

686-14 RECIENTES INNOVACIONES EN LOS METODOS DE FABRICACION DE TUBOS DE HORMIGON. TUBOS CONTINUOS Y TUBOS SIN ARMADURA

(No-joint concrete pipe poured continuously in trench)

W. B. Lenhart

De: "ROCK PRODUCTS", vol. 59, nº 5, mayo 1956, pág. 170

(Un nouveau procédé de fabrication de tuyaux en béton sans armature)

J. von Dewitz

De: "REVUE DES MATERIAUX", nº 487, abril 1956, pág. 95

La demanda de tubos de hormigón, cuyo incremento ha sido considerable en los últimos años, ha determinado, paralelamente, un crecimiento de la calidad exigida.

Respondiendo a esta tendencia, y con la finalidad de intentar corregir las imperfecciones existentes en las técnicas actuales de la fabricación de tubos de hormigón, se han puesto a punto dos nuevos métodos de fabricación. En ambos casos se ha prescindido de la armadura, satisfaciéndose, sin embargo, todas las exigencias de resistencia que fijan las normas respectivas. Y, en cuanto a su estanqueidad, mientras en uno de los métodos se logra mediante una forma especial de manguito, en el otro se llega al máximo, al conseguirse fabricar tubos continuos, sin juntas.

Vamos a presentar, a continuación, cada uno de dichos procedimientos por separado.

1. FABRICACION DE TUBOS CONTINUOS DE HORMIGON

El procedimiento de fabricación es sencillo, sin ninguna complicación.

La máquina empleada consiste esquemáticamente, en un molde tubular de acero, de diámetro relativamente grande, con un molde interior de menor diámetro; ambos están abiertos en el mismo extremo, y el externo presenta una abertura, sobre la cual se ha dispuesto una tolva, por la cual se vierte y se compacta el hormigón, hasta que rellene todo el espacio comprendido entre los dos moldes. Esta máquina se va desplazando lentamente mediante un cable arrastrado por un torno.

Para la construcción de este tipo de tubo de hormigón se requieren tres operarios, como mínimo, suponiendo que el hormigón utilizado procede de una central hormigonera. Uno de los peones alcanza el molde interno de aluminio, lo coloca sobre su cabeza, se agacha en la zanja e introduce el molde en la máquina, sujetándolo mediante unos pequeños travesaños transversales; estos moldes se enganchan unos en otros, con lo cual se evita la posibilidad de que puedan aparecer espacios huecos. Después, cuando se retiran los travesaños, el molde se desploma parcialmente; posteriormente, cuando el hormigón ha fraguado, se retiran, facilitando la operación el hecho de que se encuentran enganchados unos con otros. El segundo hombre, que también se encuentra en la zanja, maneja el generador eléctrico y el torno de arrastre. El tercer operario, fuera de la zanja, vigila el funcionamiento del apisonador y la descarga del hormigón desde el camión, en que se ha transportado, hasta la tolva de la máquina. Una vez vertido el hormigón, se riega con un compuesto de curado. Algunos días después se cubre la zanja.

Los tubos se han fabricado, hasta el momento, con diámetros mínimo y máximo de 24 pulgadas (60,96 cm) y 60 pulgadas (152,40 cm), respectivamente; estos diámetros varían de 6 en 6 pulgadas (15,24 cm). Se piensa construir, en un futuro próximo, tubos de 84 pulgadas (213,36 cm). El espesor de las paredes es de $2\frac{1}{2}$ pulgadas (6,35 cm)... 6 pulgadas (15,24 cm).

Ninguno de los tubos presenta armadura. Desde luego, se forman innumerables grietas de retracción y expansión, extraordinariamente finas (como capilares), aunque con el fango se tapan inmediatamente. Además, los fabricantes afirman que las perturbaciones producidas por retracción y expansión quedan reducidas a un mínimo, como consecuencia de la restricción de movimiento impuesto por la unión entre el tubo y la zanja, hecho que actúa como una armadura.

Los gastos de trabajo son del orden de $1/4$ de los necesarios para la fabricación y colocación de los tubos corrientes de hormigón; el gasto total de instalación es una pequeña fracción del que se requiere para la fabricación y colocación de los tubos normales.

