

---

## Informe sobre el abastecimiento de aguas de Bogotá

Uno de los problemas de mayor importancia en la vida de las ciudades es el que se relaciona con el abastecimiento de aguas. El desarrollo de la ciudad implica lógicamente el mayor consumo de aguas, no sólo por el aumento numérico de población sino por la comodidad y el lujo que la civilización trae consigo y que aumenta el consumo de cada individuo.

En las épocas antiguas los pueblos se preocuparon grandemente por la Higiene proveyéndose ante todo de grandes cantidades de agua. En el Egipto, país árido y seco, se utilizaban las grandes y periódicas avenidas del Nilo, cuyas aguas se captaban en grandes presas de almacenaje. En Grecia se construyeron grandes acueductos cuyo valor representaba enormes cantidades, porque los únicos elementos con que contaban para su construcción eran tubos de barro y rocas que tenían que tallar para conducir por allí las aguas, la distribución de las cuales se hacía por medio de tuberías de plomo o de madera. Más tarde los romanos hicieron derroche de grandes acueductos cuyas ruinas se conservan aún.

La Edad Media marcó un paréntesis en el desarrollo de este progreso hasta que en la época moderna los grandes progresos en la Higiene han hecho del abasto de aguas la primera necesidad de todo centro civilizado.

El enorme desenvolvimiento de la ciudad de Bogotá ha planteado el delicado problema de un suficiente abastecimiento de aguas. El censo de 1928 arrojó una cifra de más de 230.000 habitantes; el aumento es sorprendente si se considera que hace apenas diez años la ciudad sólo contaba con 150.000 habitantes.

El servicio de aguas de Bogotá es insuficiente en la actualidad, hasta el punto de que hay barrios en donde sólo puede suministrarse agua en las épocas de verano, cada dos o tres días únicamente durante el exiguo tiempo de 2 ó 3 horas.

La cantidad total de que dispone la ciudad se puede computar en los veranos como de 200 litros por segundo o sea 17.280 metros cúbicos por día; y aún se ha registra-

do un aforo mínimo en los últimos 6 años de 160 litros por segundo; lo que equivale a 13.825 metros cúbicos por día.

Proveen de agua a Bogotá en la actualidad cinco acueductos denominados de Rosales, de Chapinero, del río del Arzobispo, del río San Francisco y de San Cristóbal. El rendimiento total de ellos fué el expresado atrás, suficiente solamente para una población de 80.000 habitantes.

La calidad de estas aguas es bastante buena; los "sólidos totales", o sea la cantidad de materia mineral en el agua, correspondiente a las fuentes de agua mencionadas, se puede apreciar comparativamente con las de Medellín, en el siguiente cuadro:

LOCALIDAD	FUENTE DE ABASTO	PARTES POR MILLON
Bogotá	Estanques de Egipto	53.2
	Río S. Cristóbal	44.8
	„ Arzobispo	37.2
	Acueducto de Chapinero	36.0
	Acueducto de Rosales	26.8
Medellín	Quebrada de Piedras Blancas	62.0
	Quebrada de Santa Elena	98.0

Como se ve de las cantidades de sólidos totales expresadas en el cuadro anterior, éstas son muy moderadas para las aguas de Bogotá pues aun las de Medellín, que tienen cifras mayores, son lo suficientemente bajas para presentarlas como plenamente satisfactorias.

En cuanto a la "dureza" de las aguas se ha determinado según la prueba del jabón; los bicarbonatos de Ca. y de Mg. que contiene el agua, reaccionan con los ácidos grasos del jabón. El agua se dice dura cuando *corta* la jabonadura y deja en la superficie una nata grasosa: al contrario, es suave, cuando hace abundante espuma y limpia sin dejar residuo. La suavidad del agua es un factor importantísimo porque reduce el gasto de jabón para lavado y para usos domésticos y porque da una mayor garantía para la preparación de los alimentos, como también en la industria su empleo favorece las calderas por la poca costra que deposita en su interior.

Las aguas de Bogotá son bastante suaves, como puede verse en el siguiente cuadro:

LOCALIDAD	PUENTE DE ABASTO	DUREZA Total	AÑO
Bogotá	Río S. Francisco	18	1920
	„ „ Cristóbal	14	„
	Chapinero	12	„
	Río Arzobispo	10	„
	Rosales	9	„
Medellín	Quebrada Piedras Blancas	30	1923
	Quebrada Santa Elena	37	„

(Datos del Inf. del Ing. Geo C. Bunker)

A fines de 1921 se instalaron clorizadores duplicados en los cinco abastos de aguas de Bogotá para su purificación. El móvil principal que determinó la desinfección de las aguas por el sistema del cloro fué la lucha contra las terribles epidemias de la fiebre tifoidea que desde hacía muchos años azotaban la ciudad. El resultado fué sorprendente: la epidemia no se presentó y sólo en unos días en que hubo de suspenderse el servicio de cloración, se notó un aumento de enfermos de tifoidea en el Hospital de San Juan de Dios.

