

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A CARGAS DE PRESIÓN INTERNA SOBRE CONDUCTOS DE HORMIGÓN PRETENSADO MEDIANTE ENSAYOS EXPERIMENTALES

Ing. MSc. Jorge Omar Marighetti. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

Magister en Mecánica Aplicada. Ingeniero Mecánico. Resistencia, Chaco, Argentina. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Desde 1992 trabaja en la Facultad de Ingeniería de la UNNE, donde ingresó como Auxiliar de 1º en Investigación. Actualmente es Profesor Adjunto con dedicación exclusiva. Trabaja en programas de investigación y actividades de consultoría de ingeniería de viento. Publica regularmente en revistas y congresos científicos.

Resumen

En 2007 se realizó un estudio en la Facultad de Ingeniería de la UNNE para determinar la capacidad de carga de diseño de los ductos de hormigón pretensado del acueducto Resistencia - Sáenz Peña - Villa Ángela. Se llegó a una estimación basada en un modelo analítico alimentado con valores de ensayos de los materiales de los ductos. Para validar este resultado, se hicieron ensayos hidráulicos sobre ductos de repuesto. A diferencia del tradicional ensayo de estanqueidad, donde el ducto pasa o no pasa la condición, en los ensayos aquí descriptos se establecieron curvas de tensión deformación para distintos escalones de carga. Para evitar la interferencia del dispositivo experimental en las mediciones tuvo que hacerse un cuidadoso diseño de la instalación, lo que incluyó el diseño asistido con un modelo de elementos finitos de las tapas de los ductos. En este trabajo se presentan los detalles y resultados de estos experimentos.

Palabras Clave:

Ductos de hormigón pretensado, acueducto, cargas-deformación, experimental, verificación.

Abstract

A study to determine the design load capacity of the pre-stressed concrete pipes of the Resistencia - Sáenz Peña - Villa Ángela watermain was conducted in 2007 at the Facultad de Ingeniería de la UNNE. The study arrived to an estimation based on an analytical model fed with values coming from laboratory tests of the pipes materials. In order to validate this result, hydraulic test were carried out on spare pipes. Unlike the traditional seepage test, where the pipe fulfil or do not fulfil the condition, in the tests that are described here, stress-strain curves were established for different load steps. A carefully design of the experimental device had to be done to avoid any possible interference with the measurements, which included the finite-element-model assisted design of the pipes plugs. In this work, details and results of these experimental tests are presented.

1. Introducción

Como primeros antecedentes, los ductos de hormigón pre-tensado, denominados PSC, pre-stressed concrete pipes, por sus siglas en inglés, se comenzaron a utilizar en los Estados Unidos en la década de los 40', y un poco más tarde, en Gran Bretaña.

Estructuralmente, la mayoría de los ductos de PSC consiste en un ducto interno construido en hormigón de alta resistencia, sobre el cual se enrolla helicoidalmente un alambre de acero de alta resistencia, o bien, se instala un tubo de acero continuo. Tal disposición estructural, permite generar sobre el ducto de hormigón una tensión de compresión excedente, de manera que permita soportar las tensiones de carga, mayoritariamente de tracción, provocadas por el fluido que se transporta en el ducto durante su operación. La construcción de este tipo de ductos se realiza con hormigón de alta resistencia por medio de centrifugado, compactación radial o vaciado vertical; la armadura de alambres de acero de estos ductos es preparada sobre este tubo de hormigón, por medio de un conjunto de alambres dispuestos en forma paralela a su eje mayor (longitudinales) y, transversalmente, el arrollamiento helicoidal, con un diámetro de alambre, un paso y una tensión de estiramiento precalculados, el alambre de alta resistencia. Los alambres longitudinales soportan tensiones de flexión y corte, en tanto que el arrollamiento es capaz de soportar las tensiones de tracción generadas por la carga interna en el caño. Por último, toda esta disposición estructural es cubierta con un mortero de alto contenido de cemento, como modo de protección del medio ambiente donde se instalan los ductos. En la Norma Argentina que estandariza los ductos de PSC es la IRAM 11519¹, basada principalmente en la norma Americana AWWA C-303/78² de finales de los 80's y, la más actualizada, la AWWA C-304/99³.

