

Generalidades sobre la distribución del gas de alumbrado y comparación con la distribución del agua potable

ESTUDIO DE

ALFREDO DELANO FRÉDERICK

(Conferencia dada en el Instituto de Ingenieros el 28 de Noviembre de 1917)

Contenido

CAPÍTULO I.—Descripción y clasificación de los diferentes tipos de distribución de gas de alumbrado y comparación con la distribución del agua potable.

CAPÍTULO II.—Teoría del escurrimiento del gas de alumbrado en cañerías.

CAPÍTULO III.—Estudio comparativo de las fórmulas de escurrimiento del gas de alumbrado y del agua en cañerías.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS DE ALUMBRADO Y COMPARACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POTABLE

Generalidades

Una distribución de agua potable se puede dividir en las siguientes partes:

1. Obras de toma (captación del agua).
2. Obras de aclaración y depuración.
3. Obras de conducción.
4. Estanques o sus equivalentes reguladores.
5. Red de distribución.

En el caso del gas de alumbrado, la distribución propiamente tal consta solamente de las dos últimas partes.

En cuanto a las tres primeras, quedan sustituidas como sigue:

1. A la *captación del agua* corresponde la *fabricación del gas*.

FABRICACIÓN DEL GAS DE ALUMBRADO.—El gas es fabricado en retortas o en cámaras de carbonización por destilación del carbón. De allí es aspirado (1) por extractores-compresores de tipo especial (exhausters) que le dan una presión suficiente para atravesar los diferentes aparatos de purificación y pasar en seguida a llenar los gasómetros venciendo el peso de éstos.

2. A la *aclaración y depuración del agua* corresponde la *purificación del gas*.

PURIFICACIÓN DEL GAS DE ALUMBRADO.—Antes de entrar el gas a los purificadores, pasa por condensadores que tienen por objeto separar la naftalina y alquitrán y por lavadores que permiten extraer por disolución en agua, el amoníaco y sales amoniacaes. Después de estas operaciones llega el gas a los llamados purificadores de tierra, que funcionan de modo análogo a los filtros de agua potable, obligando al gas a atravesar lentamente capas de tierra purificante. En el caso del gas, naturalmente, no se trata de separar micro-organismos como en los filtros de agua potable, sino de extraer compuestos nocivos que al contacto de la tierra purificante se combinan con ciertas sustancias contenidas en ella. Los purificadores admiten unos 300 m³ de gas en 24 horas por m² de superficie.

Entre los compuestos nocivos que se extraen del gas en los purificadores, los más importantes son el hidrógeno sulfurado y el cianógeno.

3. Las *obras de conducción* del agua potable desde la toma a los estanques, prácticamente no existen en el caso del gas, por cuanto el gas fabricado, después de pasar por medidores, entra directamente a los gasómetros que están situados en la misma fábrica.

En el gasómetro empieza la distribución.

Gasómetros o acumuladores

Como la producción del gas es regular y el consumo varía considerablemente de una hora a otra, es indispensable acumular gas a ciertas horas. Los gasómetros sirven para este objeto almacenando el exceso de gas cuando la producción es mayor que el consumo y restituyéndolo en el caso opuesto. Como se ve, *la función de los gasómetros o acumuladores consiste en compensar las variaciones diurnas del consumo* lo mismo que los estanques de agua potable.

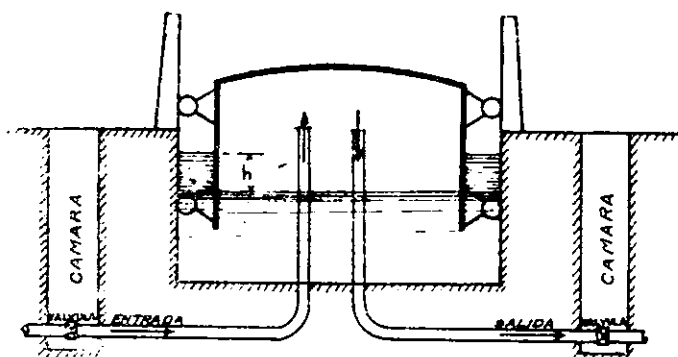
En principio, un gasómetro está constituido por una campana de pared la-

(1) La aspiración de las retortas o cámaras se efectúa obligando al gas a atravesar una capa de agua (en los llamados barriletes). Esto hace que baje la temperatura del gas, con lo que se condensa parte del alquitrán que de otro modo ensuciaría los compresores.

teral cilíndrica, cuyo borde inferior penetra en un estanque con agua (fig. 1). La campana puede desplazarse verticalmente: un sistema de guías impide que se desvíe en su movimiento.