Las infecciones intestinales disminuyeron hasta el punto de poder considerarse como eliminadas.

El número de bacterias encontradas en el acueducto de Chapinero antes de la cloración era de 2.890 por  $\text{cm}^3$ , y se hallaron bacilos del grupo Coli (a los cuales pertenecen los de la fiebre tifoidea, los de la disentería y los de la enteritis colibacilar que produce una fiebre muy semejante a la tifoidea) hasta en un céntimo de  $\text{cm}^3$ . Poco después de instalados los aparatos de desinfección, sólo se hallaron 34 bacterias por  $\text{cm}^3$  y de éstas ninguna del grupo Coli. (Datos del informe del Sr. Director Nacional de Higiene al Ministro de Agricultura y Fomento-1922).

Al plantear el problema de un suficiente abasto de aguas para Bogotá se ha de considerar la calidad de ellas y la cantidad necesaria; después se buscará la solución técnica que ofrezca mayores garantías por su localización con respecto al lugar de distribución, etc., factores que influyen económicamente en la obra que se diseña.

**CANTIDAD DE AGUA.**—Al calcular la cantidad de agua que haya de requerir la ciudad en un futuro más o menos cercano, el primer factor que influye será el número de habitantes, y el segundo la cantidad que cada uno de ellos consume por día.

Del costo aproximado de la obra se juzga su trascendencia y se fija un fecha hasta la que deba alcanzar el proyecto.

Algunos Ingenieros consideraron suficientemente amplio el diseño de la obra consiguiendo una fuente que, sumada a la actual, abasteciera una población de 300.000 habitantes a razón de 200 lt/hab./día. Para ello bastaba encontrar un caudal de aguas que suministrara 500 lt/seg.

Un estudio más consciente de la obra, debido al Ingeniero Saulo Vicente Medina, técnico en la materia, graduado en Estados Unidos y Profesor de Hidráulica y Abastecimiento en la Facultad de Matemáticas e Ingeniería, fijó como fecha de alcance de la obra el año de 1955. Se consultaron los censos de Bogotá de que se disponía, se calculó la rata de aumento; se hicieron minuciosos estudios sobre el cambio de esta rata a medida que la población aumentara; se estudió el crecimiento de ciudades de un número igual de habitantes en Estados Unidos durante un lapso de tiempo igual al comprendido entre la fecha actual y 1955; y se llegó a la conclusión de una población probable de 450.000 habitantes para Bogotá en 1955.

Vino después el estudio de la cantidad consumida por habitante y por día. La primera medida económica que hay que implantar es la instalación de contadores y la fijación de una tarifa mínima correspondiente a un gasto dado; esta disposición evita el despilfarro y aumenta el consumo útil porque obliga al consumidor a gastar una cantidad de agua mínima que de todos modos tiene que pagar.

Sin embargo, esta providencia que el pueblo no ve clara por falta de un criterio científico, ofrece dificultades de orden político y social que retardarán el empleo del sistema.

En el año de 1927 el promedio anual de abasto fué de 288 li/hab./día; en 1928, el abasto fué de 262 lt/hab./día. El valor máximo registrado en estos últimos años fué de 353 lt/hab/día y el valor mínimo de 135 lt/hab/día.

Se deduce de estos datos un consumo medio por hab. y por día para 1955, supuestas las necesidades que la comodidad y el desarrollo de la ciudad impongan a los suscriptores, y cuando al menos el 90% de las instalaciones tengan medidores, un valor medio de 250 lt/hab/día.

Con este cálculo se puede determinar la cantidad total requerida para la fecha señalada según el cálculo de población y el de consumo unitario para ese entonces.

Sea  $Q$  la cantidad total de que deba dotarse la ciudad.

$N$  el número de hab. calculado.

$q$  cantidad consumida por hab/día.

Entonces:

$$Q=Nq=450.000 \times 250 = 112.500.000 \text{ lt/día.} \\ 112.500 \text{ m}^3/\text{día.}$$

Deduciendo la cantidad de que actualmente dispone la ciudad, tomando su cifra mínima (13.824 m<sup>3</sup>/día) nos queda por buscar una fuente de abasto capaz de dar un rendimiento de 98.676 m<sup>3</sup>/día o lo que es lo mismo, en números redondos, de 100.000 m<sup>3</sup>/día.