En el año 2007, el Instituto de Estabilidad de La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, fue contratada por el Gobierno de la Provincia del Chaco para realizar un estudio de la capacidad de carga de diseño de los tubos de hormigón pretensados del acueducto Resistencia - Sáenz Peña - Villa Ángela, en la Provincia del Chaco, Chaco Austral, Argentina⁴. La propuesta comprendía la evaluación de la capacidad de carga estructural de los ductos de hormigón pretensado que utiliza el acueducto Barranqueras-Sáenz Peña y las patologías que pueda haber desarrollado el hormigón de los mismos. Los ductos con que se construyó este acueducto, son del tipo PSC con armadura de alambre de alta resistencia arrollada en su superficie, descriptas por la Norma Argentina IRAM 11519.

Las ventajas esperadas en los PSC son su alta rigidez y resistencia a tensiones flectoras, no demanda un alto grado de compactación y son impermeable a contaminantes orgánicos. Sin embargo, las uniones poseen poca flexibilidad, su peso es elevado y son vulnerables al ataque químico en algunos tipos de suelo y calidad de agua. Pueden sufrir corrosión intensa donde el pH del medio es menor que 5,0 o donde el contenido de sulfato es mayor que 2%⁵.

El estudio comprendió en una primera etapa la determinación de la capacidad de carga de diseño de los ductos a partir de métodos analíticos. Se llegó a una estimación basada en un modelo analítico alimentado con valores de ensayos de los materiales de los tubos. Para ello fue necesario relevar la geometría de ductos de diversas procedencias y localizaciones, pues no se disponían datos confiables, y se realizaron ensayos de los materiales con que están contruidos originalmente los ductos. Adicionalmente, para verificar y fortalecer el análisis estructural de los ductos,

se realizaron ensayos de carga-deformación sobre dos tubos, uno en servicio y otro del stock de repuesto, con idénticos procedimientos.

En el presente trabajo se describen los ensayos de carga-deformación realizados en ductos del acueducto Resistencia - Sáenz Peña - Villa Ángela, con el objetivo de verificar los valores obtenidos en los procedimientos de cálculos analíticos, considerando la falta de disponibilidad de datos de diseño confiables. A diferencia del tradicional ensayo de estanqueidad, donde el tubo pasa o no pasa la condición, en los ensayos aquí descriptos se establecieron curvas de tensión deformación para distintos escalones de carga. Los resultados de las mediciones de carga-deformación obtenidas fueron semejantes en ambos casos, lo que muestra que pese al tiempo de servicio se puede esperar que los tubos del acueducto conserven su capacidad de carga para los que fueron diseñados.

2. Determinación analítica de la capacidad de carga de diseño

La determinación de la capacidad de carga de diseño de los ductos empleados en el acueducto, están basados principalmente en los trabajos de Sigalov y Strongin ⁶ y Carril Cravajal ^{7, 8}, con las que se verificó la consistencia de los procedimientos de cálculo empleados. Ensayos de tracción de los alambres del arrollamiento utilizados en los ductos, la geometría de los mismos y mediciones con esclerómetro y ultrasonido fueron utilizados para completar el procedimiento de cálculo. En Figura 1 se observan las características geométricas de los ductos en estudio.

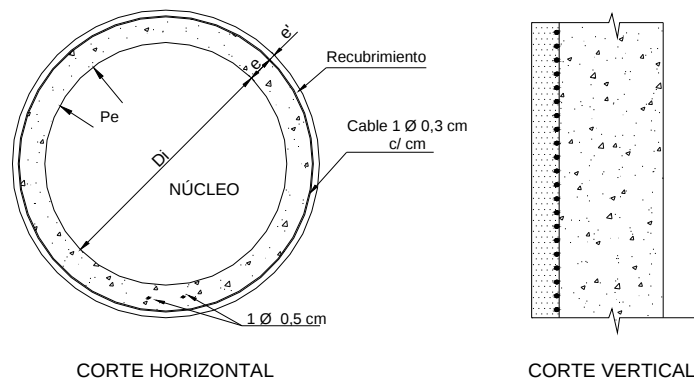


Figura 1: característica geométrica de los ductos ensayados

Debido a la falta de información, durante el período de construcción de los ductos, la tensión de pretensado del arrollamiento helicoidal, considerando dos hipótesis probables de tensión de pretensado, el 75% o el 50 % de la resistencia del alambre del zuncho o bien, como sugieren Sigalov y Strongin, una tensión de tesado de 10000 Kg/cm². En la Tabla 1 se especifican los datos geométricos y las propiedades de los materiales empleadas en los ductos para el cálculo analítico de la carga de diseño.