Como el volumen del borde sumergido es insignificante, el peso del recipiente queda prácticamente constante, cualquiera que sea la posición del gasó-

Fig. 1



metro (principio de Arquímedes). De aquí resulta que la presión del gas también se mantiene constante en el interior del gasómetro (esa presión es igual al cociente del peso de la campana por el área de su base).

Este tipo simple de gasómetro ha debido modificarse tratándose de grandes unidades; en efecto, no conviene aumentar excesivamente el diámetro de la campana, lo que encarecería el costo del estanque y agrandaría el área ocupada por el gasómetro. Tampoco se puede aumentar mucho la altura puesto que el costo de un estanque de agua crece rápidamente con la profundidad, aparte de lo difícil que es evitar filtraciones cuando la carga de agua es importante.

Estos inconvenientes se han subsanado adoptando el tipo telescópico que permite aumentar la capacidad del gasómetro conservando las dimensiones del estanque.

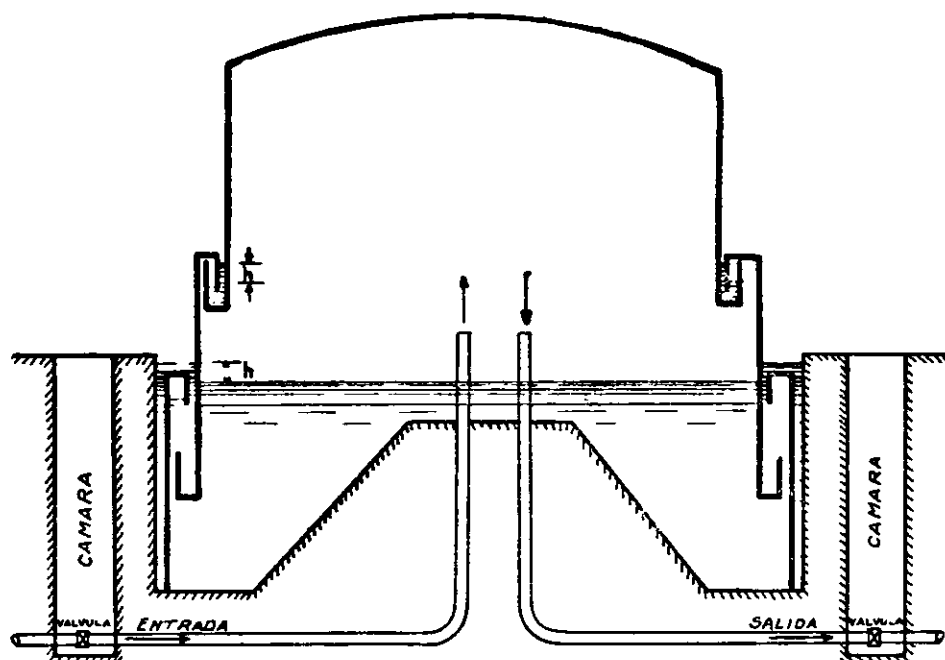
La figura 2 representa esquemáticamente un acumulador telescópico de 3 secciones.

Dos secciones sucesivas se unen mediante un cierre hidráulico anular. Cada vez que una sección se llena completamente de gas, «engancha» la siguiente y lo contrario sucede al vaciarse el gasómetro.

La presión del gas contenido en el gasómetro depende del número de secciones enganchadas; esa presión permanece constante mientras una misma sección está llenándose o vaciándose pero cambia bruscamente al producirse un enganche o desenganche. Estas variaciones bruscas de presión impiden comu-

nicar directamente los gasómetros con la red; además, la presión que dan los gasómetros es superior a la que conviene a la distribución. Estas razones (la última se explicará más en detalle) hacen necesario intercalar *reguladores de presión* o *gobernadores* entre la salida de los gasómetros y la red de distribución.

Fig. 2



NOTA.—A fin de no complicar el dibujo no se han representado las ruedas y columnas que sirven para guiar las secciones de la campana en su movimiento vertical. Generalmente las cañerías de entrada y salida van juntas, lo que permite aborrrar una cámara.