2. FABRICACION DE TUBOS SIN ARMADURA

Este procedimiento permite conseguir tubos de hormigón sin armar, con manguito internamente acampanado, y longitudes de 1 a 2 m. La característica más importante de este método se encuentra en el hecho de que dichos tubos son perfectamente estancos hasta su ruptura, bajo una presión interna de 40 kg/cm^2 , aproximadamente, que corresponde a su resistencia a tracción anular; simultáneamente, presentan elevadas resistencias a compresión y flexión, en el sentido longitudinal. Esto significa que un tubo de 30 cm de diámetro se encuentra totalmente seco al exterior bajo una presión interna de 9 atmósferas.

Desde luego, hay que advertir que este método de fabricación no pretende eliminar ni el tubo centrifugado de alta calidad, armado y con un diámetro interno máximo de 2,50 m, ni el simple tubo normal, de un metro, con empalme cónico. El tubo Phlomag en cuestión constituye, más bien, un complemento de los tubos fabricados hasta el momento.

Materias primas. Dosificación

Se emplea, como aglomerante, cemento portland normal, con una resistencia mínima de 275 kg/cm^2 .

El árido disponible depende, evidentemente, de las condiciones locales. En el caso presente, comprende las granulometrías siguientes: arena de lago, 0 - 3 mm (con una gran proporción de finos, 0,2 - 1), mojada; y arena de lago, 0,5 - 4 mm (muy áspera); fragmentos de roca, 6 - 10 mm y 10 - 15 mm, con un 5% de granos de tamaño superior, alcanzando 12 y 18 mm. Los fragmentos más gruesos no sirven más que para las paredes más gruesas.

El conjunto de los áridos se encuentra muy limpio. Presentan una resistencia intrínseca elevada y un débil contenido (muy inferior a 1%) de materia deleznable. Los fragmentos son, por una parte, cúbicos, y, por otra, aplanados; la arena presenta un grano redondo.

Se ha escogido, para la composición, una granulometría discontinua. No se podía renunciar, por una parte, a una cierta proporción, tan elevada como sea posible, de granos gruesos; pues se sabe, por experiencia, que la resistencia a flexo-tracción de la pared del tubo queda mejorada en una proporción del orden del 20%, con relación a la que se alcanza en el caso de emplearse grano redondo. Por

otra parte, un contenido elevado de arena (grano redondo), de un orden de tamaño comprendido entre 0,2 y 1,5 mm, aumenta la compacidad y la docilidad del hormigón.

Teniendo en cuenta las características de la prensa empleada, es preciso que el tamaño máximo de los granos no sea superior a un 25% del espesor de la pared del tubo. El grano más fino (0 - 0,2 mm), necesario para constituir la proporción de harina, se encuentra contenido en cantidad suficiente en la arena de lago mencionada en primer lugar. La relación de mezcla (expresada en peso) es 1:4,3, que corresponde a una dosificación de cemento de 430 kg/m^3 de hormigón compactado.

Tanto los áridos como el cemento se almacenaron en silos; al retirarlos de los mismos se pesaron en una báscula dosificadora. A continuación, se mezclaron con una hormigonera de contracorriente de 300 l, primero en seco durante 1 minuto y después 2 minutos en húmedo. La adición de agua se lleva a cabo mediante un contador de agua; este agua se añade a una temperatura de unos 40°C , y el hormigón fresco se encuentra a unos 20°C en el momento de su puesta en obra. La relación A/C es 0,45, y la consistencia es la de tierra húmeda. La densidad aparente del hormigón fresco compactado es de $2,40 - 2,45 \text{ kg/dm}^3$ por término medio. La constancia del contenido de agua es muy importante para la fabricación. La temperatura del recinto de fabricación no debe descender por debajo de 10°C .

Prensa

La prensa utilizada moldea los tubos, con su manguito acampanado, en moldes dispuestos verticalmente, mediante un pistón compresor, animado de un movimiento ascendente, y unas placas de presión eclipsables, que trabajan radialmente. El número de vueltas del pis-

tón compresor se regula para el diámetro del tubo, que se ha de fabricar, mediante un tren de tres velocidades. El molde del tubo, al cual se da su forma externa, provisto del molde de la lengüeta suspendido, se encuentra firmemente calzado entre la placa de base y la mesa de servicio.