#### SISTEMA DE CONDUCCION Y DE DISTRIBUCION.—

La distribución de las aguas en la ciudad se ve claramente que debe hacerse empleando la fuerza de la gravedad, utilizando la presión hidrostática resultante en las tuberías que toman su agua desde tanques de distribución instalados en las partes altas de la ciudad.

En cuanto a la elección de la fuente capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua para abastecer la ciudad, el primer punto que se presenta a la consideración del ingeniero es el sistema que haya de emplear para la conducción de las aguas, desde el sitio de toma hasta el tanque de distribución.

Si el primero de estos lugares se encuentra a un nivel más alto que los tanques, se podrá emplear la fuerza de gravedad para su conducción del uno al otro lugar; este sistema es el que ofrece las mayores garantías con un bajo o nulo costo de sostenimiento.

Sin embargo, puede ocurrir el caso de que la tubería quede en forma de un sifón invertido y entonces será un problema delicado estudiar si la conducción se hará por gravedad, empleando tubería de gran espesor en la parte baja del sifón, o si resulta más económico conducirla a un depósito bajo cerca de los tanques y elevarla por medio de bombas hasta ellos.

Cuando las aguas estén en el sitio de toma más bajas que los tanques de distribución, se ve claramente que sólo podrá emplearse la fuerza mecánica para su conducción.

**FUENTES DE ABASTO.**—Las fuentes de abasto capaces de suministrar el agua requerida para una obra de esta clase, eliminando el viejo sistema de las aguas lluvias, son:

- 1) las aguas subterráneas;
- 2) los embalses naturales;
- 3) los embalses artificiales;
- 4) las corrientes naturales de agua.

La primera fuente, o sea las aguas subterráneas, a pesar de que se llegó a asegurar que eran suficientes para una ciudad como Bogotá, tomándolas por medio de galerías

practicadas en los cerros que dominan la ciudad por el Este, y extrayéndolas también de las corrientes subterráneas de la Sabana, pronto se rechazó esta hipótesis dada la considerable disminución que estas fuentes sufren en los tiempos de sequía y su escaso rendimiento para una ciudad de las proporciones de Bogotá.

La segunda clase de fuentes ofrecieron algunas soluciones poco satisfactorias, unas desde el punto de vista técnico y otras desde el económico.

La laguna de Suesca, situada a 82 kmtos. de Bogotá, y la de Siecha, distante 40 kmtos. de la misma ciudad, si es cierto que tienen un nivel superior al de la ciudad, no tienen, en cambio, una corriente constante que les rinda el caudal sus aguas, de modo que son sólo alimentadas por las aguas lluvias de sus hoyas hidrográficas que son muy reducidas; pero como la cantidad de agua no es muy grande (casi insignificante en la de Siecha) ninguna de estas fuentes sería capaz de dar un rendimiento suficientemente grande, de modo que ambas resultan teóricamente inaceptables.

La laguna de Tota, en cambio, tiene una grandísima cantidad de agua; su nivel está por encima del de los tanques de distribución; es alimentada por importantes corrientes y su distancia es de 250 kmtos. a Bogotá; sus aguas tienen una gran profundidad y por tanto se purifican, según la teoría de las aguas tranquilas. Reúne todas las condiciones técnicas pero el problema resulta absurdo económicamente por el alto costo que representa esa enorme longitud de tubería.

La tercera clase de fuentes, es decir, los embalses artificiales son, en concepto del Dr. Medina, encargado del problema, los únicos a los cuales debe reducirse la cuestión, como se expone más adelante.

El estudio de la cuarta clase de fuentes, o sea de las corrientes naturales representa una gran complicación, ya porque la altura de la ciudad sobre el nivel del mar es muy considerable, ya por la distancia a que se encuentran las corrientes que pudieran ser utilizadas para el fin que persigue la obra.

Los ríos, provenientes en general de un manantial de agua que brota en el afloramiento de un estrato permeable que se halla sobre un estrato impermeable, después de resbalar en forma de quebrada o de riachuelo por un lecho impermeable, recibe el tributo de las aguas lluvias de la hoya hidrográfica por donde corre, aumentándose así el caudal de sus aguas.