Tabla 1: Datos geométricos y propiedades del material de los ductos

Diámetro interior del caño**	$D_i = 69,5 \text{ cm}$
Diámetro exterior del núcleo + recubrimiento**	$D_e = 87,5 \text{ cm}$
Diámetro medio -núcleo + recubrimiento	$D_m = 78,5 \text{ cm}$
Diámetro exterior del tímpano	$D_e^T = 105 \text{ cm}$
Radio interior del caño	$D_i / 2 = 34,75 \text{ cm}$
Radio medio del núcleo	$r_m = 38,0 \text{ cm}$

Espesor del caño núcleo	$e = 6,6 \text{ cm}$
Recubrimiento del núcleo	$e' = 2,4 \text{ cm}$
Espesor total: núcleo + recubrimiento	$e_t = 9,0 \text{ cm}$
Diámetro de las barras de zunchado	$d = 0,35 \text{ cm}$
Diámetro de las barras de acero longitudinales**	$d' = 0,5 \text{ cm}$
Separación de alambres de zunchado	$s = 1,6 \text{ cm}$
Distancia libre entre espiras redundante	$s' = 1.25 \text{ cm}$
Tensión de rotura del hormigón del núcleo a compresión ***	$\sigma_c = 50 \text{ MPa}$
Tensión de servicio hormigón del núcleo a compresión = $0,7 \sigma_c = 0,7 \times 50$	$\sigma_c^s = 35 \text{ MPa}$
Tensión de tracción de servicio del núcleo	$\sigma_c' = 3,43 \text{ MPa}$
Tensión de rotura a tracción del acero del zunchado **	$\sigma_s = 1900 \text{ MPa}$
Tensión de rotura de las barras de acero longitudinales **	$\sigma_s^l = 1600 \text{ MPa}$
Tensión de servicio barras de acero long. = $0,75 \times 1600$	$\sigma_s^{ls} = 1200 \text{ MPa}$
Módulo elástico del acero del zunchado **	$E_s = 190000 \text{ MPa}$
Módulo elástico del hormigón*	$E_c = 24000 \text{ MPa}$
Área sección longitudinal del núcleo de hormigón por espira**	$F_c = 10,56 \text{ cm}^2$
Área sección long. homogeneizada del núcleo por espira	$F_{ch} =$
Área de la sección transversal del núcleo	$F_c^1 = 1578 \text{ cm}^2$
Área de la sección transversal homogeneizada del núcleo	$F_{ch}^1 =$
Sección barra de acero del zuncho**= $\frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (0,35 \text{ cm})$	$F_s^2 = 0,096 \text{ cm}^2$
Sección de una barra long. De acero**= $\frac{1}{4} \pi d'^2 = \frac{1}{4} \pi (0,5 \text{ cm})^2$	$F_s^1 = 0,195 \text{ cm}^2$
Sección de todas las barras longitudinales = $20 \times 0,195$	$F_{st}^1 = 3,925 \text{ cm}^2$
$n = E_s/E_c = 190000 \text{ MPa} / 24000 \text{ MPa}$	$n = 7,92$
$w = F_s/F_c = 0,096 \text{ cm}^2 / 10,56 \text{ cm}^2$	$w = 0,0091$
* Estimado	
** Determinado por ensayo de probeta o mediciones (valor real)	
*** Determinado por ensayos no destructivos (esclerómetro y ultrasonido) (valor aproximado)	

Para los cálculos para el estado tensional del ducto se consideró sometido a una presión interna de 15 atm. (1,47 MPa), configuradas tal como lo muestra la Figura 2.