Se deduce que, si bien la función reguladora de los gasómetros o acumuladores es la misma de los estanques de agua potable, existen diferencias importantes entre ambos dispositivos, a saber:

1. En el caso del agua potable la presión depende de la cota del estanque, el que debe ubicarse a mayor altura que la red (salvo cuando se alimenta la red por medio de bombas), mientras en el caso del gas, la presión depende del peso del gasómetro, lo que permite alimentar puntos más altos o más bajos que la cota del gasómetro.

2. Las variaciones de nivel del agua en un estanque de agua potable (que alcanzan a pocos metros) producen variaciones de presión relativamente pequeñas en la red, por lo que puede comunicarse directamente el estanque con la red. En

el caso del gas se producen variaciones bruscas de presión en los acumuladores telescópicos, lo que exige intercalar «reguladores de presión» entre la salida de los gasómetros y la red de distribución.

Presiones en distribuciones de gas de alumbrado

BAJA PRESIÓN.—Los quemadores y demás aparatos de utilización de gas se construyen (salvo raras excepciones), para presiones pequeñas, de 5 a 10 gramos por cm^2 . En la práctica se miden estas presiones por la altura correspondiente de una columna de agua expresada en mm., empleando para el efecto manómetros constituidos por un tubo de vidrio doblado en forma de U. Así se dice por ej. que la presión en la red no debe bajar de 50 mm. (lo que indica una columna de agua de 50 mm. de altura).

Hasta hace algunos años se empleaban presiones de 25 a 50 mm. pero desde la introducción de la luz incandescente ha debido adoptarse una *presión mínima de 50 mm.* Actualmente se nota cierta tendencia a elevar las presiones de servicio, principalmente en EE. UU., debido a que muchos aparatos de utilización son más económicos cuando funcionan a presiones de 100 a 200 mm. (Circular of the Bureau of Standards; Standards for gas service, pág. 53, año 1915).

En una distribución de gas el ideal sería mantener en todos los quemadores una presión constante, pero esto no es posible: en efecto, las pérdidas de carga en las cañerías varían con el gasto y, por consiguiente, de un momento a otro y el desnivel influye también sobre la presión.

Se admite generalmente que la presión no baje de 50 mm. en ningún punto de la red ni pase de 100 mm.

Esta norma se sigue en Europa: Sin embargo, como acabamos de decir, en algunas ciudades norteamericanas se emplean presiones bastante más fuertes: hasta 200 mm, pero los reglamentos de estas ciudades establecen que *en un mismo distrito de la red las variaciones no deben pasar de 100 % sobre la presión mínima.* Así por ejemplo, si en un distrito se fija una presión mínima de 75 mm. se admiten variaciones comprendidas entre 75 y 150 mm., etc. Esto se justifica: en efecto, en cada casa pueden ajustarse los quemadores para una presión dada que puede ser muy diferente de un distrito a otro. *Lo esencial es que en un mismo punto la presión varíe poco.*

Haremos notar que es lógico admitir un margen de variación de presión *proporcional a la presión mínima* y por esto la mayor parte de los reglamentos fijan una variación de 100 % respecto de la presión mínima. En efecto, la velocidad de salida del gas en los quemadores se calcula por la fórmula:

$$v = k \sqrt{h}$$

siendo h el exceso de presión del gas sobre la atmósfera y k una constante. Ahora bien, cada quemador está construido para un gasto dado Q . Suponiendo que un quemador se ajuste digamos para la presión mínima $h_{\min}$, se tendrá:

$$(1) \quad Q = \Omega \cdot v = \Omega \cdot k \sqrt{h_{\min}} \quad (\Omega = \text{sección})$$

Si varía la presión y no se reajusta el quemador, se tendrá para $h_{\max}$ otro valor Q' del gasto:

$$Q' = \Omega \cdot k \sqrt{h_{\max}}$$

La variación de gasto será:

$$\Delta Q = Q' - Q = \Omega k \sqrt{h_{\max}} - \Omega k \sqrt{h_{\min}}$$

$$\Delta Q = \Omega k \sqrt{h_{\min}} \left(\sqrt{\frac{h_{\max}}{h_{\min}}} - 1 \right)$$

o según (1)

$$\Delta Q = Q \left(\sqrt{\frac{h_{\max}}{h_{\min}}} - 1 \right)$$

La última ecuación muestra que la variación del gasto no depende de la diferencia de presiones $h_{\max} - h_{\min}$ sino de la razón $\frac{h_{\max}}{h_{\min}}$.