La calidad de estas aguas dependerá de la clase de terrenos que recorran. Las impurezas naturales serán los resultados de la eroción y disolución de las sustancias minerales que hayan estado en contacto con la corriente. Las im-

purezas artificiales están constituídas por los desperdicios de las ciudades y por los residuos de materia orgánica con que las aguas se hayan contaminado.

Las aguas de los ríos fueron rechazadas al principio como fuentes de abasto; surgieron grandes controversias cuando se trató de utilizar el agua del río Támesis para el consumo de algunos barrios de Londres. Pero este era el único medio con que contaban las grandes ciudades para la provisión de sus aguas y además, un minucioso análisis demostró la purificación natural de estas aguas por la acción oxidante del aire que viene en contacto con las materias orgánicas, debido al movimiento de la corriente; también para esta purificación influye la gran dilución que experimentan las materias nocivas.

La determinación de la calidad de las aguas, que debe preceder a todo otro estudio, es un factor primordial que influye en el éxito de la Empresa; tanto por el costo que implicaría una purificación de aguas polutas o sospechosas, como por los males que resultarían para la higiene pública de la no purificación de ellas.

En el caso de Bogotá se analizaron las aguas más aparentes para el abastecimiento de la ciudad y dieron un resultado aparentemente satisfactorio.

Colocada la ciudad de Bogotá en una meseta a 2.640 m. sobre el nivel del mar, las corrientes de agua que pueden entrar en estudio, son: las aguas de la vertiente central que descienden hacia la Sabana y las de las dos vertientes oriental y occidental.

Entre estas corrientes se han de escoger aquellas que ofrezcan la posibilidad de conducción de sus aguas por gravedad hasta los tanques, cuya altura es de 2.700 m. sobre el nivel del mar. Por tanto, han de captarse las aguas en lugares más altos aún y aprovechar la diferencia de altura para su conducción y mediando una distancia considerable desde el lugar de captación hasta el de distribución, se requiere una caída suficiente para vencer siquiera la fricción y la resistencia por curvatura, etc.

Hay que rechazar, pues, las corrientes de las vertientes oriental y occidental porque ofrecen una cantidad muy pequeña de aguas en el sitio donde pudieran ser tomadas y además, habría que trasmontar la cordillera utilizando fuerza mecánica, o habría que perforarlas por medio de túneles, lo que sería también muy costoso.

Las corrientes cuyo estudio se puede emprender quedan reducidas a las de la vertiente central que afluyen al río Bogotá.

Los principales ríos son, de Sur a Norte: el Muña, el Soacha, EL TUNJUELO, el Bojacá, el Serrezuela, el Fu-

cha, el Cune, el Juan Amarillo, el Chicú, el río Frío, el Sopó, el NEUSA, el Checua, el Siecha y el Sisga.

Los doctores Belisario Ruiz y Adolfo Pinzón presentaron un interesante proyecto del cual se han tomado para este informe numerosos e importantes datos. En su estudio exponían un sistema para la utilización de las aguas del río Neusa.

Los puntos principales de su estudio, eran los siguientes: Cantidad de agua requerida por habitante y por día, 200 litros; población probable de Bogotá en un futuro próximo, 300.000 habitantes; deducida la cantidad de agua que actualmente dispone Bogotá, su problema se redujo a buscar una fuente que fuera capaz de proveer el nuevo acueducto de una cantidad de agua de 500 lt/seg.

El río Neusa, según cálculo de los ingenieros mencionados, es capaz de dar un aforo mínimo en los grandes veranos y en un lugar cuya altura es de 2.838 m. sobre el nivel del mar, de 1.000 lt/seg., cantidad 2 veces superior al cálculo que ellos establecen como suficiente para el consumo.

La caída disponible entre el sitio de toma y los tanques de San Diego y Egipto, es de 138 m.

Según este proyecto, la longitud de la tubería sería de 60 km. y estaría construida de acero según el tipo Mannesman. El diámetro interno pudiera ser constante de 750 mm. o se pudiera dividir en dos secciones de 30 kmtos. con diámetros interiores de 800 mm. y 750 mm. con lo que disminuirían las pérdidas de caída debidas al trabajo friccional.

El presupuesto de costo de colocación y de uniones de la tubería lista para funcionar, sería de 2 millones y medio de pesos oro.

Para forzar el agua a través de la tubería hasta los tanques de distribución habría que comprar la caída de Manzanal a la Cía. de Energía Eléctrica de Zipaquirá, la que pide 3 millones de pesos por la cesión de sus derechos.

