

“Chingaza: agua para el año 2000” ¿Y mientras tanto?

De tiempo atrás la ciudad de Bogotá ha sobrellevado una deficiente prestación del servicio de acueducto. En la década del 60 se presentó un incremento acelerado de la demanda, obligando a la EAAB a establecer un plan maestro de acueducto (Primero y Segundo planes de ensanche), que pretendía satisfacer la demanda de la época y garantizar el suministro hasta 1990. Las obras de la primera etapa del segundo plan deberían terminarse en 1977, año en que se coparía la capacidad instalada, de acuerdo con las proyecciones de 1970. Sin embargo, las obras de captación, conducción y tratamiento se entregaron hasta 1983 con un costo cercano al 300% del presupuestado. El proyecto funcionó cuatro meses, pero fue necesario sacarlo del servicio por el taponamiento total que sufrió el túnel principal, cuya reparación tardó más de 16 meses; luego entró en operación de prueba y sufrió un daño en la válvula reguladora. En la actualidad, la EAAB no ha señalado responsables de las múltiples fallas que se presentaron, y los usuarios se encuentran sometidos a pagar los sobrecostos, a un racionamiento sectorizado y al peligro de un racionamiento en toda la ciudad.

FRANCISCO AMORTEGUI
Ingeniero

LUIS A. HUERTAS
WILLIAM BARBOSA
CAMILO PULIDO
FERNANDO HERRERA

Pág. 17-30
Ingeniería e Investigación
Volumen 3 N° 4
Trimestre 4-1985

DESARROLLO HISTORICO DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO

Antecedentes

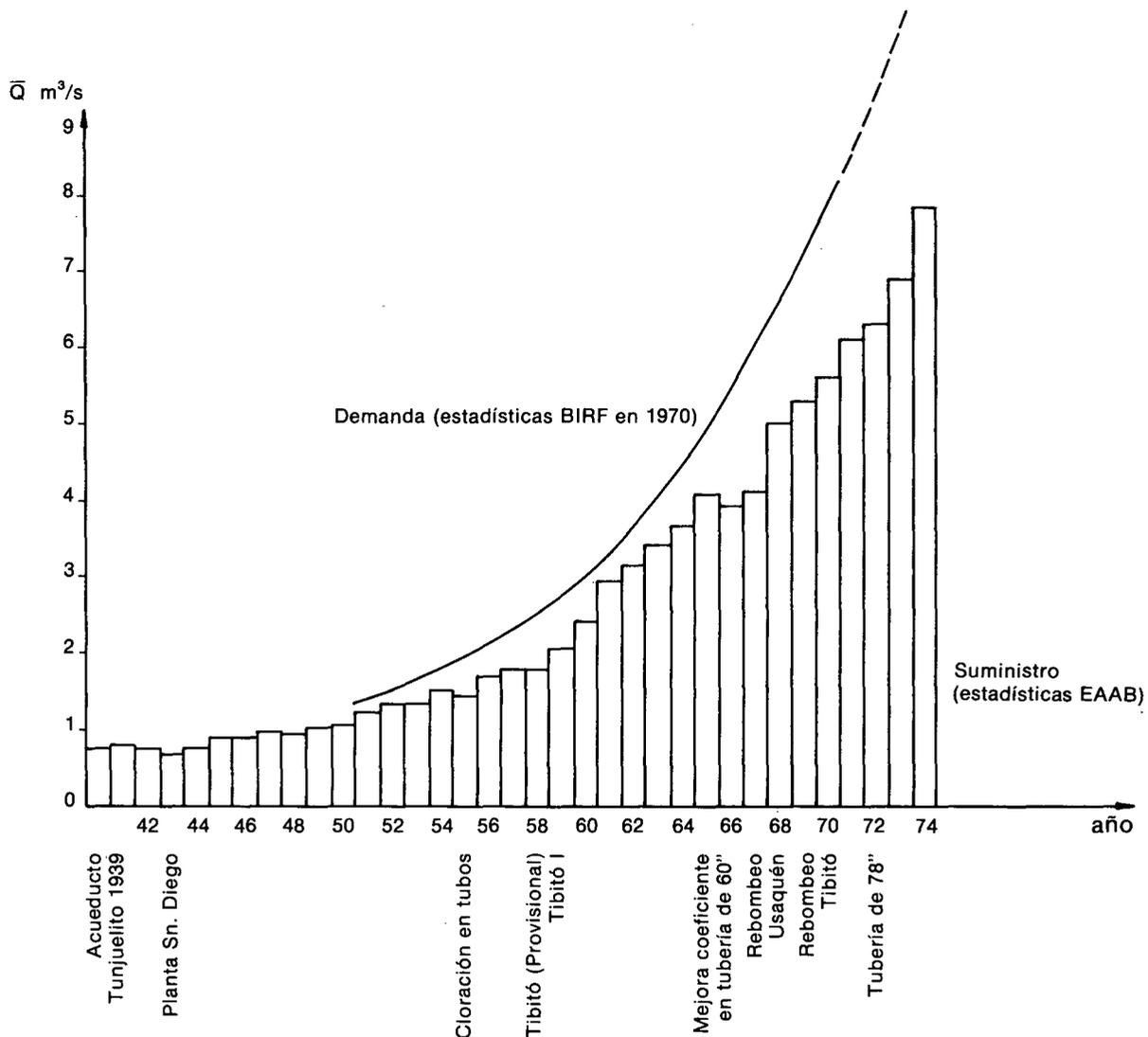
En 1927 el Concejo de Bogotá creó la Comisión Municipal de Aguas para estudiar los ensanches del abastecimiento de la ciudad y la búsqueda de fuentes apropiadas para afrontar la deficiencia en el suministro, que Dabney H. Maury (Ingeniero consultor contratado en 1928), ilustraba así:

“La insuficiencia del abastecimiento de aguas, para llenar las necesidades demandadas por el aumento de la población, han causado escaseces de agua muy serias durante cada uno de los dos períodos de verano en el año... Durante el verano el agua es insuficiente y el consumo se limita estrictamente a la provisión. Con agua suficiente, el consumo hubiera sido mayor. Actualmente hay aplicaciones registradas para más de 800 plumas de agua; además, parece que hay un gran número de personas que desean el servicio pero que ni siquiera han hecho aplicaciones, por conocer la incapacidad del acueducto para suministrarlo por ahora”.

Esta escasez de agua venía desde la Colonia, cuando el acueducto se servía por canales de conducción al aire libre y continuó después de 1888 con la instalación de la tubería de hierro.

En la década de 1930 se diseñó de manera completa un acueducto para la ciudad, con una fuente regulada, el río Tunjuelito y el embalse de la Regadera de 4 Mm³; planta de tratamiento de Vitelma con capacidad de 95000 m³/día, y una red de distribución dividida en cuatro zonas de servicio. Este proyecto comenzó a operar en 1938 y a partir de entonces se han venido haciendo ampliaciones para cubrir una demanda permanentemente insatisfecha (ver gráfica N° 1).

En 1955, por acuerdo 105 del Consejo Administrativo del Distrito Especial de Bogotá, se creó la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, como entidad autónoma y con patrimonio propio, con el propósito de construir y mantener las obras necesarias para el suministro de agua y la evacuación de las aguas negras y de lluvias de



GRAFICA N° 1. Suministro y demanda de agua en Bogotá (se indican las principales obras de ampliación).

la ciudad. La empresa sería manejada por una junta de siete miembros: el Alcalde de Bogotá, dos representantes del Concejo Distrital, tres representantes de los bancos locales y el Gerente del Banco de la República, composición que se conserva actualmente. En 1958 se terminó la construcción del acueducto del río Bogotá, con capacidad de 4 m³/s, que permitió la ampliación de la cobertura del servicio; sin embargo, a partir de 1961 comenzó nuevamente el déficit de suministro.