De aquí que si se tolera cierto % de variación del gasto, se debe admitir la razón correspondiente entre la presión máxima y la presión mínima.

Corrientemente se acepta $\frac{h_{\max}}{h_{\min}} = 2$ de donde resulta:

$$\Delta Q = Q (\sqrt{2} - 1) = \underline{0,41 Q}.$$

Para este margen de variación de presión, (y suponiendo que los quemadores se ajusten para una presión intermedia), las fluctuaciones del gasto respecto del gasto medio no alcanzan a 20% y la práctica demuestra que tal variación es aceptable.

Es conveniente durante las horas de mayor consumo (4 a 10 P. M.) elevar la presión unos 15 a 25 mm. sobre el valor mínimo fijado, a fin de contrarrestar las pérdidas de carga de las instalaciones interiores, pérdidas que suelen ser impor-

tantes en los momentos de mayor demanda (en Santiago la mayor parte de las instalaciones interiores tienen capacidad insuficiente, lo que hace caer mucho la presión en los quemadores).

Por el contrario, durante el tiempo de menor consumo (12 P. M. a 6 A. M.) conviene reducir la presión al valor mínimo a fin de disminuir los escapes.

Incluimos un registro de presión tomado en Santiago, a fin de mostrar las variaciones de presión usuales de servicio (fig. 2 bis).

Finalmente, diremos que en distribuciones bien explotadas se mantienen inscriptores de presión permanentemente en varios puntos de la red y se instalan dispositivos automáticos que transmiten a la usina la presión a horas

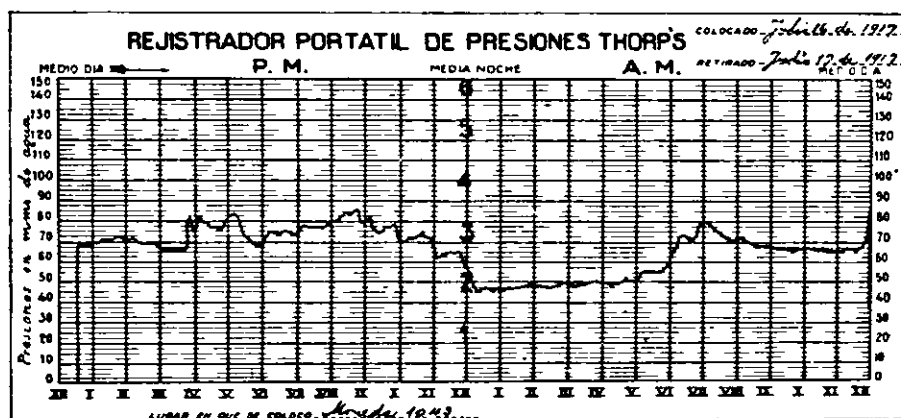


Fig. 2 bis.

determinadas, o más generalmente, hay empleados que la indican por teléfono en los momentos de mayor consumo, todo esto a fin de ajustar convenientemente la presión de salida en la fábrica.

Dijimos que la presión en los gasómetros experimentaba variaciones bruscas en cada enganche o desenganche: en un gasómetro de 3 secciones por ej., la presión es de unos 180 mm. cuando está lleno y de 110 mm. antes del primer enganche (estas cifras varían mucho de un gasómetro a otro). En todo caso, si no se dispone de compresores, no podrá darse a la red una presión superior a la de los gasómetros. (En Santiago existe un gasómetro que por ser muy liviano sólo puede utilizarse durante las horas de menor consumo, pues da presiones que bajan hasta 75 mm.).

ALTA PRESIÓN.—Hasta hace unos 25 años se empleaban exclusivamente pequeñas presiones de 25 a 100 mm. en las canalizaciones de gas, pero en los últimos tiempos el gas, siguiendo la misma evolución que la electricidad, ha recurrido al empleo de la alta presión, a fin de disminuir los diámetros y costos de las cañerías que cada día deben conducir gastos más importantes a causa del desa-

rrrollo del consumo del gas para cocina y calefacción, y recorrer distancias mayores con motivo de la centralización de la fabricación en grandes usinas situadas fuera de las ciudades, lejos del centro de consumo.

