Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú". Libro N°17 de la Colección del Ingeniero Civil, 1era. Edición, CIP, Lima, 1993

28. PHILIP C., John. "Selladores y Adhesivos para Construcción", 1era. Edición, Editorial Limusa, S.A., México D.F., 1978
29. PRIALE, Jaime A., "Las Obras Hidráulicas de Concreto en el Perú", ASOC'EM, Lima, 1999
30. RIVERA FEIJOO, Julio, "Diseño Estructural de Obras Hidráulicas", en *El Ingeniero Civil* N°116, CIP, Lima, Mayo-Junio 2000
31. ROSSELL CALDERON, César A., "Irrigación". Libro N°14 de la colección del ingeniero civil, 2da. edición, CIP, Lima, 1998
32. SCHOKLISTSCH A., "Construcciones Hidráulicas" Tomo II, Editorial Gustavo Gilis S.A., Barcelona, 1968
33. SWIHART, Jay, "Canal Sealants for Use on Green Concrete", United States Bureau of Reclamation, Department of the Interior, 1999
34. USACE, "Evaluation and Repair of Concrete Structures", Department of the Army, Washington D.C., 1995
35. USACE., "Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures", Department of the Army, Washington D.C., 1994
36. USACE, "Waterstops and Other Preformed Joint Materials for Civil Works Structures", Department of the Army, Washington D.C., 1995
37. USBR, "Concrete Manual", 8va. Ed., United States Department of the Interior, Washington D.C., 1988
38. USBR, "Guide to Concrete Repair", United States Department of the Interior. Technical Service Center
39. VALLARINO, Eugenio, "Obras Hidráulicas", Madrid, 1997
40. Varios autores, "Construcción de Estructuras, Manual de Obras". 5to. Volumen de la Colección del Constructor, 4ta. Edición, CAPECO, Lima, 1983
41. Varios autores, "Diseño de Obras hidráulicas, Sistemas de conducción: Canales, sifones y acueductos", 1era. edición, ACI-UNI, Lima, 1994
42. Varios autores, diversos documentos del Proyecto Especial Chavimochic, del Proyecto Especial Río Cachi y del Proyecto Especial Alto Mayo.
43. ZEGARRA C., Luis, "Juntas de Construcción". Artículo complementario del libro *Supervisión de Obras de Concreto*, ACI-Perú