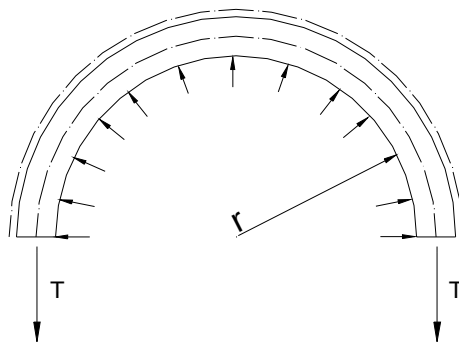


Figura 2: Esfuerzo transversal provocado por la presión interna

Considerando la primera hipótesis de tesado de los alambres y sin tener en cuenta la influencia del mortero de recubrimiento, la fuerza de tracción calculada T del caño, por espira del arrollamiento, provocada por la presión, es de 8130,2 N. La deformación del núcleo a la tracción, debido a la presión interna, es $\epsilon_{ct} = 3,0 \times 10^{-4}$, la deformación límite admisible es $\epsilon_{ct}^a = 1,43 \times 10^{-4}$ y la deformación límite al aparecer la primera fisura es $\epsilon_{ct}^f = 1,57 \times 10^{-4}$. En consecuencia, la presión interna máxima aplicable para alcanzar el estado límite de admisible es de 29,5 Atmósferas (2897 MPa) y de 100,6 Atmósferas (9867 MPa) para alcanzar el límite de fisuras.

Por último, considerando la segunda hipótesis, basada en Sigalov y Strongin, que aconsejan tomar valores de tensiones de tesado cercanos a 1000 MPa, las presiones necesarias para provocar las deformaciones límites admisibles y de fisura, son de 23,1 atmósferas (2,262 MPa) y 94,1 atmósferas (9,262 MPa). Los cálculos analíticos desarrollados, muestran que ya sea que la tensión de tesado sea el 75% o el 50 % de la resistencia del alambre del zuncho, los tubos tienen amplia capacidad para soportar presiones de 15 atm. sin sufrir daño. Debe notarse que esto se logra por la acción del pretensado del zuncho, sin el cual el tubo colapsaría.

3. Determinación experimental de la capacidad de carga de los ductos

La incertidumbre por la falta de datos relevantes en el diseño de los ductos o la dispersión hallada en el relevamiento de las características estructurales de los mismos, impulsó la realización de estudios experimentales, tendientes de obtener mayor información en la valoración estructural. En consecuencia, se programaron dos ensayos experimentales de carga-deformación, sobre distintos ductos. El primero, fue realizado sobre un ducto perteneciente al stock de repuestos disponibles del acueducto, material que nunca entró en servicio; en tanto que, el segundo ducto ensayado, pertenece a un elemento retirado del servicio en la localidad chaqueña de La Escondida.

Los estudios de carga-deformación se realizaron en el Laboratorio de Aerodinámica y Mecánica de Fluidos de la Facultad de Ingeniería de la UNNE y requirieron del diseño de un dispositivo experimental que permitiera reproducir el tipo de carga a que están sometidos los ductos en servicio. El registro de deformaciones en los ductos bajo carga se realizó por medio de bandas extensométricas ubicadas en sitios estructuralmente críticos de los mismos. La lectura y almacenamiento de los datos se llevó a cabo a través de puentes de medición especiales, acondicionadores de señal, y dispositivos para el registro y almacenamiento de datos.

Para reproducir las condiciones de operación de los ductos, estos se cargaron con agua de red, elevándose la presión del fluido por medio de una bomba manual de alta presión. Las características geométricas de los ductos, denominando Nuevo Ensayado al ducto de repuesto y La Escondida al ducto retirado de servicio, se observaron algunas diferencias en el diámetro interno, D_i , el espesor de los tubos (núcleo más recubrimiento), e_t , el paso del arrollamiento del zuncho, s , y el diámetro de la barra de acero de zunchado, d . Los datos relevados se resumen en Tabla 2.