Para finales de 1967 el suministro de agua a la ciudad era de 5.5 m³/s, mientras que la demanda ascendía a 7.5 lo que representaba un déficit del 26%. Se programó entonces el primer plan de ensanche del acueducto consistente en la construcción del embalse de Cantarrana, sobre el río Tunjuelito; la ampliación de la planta de Tibitó a 12.6 m³/s; la construcción de una tubería adicional de 78" (la existente era de 60"), desde la planta de tratamiento hasta la ciudad; la ampliación de la red matriz de distribución; la construcción de tanques de almacenamiento y la captación y conducción de aguas del río Teusacá hasta

la planta de Tibitó. Para lograr la financiación de estas obras la EAAB hizo los primeros contactos con el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), cuya misión encontró viable la construcción de Tibitó y Cantarrana, pero también halló una empresa con deficiente organización; "... Los elementos de juicio para poder considerar la capacidad económica de la empresa tales como estadísticas, contabilidad, almacén, facturación de agua, etc., estaban en un desorden tal que ningún dato daba credibilidad a las gráficas sobre las cuales se había planteado un préstamo al BIRF". Fue en este punto en el que el Banco enfatizó y dejó claramente establecido que para ellos aceptar una financiación, la Empresa debería reorganizarse totalmente.

Se dio el caso que la ampliación de Tibitó proyectada por la EAAB consistía en la duplicación de todas las instalaciones de la planta (tanques, filtros, bombas de agua cruda, sedimentación, etc.), para pasar de 4 a 8 m³/s, a un costo de 146 millones de pesos; el BIRF sugirió revisar el proyecto y efectivamente se encontró que con sólo ampliar los lechos filtrantes y otros

cambios y adiciones se podrían obtener hasta 10 m³/s, a un costo de 74 millones de pesos, o sea, 50% más económico que lo calculado inicialmente. Hecha la reorganización, el BIRF prestó US \$ 14 millones (contrato 536-CO), reservándose el derecho de desaprobar cualquier reorganización substancial de la empresa, reformas en el Acuerdo municipal concerniente a la constitución de la empresa. Además, ésta debería informar sobre cualquier propósito de nombrar gerentes o subgerentes, dándole la oportunidad de expresar sus puntos de vista sobre tal nombramiento. Si los cambios ocurrían sin la aprobación previa del Banco, constituirían un incumplimiento en el préstamo.

En 1974 se terminaron las obras de captación, tratamiento y conducción correspondientes al primer plan de ensanches, que disminuyeron el fuerte déficit de suministro sin llegar a satisfacer totalmente la demanda, porque si bien ésta creció a una tasa menor que la prevista y no se presentaron problemas en la capacidad de tratamiento y conducción en la red primaria, la inexistencia o incapacidad de las secundarias y la no construcción de estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento, hicieron imposible el suministro adecuado a toda la ciudad.

SEGUNDO PLAN DE ENSANCHES DEL ACUEDUCTO

Según las previsiones de la EAAB, la capacidad del primer plan de ensanche se coparía en 1977, año en el que debería estar listo el aprovechamiento de otra fuente de agua que se pensaba sería la del macizo del Sumapaz con un rendimiento calculado de 31.8 m³/s. Este proyecto presentaba el inconveniente de no poseer sitios adecuados en la hoya para construir embalses y el consiguiente transporte de caudales no regulados por conducciones sobredimensionadas de 115 Km. de túneles y de 8.5 de tuberías hasta Cantarrana y de allí al embalse de Tominé por conducciones de 27.5 Km., con dos plantas de bombeo de 100 metros de cabeza total.

Sin embargo, a raíz de las sugerencias del ingeniero Luis José Castro, quien desde 1933 había realizado mediciones del potencial hídrico obtenible en el páramo de Chingaza y enviado comunicaciones con estos resultados al Acueducto, Ministerio de Obras Públicas y Dirección Nacional de Electrificación sin obtener resultado, la EAAB comisionó la exploración del páramo cuyos resultados dieron tan buenas expectativas que su aprovechamiento se antepuso al de Sumapaz.

Las ventajas que presentaba el Páramo de Chingaza radicaban en el alto rendimiento de la cuenca, aprovechable por etapas y la posibilidad de construir embalses reguladores en la fuente que disminuirían el costo de las conducciones a Bogotá; la altura del páramo, la buena calidad del

agua y la ausencia de poblaciones o industrias que la degradaran, hacían que el transporte por gravedad y el tratamiento de ésta fuera muy barato. Otra ventaja radicaba en que traer agua de la hoya del río Orinoco aumentaría las del río Bogotá, disminuyendo la contaminación y aprovechándose aguas abajo de la sabana de Bogotá en generación de energía eléctrica, en el sistema existente, o en uno paralelo (Guaca y Paraíso).