En el caso de la electricidad la alta tensión se emplea solamente para la transmisión económica y luego se reduce el voltaje a fin de utilizar la energía en la producción de luz, trabajo mecánico, etc. Tratándose del gas sucede lo mismo: en efecto, el empleo del gas directamente a alta presión se limita a unas pocas aplicaciones especiales (alumbrado público en algunas ciudades, hornos para industrias, etc.); para las aplicaciones usuales debe reducirse la presión al valor corriente de 50 a 70 mm. aproximadamente, lo que exige intercalar reguladores entre la cañería alimentadora a alta presión y la de servicio. Por lo general, se emplea alta presión solamente en las cañerías matrices importantes que alimentan la red de distribución a baja presión en determinados puntos llamados estaciones de distribución, en los que se intercalan reductores-reguladores de presión. (No conocemos el nombre de estos aparatos que tienen por objeto reducir la presión y a la vez mantener constante esa presión reducida, cualquiera que sean las variaciones de la alta presión que los alimenta. En francés se denominan «*détendeurs régulateurs*»).

El valor de la llamada alta presión varía mucho: desde 50 cm. a 2 m. altura de agua que son las presiones usuales en Europa hasta 200 m. o sea, 20 atm. a que se ha llegado en EE. UU.

Diferentes tipos de distribución de gas

De las explicaciones dadas respecto a la presión del gas se deduce que es preciso distinguir:

1.— *Distribución de gas a baja presión*, o sea, bajo una presión a lo sumo igual a la que dan los gasómetros de la usina de fabricación: en este caso no se emplean compresores. Como la presión de los gasómetros experimenta variaciones bruscas y es en general superior a la presión de utilización, es preciso intercalar entre la salida de los gasómetros y la red de distribución reguladores de presión, llamados también gobernadores. (A este tipo pertenece la actual distribución de gas de Santiago).

2.— *Distribución de gas a alta presión*, o sea, bajo una presión superior a la que dan los gasómetros, lo que se logra mediante compresores. Los principales sistemas en que interviene la alta presión son los siguientes:

I.— Transmisión del gas a alta presión desde la usina de fabricación a las estaciones de distribución.

II.— Reforzamiento de una red a baja presión alimentándola en determinados puntos por medio de matrices a alta presión.

III.— Distribución completa a alta presión.

Vamos a indicar sucintamente las características de estos 3 tipos de distribución a alta presión:

I. — *Transmisión del gas a alta presión desde la usina de fabricación a las estaciones de distribución.* Estas últimas pueden ser de 2 clases:

a) *La estación de distribución consta simplemente de un reductor-regulador de presión intercalado entre la cañería a alta presión y la red:* en este caso el matriz a alta presión debe tener capacidad suficiente para transportar un gasto igual al consumo máximo instantáneo.

Este tipo de distribución es análogo al que se tiene en agua potable cuando el agua, elevada por medio de bombas, alimenta directamente la red. Tal disposición se emplea en agua potable cuando resulta muy caro construir un estanque, en cuyo caso, se colocan reguladores de presión (stand pipe, recipientes con aire comprimido, etc.), entre la cañería alimentadora y la red, lo mismo que en el caso del gas.

b) *La estación de distribución sirve a la vez para almacenar gas.* — La cañería a alta presión alimenta gasómetros llamados «de distrito» los que están provistos de un dispositivo automático que cierra la entrada cuando el gasómetro está lleno y la abre cuando éste comienza a vaciarse. La cañería de alimentación a alta presión necesita menor capacidad que en el caso (a), ya que el gasómetro compensa, a lo menos en parte, las variaciones del consumo. Entre el gasómetro y la red se colocan reguladores de presión iguales a los de los gasómetros corrientes.

Esta disposición corresponde en agua potable a una distribución con varios estanques: éstos, lo mismo que los gasómetros de distrito, deben tener dispositivos automáticos que cierran la entrada cuando el estanque esté lleno a fin de que el agua, en vez de perderse por los rebalses de los estanques inferiores, vaya a alimentar los estanques superiores.