Tabla 2: Datos geométricos de los ductos ensayados

Ducto	d [mm]	s [cm]	D_i [cm]		e_t [cm]	
			Max	Min	Max	Min
Nuevo ensayado	3,5	1,6	69,5	70	9,00	8,74
La Escondida	4	1,6	70		8,5	

3.1 Dispositivo experimental

Para realizar los ensayos, previamente se diseñaron y construyeron tapas de acero para sellar hidráulicamente cada uno de los extremos de los ductos, reproduciendo en detalle las geometrías de los extremos donde son colocadas. El diseño de las tapas selladoras se realizó mediante un modelo numérico de elementos finitos, con el cual se verificó que no aparezcan deformaciones excesivas en ninguno de sus puntos durante las pruebas, para la presión de prueba (16 atm.). En el montaje del dispositivo, ambas tapas están inmovilizadas por medio de ocho tensores, los que

durante el proceso de carga impiden la aparición de tensiones longitudinales adicionales que no están presentes en las condiciones de servicio; de manera que, sobre las paredes del ducto la presión de carga del fluido sólo genere tensiones radiales. Para sellar hidráulicamente los extremos de los ductos se emplearon juntas de goma similares a las que actualmente están en servicio. En la Figura 3 se observa la configuración de las tapas listas para su montaje construidas en acero y sus medidas.

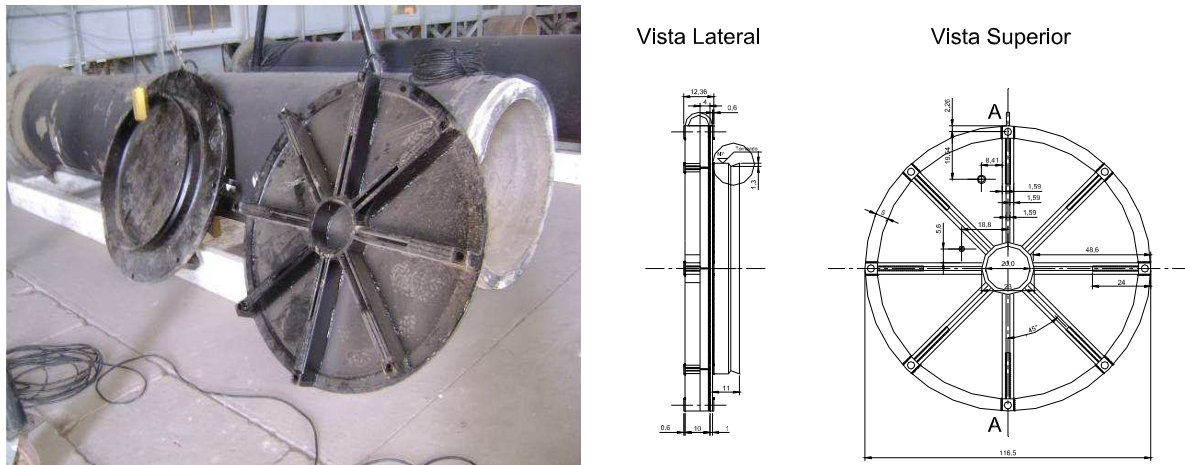


Figura 3: Diseño de las tapas selladoras y su medidas.

Las bandas extensométricas, MM N2A-06-40CBY-350 (Vishay Measurements), se ubicaron en la parte media de su longitud total para medir las deformaciones radiales generadas por la presión estática del agua sobre las paredes del ducto. Las bandas extensométricas son fijadas de manera tal que su eje mayor coincide con el perímetro del ducto en esa área y es conectada a un puente de Weasthorne en una configuración de un cuarto de puente. Tal disposición (banda extensométrica A), mostrada en la Figura 4, es repetida (banda extensométrica B) en el lado opuesto del ducto, con el solo fin de verificar los valores registrados por las bandas.



Figura 4: Disposición de una de las bandas extensométricas, banda A, sobre el ducto.

La generación de la carga, es decir, la presión estática del fluido sobre las paredes internas del ducto, se realizó por medio de una bomba manual de desplazamiento positivo, operable hasta una presión máxima de 20 atm. En la Figura 5 se observan la bomba de presión, las cañerías para su conexión, y el sistema de medición y registro de datos. El registro de datos, valores de deformación, se realizó por medio de un acondicionador de señal Vishay 2100 System, los registros almacenados en una PC, donde cada banda extensométrica es conectada a cada canal en una configuración de un cuarto de puente.