En una primera compresión, el hormigón, con consistencia de tierra húmeda, es compactado hasta un peso de 2,4 - 2,45 kg/dm³, en estado fresco. Después, mediante una segunda compresión, es posible aplicar un revestimiento interior especial, destinado a proporcionar al tubo una cierta resistencia a las aguas agresivas; dicho revestimiento se combina de forma íntima con la pared fresca del tubo de hormigón. El manguito acampanado queda moldeado mecánicamente durante la compresión.

Fabricación

Una vez realizado el amasado del hormigón, pasa de la hormigonera a un silo destinado al almacenamiento del hormigón, situado debajo de la hormigonera. Desde este silo se conduce el hormigón a la prensa, mediante una canaleta, regulándose el flujo de material mediante un vibrador. El hormigón fresco cae verticalmente sobre el pistón giratorio, y es proyectado por éste sobre las paredes del molde, donde es recibido por las placas de presión. De esta forma, se consigue que la compactación del hormigón sea uniforme a lo largo del tubo; la distribución granulométrica es también uniforme en toda la pared del mismo. Durante su descenso, el pistón compresor alisa la pared interior del tubo de una forma impecable. Después, se levanta el pistón para proceder al tratamiento de la superficie interna, una vez introducida la primera materia correspondiente y, a continuación, se vuelve a descender.

Una vez realizada la compresión, el manguito en campana se pule mecánicamente, se levanta la mesa de trabajo, y se retira el tubo, dentro de su molde, transportándolo hasta el lugar de desmoldado. No es necesario proceder a retocar el tubo desmoldado.

A continuación, se procede a fijar el molde siguiente. Como el desmoldado tiene lugar 1 1/4 horas, aproximadamente, después de haber fabricado el tubo, es posible llevar a cabo una fabricación con tinua con 6 moldes.

Tratamiento posterior, control y almacenamiento

El tratamiento post-operatorio de los tubos de hormigón de alta calidad es de una importancia extraordinaria. El humedecimiento por aspersión comienza, prácticamente, la misma tarde del día de la fabricación; después, se prosigue durante 1-2 días en el taller, y, a continuación, durante 3 semanas, aproximadamente, en el lugar de almacenamiento.

Del mismo modo es imprescindible llevar un control de fabricación. A los 3 días de la fabricación se ensayan 1 ó 2 tubos, ba jo una presión interna de 0,5 atm. Si el tubo permanece seco, exte riormente, durante 15-30 minutos, es evidente que, después de su endu recimiento total, será completamente impermeable al agua, por lo me- nos hasta su resistencia de rotura. De vez en cuando, se procede tam bién a la determinación de la resistencia de rotura en tubos con una edad de 2 a 3 meses.

Semanalmente, se lleva a cabo un análisis por tamizado de los áridos, así como ensayos de determinación, en probetas cúbicas, de la densidad del hormigón fresco. De la misma forma, a inter- valos regulares se procede también a la determinación del peso-litro y de la capacidad de absorción de agua.

Propiedades

Los resultados de los ensayos quedan indicados en la tabla I, que permite, al mismo tiempo, realizar una comparación con los valores correspondientes a otros tipos de tubos; los valores indicados son las medias de los obtenidos para diversos diámetros.

	Resistencia a compresión longitudinal, en flexión anular Kg/cm ²	Resistencia a tracción anular (presión hidráulica interna) Kg/cm ²	Resistencia a la flexión (sobre dos apoyos) Kg/cm ²	Absorción de agua (1) %	Densidad aparente, después de secado al aire (2)	Resistencia a la compresión, en probetas cúbicas β_d (3) Kg/cm ²
Normas suizas SIA 107	53	--	--	6,0	--	--
Tubo Hunziker con trifugado (armado)	76	42	56	1,6	2,35	350
Tubo Vianini (armado)	60	40	45	2,2	2,40	375
Tubo Stüssi (sin armar)	118	38	60	3,4	2,40	520
Tubo Hunziker, compactado, de 1m, con encaje y lengüeta	72	--	--	1,9	2,31	--
Tubo Phlomag (sin armar)	78	40	74	3,4	2,35	380

(1) Después de secado a 90°C, se introduce durante 14 días en agua; la absorción de agua se expresa en % de peso seco.