II. — *Reforzamiento de una red a baja presión alimentándola en determinados puntos por medio de matrices a alta presión.* — Este sistema mixto se emplea con el objeto de mejorar redes a baja presión cuya capacidad, a causa del aumento de consumo, se hace insuficiente. Así se aprovechan las cañerías existentes y se logra de un modo económico establecer una presión uniforme en toda la red. En los puntos en que los matrices a alta presión alimentan la red, se colocan reductores-reguladores de presión llamados también gobernadores de distrito.

III. — *Distribución completa a alta presión.* — En este caso todas las cañerías conducen gas a alta presión y se colocan pequeños reductores de presión en cada servicio. Hasta la fecha existen pocas distribuciones de este sistema, que tuvo su origen en EE. UU.

Este tipo podría compararse con las distribuciones de agua a alta presión para fuerza motriz que existen en algunas ciudades. (En New York hay una red a alta presión 16 atmósferas para incendios, etc. Ver Gas-Age, Marzo 1.º de 1916, pág. 255).

Red de distribución

Para proyectar una red de distribución de gas se deben tomar en consideración, más o menos, las mismas circunstancias que tratándose de una red de agua potable. El desnivel entre 2 puntos produce en ambos casos una diferencia de presión proporcional a dicho desnivel (1), motivo que obliga a veces a dividir la red en zonas independientes, a fin de reducir los desniveles dentro de una misma zona, evitando así que se produzcan diferencias de presión perjudiciales (y en caso de elevación de agua potable para reducir también los gastos de explotación de las bombas). Tratándose de una distribución de gas a baja presión, conviene alimentar la red por el punto más bajo a fin de ganar presión con la altura y contrarrestar así, siquiera en parte, las pérdidas de carga. Por ésto, generalmente, se ubica la usina productora en un punto bajo de la ciudad.

Para limitar las pérdidas de carga, se recurre, lo mismo que en agua potable, al aumento del diámetro de las cañerías; pero en distribuciones muy extensas aplicando este procedimiento se llegaría a diámetros enormes o a duplicación de cañerías, soluciones inaceptables por su elevado costo y por el espacio que requieren. Estos inconvenientes se han evitado en los últimos años empleando matrices de gas a alta presión (conduites vierges) que alimentan la red por varios puntos (estaciones de distribución) en los que se reduce y regulariza la presión mediante aparatos adecuados. Cuando se tienen matrices de gas a alta presión es necesario comprimir el gas para alimentarlos.

El proyecto de instalación de compresores de gas y el cálculo de los diámetros de las cañerías a alta presión son problemas análogos a los que se presentan en agua potable cuando se tiene elevación con bombas. En ambos casos a menor costo de la cañería de impulsión (menor diámetro) corresponde una explotación más cara (las bombas o compresores deben vencer una carga mayor). La cañería de impulsión puede alimentar, sea un gasómetro de distrito (equivalente a un estanque de agua potable), sea a la red de distribución directamente. En este último caso los compresores de gas o bombas en el caso de agua potable—deben seguir aproximadamente las variaciones del consumo y se debe colocar dispositivos de regulación entre la cañería de impulsión y la red: stand pipe, cámaras de aire comprimido, etc., tratándose de agua potable; reductores-reguladores de presión (llamados también gobernadores de distrito) tratándose de gas.

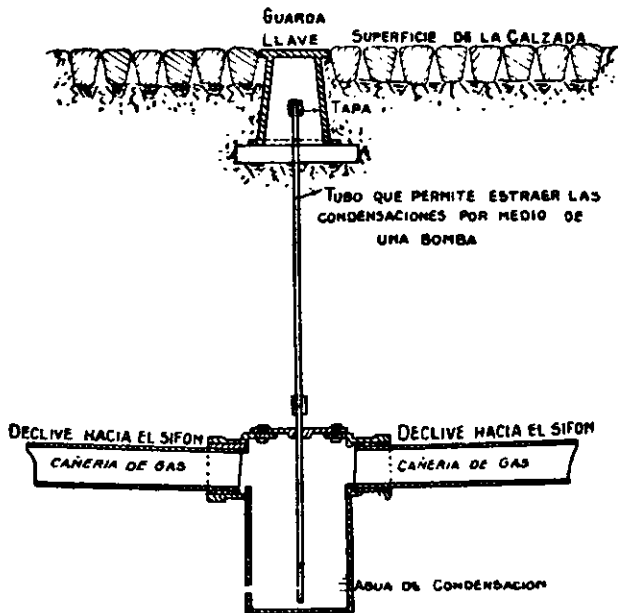
Respecto de las cañerías, se emplean los mismos tipos para gas y agua potable: generalmente, cañerías de fierro fundido o de acero con juntas de caja y cordón rellenas con filástica y plomo. Las mismas ventajas e inconvenientes ofre-

