

bien como un mortero rico de arena de excelente calidad y composición granulométrica. La cura del mismo se efectúa en agua durante unos quince días, una vez efectuado el desmoldeo de los tubos, o sea a las pocas horas de fabricado.

Para hormigones de esta naturaleza, su coeficiente de alargamiento viene a ser de $0,0001 < \epsilon_b < 0,00018$.

Suponiendo que $\epsilon_b = 0,00015$ y el coeficiente de rotura a compresión a los tres meses de vida de $\sigma_{bz} = 350 \text{ kg/cm}^2$, para el correspondiente a tracción directa puede tomarse $\sigma_z = 1/20$, $\sigma_{bz} = 17,50 \text{ kg/cm}^2$.

El valor medio del módulo de elasticidad a tracción será:

$$E_b = \frac{17,5}{0,00015} = 116,600 \text{ kg/cm}^2.$$

De los ensayos de alargamiento que hemos efectuado de distintas muestras de hierro redondo recibido para las armaduras de los tubos, resulta que el valor medio de su módulo de elasticidad para cargas específicas de unos 800 kg/cm^2 es de $F_e = 2.500.000 \text{ kg/cm}^2$.

Para evitar las grietas, la carga de tracción en el hormigón deberá ser menor que su resistencia a la rotura σ_z y su dilatación o alargamiento menor que ϵ_b , y, por lo tanto, el esfuerzo absorbido por el hierro sería: $\sigma_{ez} \leq E_e \epsilon_z = 2.500.000 \times 0,00015 = 375 \text{ kg/cm}^2$. La relación entre ambos coeficientes de elasticidad resulta de

$$n = \frac{E_e}{E_b} = \frac{2.500.000}{116,600} = 21,5.$$

El distinguido profesor D. A. Peña, en su Tratado de Hormigón Armado, establece para $n = 50$, de acuerdo con los resultados en tuberías de grandes diámetros, sin duda construidas *in situ*, y cuyos hormigones no pudieron centrifugarse, y lo más probable es que tampoco se empleara en ellos el vibrado, lo que nos hace suponer que no serían de tan buena calidad como el empleado en las tuberías para el abastecimiento de Lérida. Otros autores, como Saliger, y Reglamentos oficiales de algunos países, establecen para n valores de 10 a 20, tanto para el régimen de tracción como en el de compresión. El último está muy estudiado y se han hecho muchas experiencias; no así del primero, y como base de partida para justificar el dimensionado de las secciones de las tuberías se puede tomar para n el valor antes hallado de 21,5.

La ecuación de resistencia a tracción es:

$$N \leq F_b \cdot \sigma_z + \sigma_{ez} F_e \quad \frac{N}{\sigma_z} \leq F_b + n F_e$$

y

$$\sigma_z \leq \frac{N}{F_b + n F_e} \leq 17,5 \text{ kg/cm}^2$$

que aplicado, por ejemplo, a una de las tuberías que hemos adoptado resulta:

$$D_i = 0,70 \text{ m.} \quad D_o = 0,84 \text{ m.} \quad D_m = 0,77 \text{ m.} \\ R_m = 0,385 \text{ m.}$$

$$\text{Presión de servicio: } p = 2 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{" de prueba: } P = 3,2 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Sección metálica: } F_e = 9,62 \text{ cm}^2 \text{ por m. l.}$$

$$\text{" hormigón: } F_b = 700 \text{ cm}^2 \text{ por m. l.}$$

De acuerdo con el criterio anteriormente expuesto tendremos:

Para la presión de servicio:

$$N = 2 \times 10 \times 1.000 \times 0,385 = 7.700 \text{ kg/m. l.},$$

y la carga unitaria en la armadura de

$$\sigma_e = \frac{7.700}{9,62} = 800 \text{ kg/cm}^2.$$

Para la presión de prueba:

$$N = 3,2 \times 7.700 : 2 = 12.320 \text{ kg/m. l.}$$

$$\sigma_z = \frac{12.320}{700 + 21,5 \times 9,62} = 13,5 \text{ kg/cm}^2$$

en la sección virtual.

Tensiones análogas resultan para la tubería de 600 mm. de diámetro interior, de 2 atmósferas de presión de servicio. Para las tuberías correspondientes a la presión de 3 atmósferas—4,8 kg/cm² de prueba—resultan, en cambio, tensiones ligeramente superiores en la armadura y de $\sigma_z \simeq 17,5$ kilogramos/cm² de tensión media para la sección virtual, que, como vemos, es equivalente al límite superior de σ_z primeramente establecido.

En el taller de fabricación efectuamos frecuentemente y con regularidad ensayos de las tuberías, sometiéndolas en el banco de pruebas a presión hidráulica creciente hasta sobrepasar las establecidas como límite de 3,2 y 4,8 kg/cm²—según los tipos diversos de tubería—, con resultados positivos en la mayor parte de los tubos ensayados, y sin que aparezca fisuramiento ni porosidad aparente en ellos.

No obstante, hemos encontrado un reducido porcentaje de tubos que se agrietaron sensiblemente a la presión interna de 2 atmósferas, con manifiesta porosidad y pérdida de agua. Sometidos a continuación y durante unos días a presión hidráulica variable superior a los 2 kg/cm², llegaron a curarse perfectamente, recobrando su impermeabilidad y llegando a soportar presiones muy superiores al límite fijado.

El resultado de la primera prueba de estos tubos, con manifiesto fisuramiento en ellos, nos dió como consecuencia deficiencias habidas en la calidad de los componentes del hormigón, o en su fabricación y curado, con notorio descenso de sus coeficientes de alargamiento y de elasticidad. La variabilidad de estos valores de ϵ y E no es de extrañar en un material tan complejo como el hormigón, pues dependen no solamente de las ca-