El interesante estudio que se acaba de exponer no puede considerarse el mejor para la solución del problema, entre otras muchas circunstancias, porque la cantidad suministrada por el río sería insuficiente según los cálculos de la Secretaría de Obras Públicas.

Los otros ríos de la vertiente central no dan ninguno la cantidad requerida.

Utilizando fuerza mecánica podrían captarse las aguas del río Bogotá. Se aconsejó como mejor lugar de toma, muy cercano a Fontibón, distante 15 kmtos. de los tanques: pero se estudiaron sus grandes inconvenientes, como malísima calidad de las aguas, el gasto enorme de instalación de bombas y el consumo de energía, pues la diferen-



cia de altura de las boca-tomas al tanque sería de 150 m. Este proyecto, por tanto, quedó rechazado.

El problema queda, pues, reducido a la construcción de un embalse artificial que aproveche las avenidas de los ríos y regularice su corriente por medio de un gran almacenaje de aguas.

Tres ríos ofrecen condiciones favorables para el embalse:

1) el río Bogotá. Su hoya hidrográfica es bastante grande y plana, pudiendo represarse una cantidad muy grande de agua con dique de poca altura; las condiciones geológicas del suelo lo caracterizan como poco impermeable, lo que también favorece la obra.

Los mismos inconvenientes que se enumeraron para la utilización de la corriente de este río se presentan para la toma de sus aguas por medio de un embalse: por tanto puede considerarse como inaceptable.

2). Embalse en la hoya del río Neusa.—El gran caudal de sus aguas y la buena calidad de ellas, su hoya hidrográfica suficientemente grande para suministrar la cantidad de agua requerida, permiten plantear el problema para compararlo con los demás.

3) Embalse de Tunjuelo.—También esta obra da garantías suficientes, porque aun cuando el caudal de sus aguas no es tan grande como el del Neusa, sí da la cantidad necesaria, aprovechando las crecientes, que permitan al embalse suministrar los 100.000 m. cúbicos por día para la ciudad, sin que el río sufra una disminución demasiado grande de sus aguas, lo que perjudicaría las tierras que baña más adelante del sitio del embalse.

Los cálculos de precipitación hídrica en las regiones del Neusa y del Tunjuelo dieron un resultado medio de 18 m. cúbicos por día y por hectárea. No puede tomarse este dato medio, sino que se proyecta con un alto coeficiente de seguridad para asegurar un rendimiento en un tiempo de escasez. Así, sólo se toman 11 m. cúbicos como promedio del rendimiento/día/hectárea.

Requeridos 100.000 m. cúbicos al día, podemos dejar un 10% para regularizarlo con los excesos que se hayan almacenado. Se calcula la hoya hidrográfica capaz de dar un rendimiento de 90.000 m. cúbicos.

Sea A el área de la hoya que se quiere determinar.

R el rendimiento total de aguas que la obra requiere.  
r el rendimiento por unidad de área en la región estudiada.

$$\text{entonces, } A = \frac{R}{r} = \frac{90.000}{11} \text{ igual próximamente}$$

8.000 hectáreas, extensión que debe tener la hoya hidrográfica del río que se use.

Tanto del río Neusa como del río Tunjuelo se hicieron levantamientos taquimétricos que demostraron un área suficiente de sus hoyas hidrográficas.

El estudio se sitúa entonces en un campo económico.

Una presa de 18 m. de altura en el río Neusa sería suficiente: pero la tubería de conducción tendría una longitud de 67 kmtos. en forma de sifón invertido, lo cual elevaría el espesor de la tubería y por consiguiente su costo.

El dique en el Tunjuelo tiene una altura mayor; la diferencia de nivel entre el sitio más apropiado para su construcción y los tanques es próximamente la misma que entre el sitio de proyecto del dique del Neusa y los mismos tanques; en cambio, la longitud de la tubería es sólo de 25 kmtos.

La presa elegida debe almacenar un mínimo de 7 millones de m. cúbicos.

El proyecto de presa en el Neusa y su conducción a los tanques vale 9 millones de pesos y el proyecto del Tunjuelo vale sólo 4 millones. De manera que lógicamente fué escogido el proyecto del Tunjuelo.

El muro de la presa será de tierra con su corazón de arcilla que lo haga impermeable. Así resultaría más económico porque el sitio elegido es bastante aparente.

El presupuesto para la construcción de la presa es de un millón ciento cuarenta mil dólares sin imprevistos (20%).

El proyecto no deja de ofrecer lugar a objeciones por lo abolido que está el uso de estos muros de tierra y también por el profundo estudio geológico del sitio que debe hacerse todavía.

*José Caro L.*