(1) En el caso del gas, la proporcionalidad es sólo aproximada: la verdadera ley de variación de la presión con la altura es más compleja según veremos en el Capítulo II. Además, en el caso del gas la presión crece subiendo, al revés de lo que ocurre con el agua.

cen en ambos casos estos dos materiales: la cañería de fierro fundido (castiron) es más quebradiza, más pesada, pero más durable que la de acero y resiste mejor que ésta la acción de la electrolisis, fenómeno que es preciso tomar en consideración en las ciudades donde existen tranvías eléctricos. La de acero es más fácil de manejar, ahorra juntas, etc., y resulta algo más barata (en época normal) que la de fierro fundido para diámetros inferiores a 25 cm.

La profundidad conveniente a las cañerías de gas en las calles es la misma que en canalizaciones de agua potable; pero la colocación es mucho más delicada tratándose de cañerías de gas: en efecto, a estas últimas es preciso darles declive para evitar puntos bajos en los que se depositarían las condensaciones impidiendo el escurrimiento del gas. Cuando se llega a un punto en que no se puede seguir dando declive (por algún obstáculo, profundidad excesiva, etc.), se coloca un depósito o «sifón» en el que se acumulan las condensaciones que se extraen periódicamente con bombas de mano (fig. 3). (En Santiago hay unos 400 sifones que se

Fig. 3

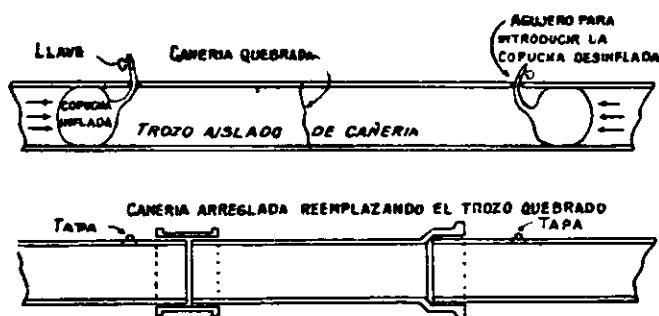


limpian semanal o mensualmente, según la cantidad de condensación que colectan)

La acumulación de las condensaciones en los puntos bajos de las cañerías de gas puede compararse con la acumulación de aire en los puntos altos de las cañerías de agua. En general, la influencia de la altura es inversa en cañerías de gas que en cañerías de agua.

En una red de gas a baja presión no es necesario colocar válvulas para independizar un trozo en caso de reparación como sucede en redes de agua potable. En efecto, es fácil interrumpir el escurrimiento de una cañería de gas introduciendo una copucha de goma que se llena de aire (fig. 4). (Obsérvese que la pre-

Fig. 4'



sión del gas sobre la copucha es muy débil: por ej., con 75 mm. de presión, el gas empuja la copucha con una fuerza de $3/4$ Kg. por dm^2 de sección de cañería).

En una red de distribución de gas a baja presión sólo se disponen válvulas para comunicar dos distritos o zonas independientes en caso de emergencia.

Se debe evitar que la cañería quede expuesta al frío (protegiéndola en traversías de acequias, jardines, etc.). Con el frío se producen depósitos sólidos de naftalina que obstruyen a veces completamente las cañerías de gas. Esto puede compararse con el efecto que el frío excesivo produce sobre las cañerías de agua, provocando formación de hielo, con la diferencia que la naftalina no necesita temperaturas tan bajas para solidificarse como el agua para convertirse en hielo.

Los escapes en una red de gas bien establecida oscilan entre 5 y 10% del volumen distribuido, proporción inferior a la que generalmente se tiene en agua potable. En el caso del gas los escapes son de mayor importancia económica que tratándose de agua potable, puesto que, en general, una pérdida de agua no corresponde a un mayor costo de explotación, en tanto que cada m^3 de gas representa unos 3 Kg. de carbón destilado.

Continuará.