Figura 5: Esquema de la bomba de presión y el montaje del dispositivo de ensayo completo.

3.2 Procedimiento de los ensayos

La presión estática del fluido en el interior del ducto fue aplicada en forma escalonada cada 2,5 atm. hasta alcanzar un valor máximo de 16 atm. para el primer ensayo (ducto Nuevo Ensayado) y de 18 atmósferas para el segundo ensayo (ducto La Escondida). Una vez alcanzada la presión máxima estipulada para el ensayo, se realizaba el proceso inverso, disminuyendo la presión en forma escalonada en los mismos valores anteriores. Por último, se realizó un ensayo de carga-deformación en el ducto La Escondida manteniendo la presión máxima del ensayo por un período de tiempo de diez horas. Durante este período no se observaron pérdidas ni exudaciones, ni caída de presión ni variaciones en las deformaciones.

3.3 Cálculo analítico de las deformaciones

Previo a los ensayos se estimó la deformación que debería observarse en el ducto Nuevo Ensayado. Los cálculos presentados en la Sección 2. corresponden a valores de diseño. Los cálculos que se presentan aquí, corresponden al estado de las variables para los ductos en el laboratorio. Las diferencias con el caso anterior son:

- a) El módulo de elasticidad E_c se determina a partir de la tensión de rotura de probetas de hormigón de 28 días. Aquí el módulo de elasticidad E_c^{exp} fue obtenido a partir de ensayos de esclerometría y ultrasonido realizados en los ductos ensayados.
- b) Los cálculos de esta sección incluyen la influencia del mortero de recubrimiento.

$$E_c^{\text{exp}} = 40200 \text{ MPa}$$

$$n^{\text{exp}} = E_s/E_c^{\text{exp}} = 190000 \text{ MPa}/40200 \text{ MPa} = 4,726$$

$$w^{\text{exp}} = F_s/F_c^{\text{exp}} = 0,096 \text{ cm}^2/(9 \text{ cm} \times 1,6 \text{ cm}) = 6,67 \times 10^{-3}$$

El área de la sección longitudinal homogeneizada del núcleo por espira es:

$$F_{\text{ch}}^{\text{exp}} = F_c^{\text{exp}} (1 + n^{\text{exp}} w^{\text{exp}}) = 14,4 \text{ cm}^2 (1 + 4,726 \times 6,67 \times 10^{-3})$$

$$F_{\text{ch}}^{\text{exp}} = 14,85 \text{ cm}^2$$

provocando una tensión de tracción en el núcleo por la presión interna de:

$$\sigma_{\text{ct}}^{\text{exp}} = T / F_{\text{ch}}^{\text{exp}}$$

Para 16 atmósferas

$$\sigma_{\text{ct}}^{\text{exp}} = 8730 \times 10^{-6} \text{ MN} / 14,85 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,88 \text{ MPa}$$

La deformación del núcleo provocada por la presión interna, será:

$$\epsilon_{\text{ct}}^{\text{exp}} = \sigma_{\text{ct}}^{\text{exp}} / E_c^{\text{exp}} = 5,88 \text{ MPa} / 40200 \text{ MPa} = 1,46 \times 10^{-4}$$

Se espera, por lo tanto, que al ensayar el tubo Nuevo Ensayado se observen deformaciones del orden de 140 $\mu\epsilon$ para 16 atm de presión

3.4 Presentación de resultados

En las Tablas 3 y 4 se presentan los valores de deformación de las bandas extensométricas ubicadas en lados opuestos de la parte media de los ductos ensayados.

Tabla Nº 3: ducto Nuevo Ensayado

Presión	Banda A	Banda B
Kg/m ²	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
2,5	18,0	17,8
5,0	38,5	38,2
7,5	51,3	50,1
10	66,7	63,6
12	84,6	76,3
14	107,0	94,1
16	123,0	109,4

Tabla Nº 3: ducto La Escondida

Presión	Banda A	Banda B
Kg/m ²	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
2,5	25,6	22,8
5,0	46,2	38,1
7,5	64,1	53,3
10	82,1	68,5
12	100,1	83,8
14	115,4	99,0
16	138,5	111,8
18	156,4	134,5

Las bandas extensométricas fueron conectadas al mismo canal del acondicionador de señal, observándose que la banda B muestra menor deformación, atribuible a errores en el canal del acondicionador. Por ello, la magnitud de deformación

empleada en los análisis pertenece a la banda A. Por otro lado, no se observan pérdidas de resistencia en los ensayos de larga duración, durante los cuales, el ducto estuvo sometido a presiones de 16 atm. durante 10 horas.