(2) En los tubos Vianini, y probablemente en los Stüssi, el peso del hormigón fresco.

(3) Las resistencias, determinadas en probetas prismáticas, han sido transformadas, de acuerdo con

$$\beta = 0,80 \beta_d$$

Estos valores numéricos ponen de manifiesto que el tubo Phlomag satisface, en cuanto a sus resistencias, las exigencias más elevadas de las normas suizas.

Con las resistencias se encuentra íntimamente ligado el grosor de las paredes. Si el tubo es de alta calidad, puede alcanzarse la resistencia exigida con un espesor menor de las paredes. De tal forma que, corrientemente, para los espesores utilizados se tiene un exceso de resistencia desaprovechado. Por este motivo, se comenzó una nueva serie B de producción de tubos Phlomag, que permite obtener las economías indicadas en la tabla siguiente:

Diámetro cm	Serie A		Serie B		Economía de peso	
	Espesor de pared mm	Peso Kg/m	Espesor de pared mm	Peso Kg/m	Kg/m	%
20	30	55	30	55	--	--
25	36	84	32	75	9	12
30	40	110	35	96	14	14,5
40	50	185	40	145	40	27,5
50	60	274	50	225	49	21,7
60	65	353	55	298	55	18,5

Una característica extraordinariamente interesante de este tipo de tubos lo constituye el manguito interiormente acampanado. Tiene la ventaja, con respecto al manguito cónico, de permitir alcanzar una hermeticidad superior, y de otorgar una cierta elasticidad a la conducción; de esta forma, podrá soportar, sin rotura, los pequeños desplazamientos a que se puede encontrar sometida. Los tubos Phlo max presentan un manguito con doble campana interna, estando destinado el segundo acampanamiento a recibir la lengüeta de otro tubo; esta lengüeta permite centrar el tubo. En este tipo de manguito pueden distinguirse dos variedades:

a) Empalme serie Phlo max A. La lengüeta es igual a la que se utilizaba cuando el manguito era cónico; de esta forma, se han podido aprovechar los moldes, para la lengüeta, que se utilizaban en la fabricación de tubos normales.

b) Empalme serie Phlo max B. La longitud de la lengüeta es menor, con un valor uniforme, de 2 cm, para todos los diámetros, desde 20 a 60 cm; por consiguiente, el manguito puede ser también más corto. De este modo, el conjunto es menos sensible a los choques.

Otra característica fundamental de este tipo de tubos es la estanqueidad que se puede lograr con ellos. En el caso de manguitos acampanados, la estanqueidad de la unión se consigue de la siguiente forma: se da una capa de sustancia adhesiva^(*); sobre la lengüeta se fija una cinta de compresión (banda de betún plástico y elástico, con armadura de fibra de cáñamo); se introduce un tubo en el otro; a continuación, se rellena la cámara acampanada del manguito mediante unos cordones de refuerzo, interno (cordón de sección rectangular, de

(*) La materia adhesiva tiene por objeto aumentar al máximo la resistencia específica de frotamiento que se ejerce entre la cinta de compresión y el hormigón.

cáñamo empapado en betún; permite lograr una hermeticidad suplementaria, en caso de una sobrepresión interna) y externo (cordón de cáñamo, tratado con naftenato de cobre; es dilatado, imputrescible, y asegura una acción suplementaria contra una sobrepresión interna o externa); después, se aplica, mediante una espátula, mortero de cemento, con una adición de emulsión bituminosa (este mortero asegura una oclusión con una elasticidad limitada, protege mecánicamente los cordones y forma un anillo de apoyo, que se opone a la rotura del empalme). La experiencia ha demostrado que aquellas conducciones, en que se ha seguido este procedimiento, resisten una presión interna permanente de 5 ... 6 atm.

Pero, además, tanto la profundidad total de la campana como la longitud de la lengüeta y la profundidad de apoyo, son factores determinantes de una buena hermeticidad. En este sentido, se exige una profundidad mínima de apoyo de 50 mm para evitar con certeza la expulsión de la cinta de compresión.

S.F.S.

- - -