4. Conclusiones

Se ensayaron dos ductos con idénticos procedimientos, uno extraído del acueducto y otro del stock de repuestos. Los registros de deformaciones obtenidos experimentalmente muestran valores de deformación muy cercanos a los calculados en la Sección 2., utilizando valores de diseño, y sección 3.2, con datos experimentalmente extraídos. Las magnitudes de deformación obtenidas en ambos ductos, banda A, son semejantes, lo que muestra que pese al tiempo de servicio se pudo esperar que los tubos del acueducto conserven su capacidad de carga intacta. Teniendo en cuenta que la capacidad de diseño, en la hipótesis más conservadora es de 23,1 atmósferas, considerando la consistencia de la información obtenida en los estudios experimentales, es posible afirmar que la capacidad de carga estructural de los tubos es suficiente para responder a los requerimientos de servicio actuales del acueducto.

Bibliografía

- ¹ Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Norma IRAM 11519, Caños de hormigón pretensado sin cilindro de acero, Bs. As., 1988.
- ² American Water Works Association, AWWA C-301/99, Prestressed Concrete Pressure Pipe, Steel-Cylinder Type.
- ³ American Water Works Association, AWWA C-304/99, Design of Prestressed Concrete Cylinder Pipe.
- ⁴ Laboratorio de Aerodinámica, Instituto de Estabilidad, Facultad de Ingeniería, UNNE, Informe sobre evaluación del Estado del Acueducto, informe preparado para UDARSA, Gobierno de la Provincia del Chaco, Argentina, Junio de 2008.
- ⁵ AWWA Research foundation Report 91126, Potential techniques for the assessment of joints in water distribution pipelines, 2007.
- ⁶ E. Sigalov, S. Strongin, Reinforced concrete, Peace Publishers, Moscu.
- ⁷ C. Carril Carvajal, Tuberías de hormigón pretensado, realizaciones Españolas, Simposio Técnico Internacional de la F.I.P. sobre elementos prefabricados de hormigón pretensado, Madrid, 3-4 junio 1968, pp. 25-57.
- ⁸ Carlos Carril, Cálculo mecánico de tuberías de hormigón pretensado. Revista de obras públicas (España), Septiembre 1975, pp. 627-637.

Autores

Dr. Ing. Mario Eduardo De Bortoli. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

Doctor en Ingeniería. Ingeniero Civil. Resistencia, Chaco, Argentina. Facultad de Ingeniería, Universidad Federal de Rio Grande do Sul. Es profesor de la Facultad de Ingeniería de la UNNE desde 1959. Trabaja en programas de investigación y consultoría en el área de estructuras. Es Vice-decano de la Facultad de Ingeniería,

UNNE y Par Evaluador de la CONEAU. Publica regularmente en revistas y congresos científicos.

Ing. MSc. Hugo Guillermo Castro. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

Ingeniero Civil. Defensa de Tesis pautada para Mayo 2008 para el título de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Facultad de Ingeniería, UNNE. Resistencia, Chaco, Argentina. Doctorando en Ingeniería en la Universidad Nacional del Litoral. Docente Investigador con Dedicación Exclusiva. Facultad Regional Resistencia – UTN. Publica regularmente en revistas y congresos científicos.

Dr. Ing. Adrián Roberto Wittwer. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

Doutor em Ciências em Engenharia. Magister en Mecánica Aplicada. Ingeniero Mecánico. Resistencia, Chaco, Argentina. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Desde 1991 trabaja en la Facultad de Ingeniería de la UNNE, donde ingresó como becario de posgrado. Actualmente es Profesor Adjunto con dedicación exclusiva. Trabaja en programas de investigación y actividades de consultoría de ingeniería de viento. Publica regularmente en revistas y congresos científicos.