De acuerdo con las proyecciones de 1970, el aprovechamiento total del Páramo de Chingaza garantizaba el suministro de agua a Bogotá y municipios cercanos hasta el año de 1990, siendo necesaria la ampliación de la red matriz de distribución, encargada de transportar el agua desde las plantas de tratamiento a los grandes centros de consumo, con sus respectivos tanques de almacenamiento y redes secundarias de distribución. Estas obras deberían estar construidas tan pronto entrara en operación la primer etapa del proyecto Chingaza (1977).

Sin embargo, Chingaza entró en operación total sólo hasta 1983, con un retraso de siete años, (los pozos de Río Blanco suministraban cerca de 1 m³/s, desde un año antes).

Por otra parte, el diseño de las nuevas redes se aplazó hasta cuando se terminara la construcción de las correspondientes al primer programa de ensanche y se pudiera recoger información de los requerimientos de la nueva conducción, de tal forma que su diseño fuera óptimo. Luego del primer estudio de factibilidad realizado por INGETEC en 1970, se realizaron otros tres estudios: Uno por cuenta de la dirección de planeamiento de la EAAB en 1973, otro en 1975 por la firma Consultoría y Sistemas y el último en 1984 por el Consorcio Plan Maestro de Acueducto, además de otras consultas. Lo que era sano y temporal en un comienzo se dilató al punto que han pasado quince años y sólo se prevé que en 1986 se inicien las obras que demandarán siete años para su construcción.

Durante el período 1977-1983 se mantuvo el déficit en el suministro de agua, inicialmente por falta de redes, aumentada por la incapacidad de las plantas para tratar toda el agua que necesitaba la ciudad. Esta situación se hizo evidente cuando operó Chingaza y el consumo aumentó en un 20%, si bien las zonas altas continuaron deficitarias por falta de bombeo.

La distribución del agua proveniente de Chingaza se hizo a través de la tubería de 60", fluyendo 4 Km hacia el norte hasta empalmar con la tubería de 78" en la calle 151. Como esta tubería es la encargada de transportar el agua proveniente de Tibitó, debió disminuirse la operación de esta última palabra, lo cual significa que Tibitó y Chingaza no pueden operar simultáneamente a plena capacidad.

Al salir de servicio el sistema Chingaza, en enero

de 1984, se presentó una fuerte escasez de agua, al regresar el sistema a condiciones peores a las originales, por el aumento de la demanda. A partir de esta época se operó con el sistema antiguo (Tibitó) y la planta El Sapo, ésta última con aguas de los pozos del Río Blanco (1 m³/s, en promedio); operación inadecuada para esta planta, diseñada para tratar la mezcla del agua de los pozos y la del embalse de Chuza.

Además, durante la operación de los túneles, no se recuperaron los embalses agregados al río Bogotá, sino que se aumentó la generación en el sistema hidroeléctrico. Cuando la salida del túnel fue inminente, se suspendieron las descargas adicionales de los embalses para generación; en este momento (diciembre de 1983) los embalses tenían 120 Mm³ y comenzaba la época de verano que demoraría tres meses, según los registros históricos. La situación era crítica pero no se tomaron medidas de seguridad adicionales. El 14 de abril se prohibió totalmente el consumo de agua para riego agrícola y se restringió el uso del agua en la ciudad con racionamientos sectorizados y durante 12 horas. A finales del mes de mayo se realizó un bombardeo a las nubes, con yoduro de plata, para originar lluvias en la zona alta del río Bogotá. Este bombardeo costó cerca de 13 millones de pesos y según expertos del HIMAT, la

Aeronáutica Civil, el Instituto Geofísico de los Andes y la Sociedad de Meteorólogos de Colombia, no funcionó y las lluvias que cayeron se debieron al invierno que comenzaba en todo el país.

El 21 de junio se levantó el racionamiento horario, aunque continuó el sectorizado por la escasez de agua.

En febrero de 1985 se tenían sin servicio a cerca de 700.000 personas (650.000 según los datos del estudio de factibilidad de la red matriz hecho en 1984) correspondientes al 15% de la población de la ciudad, sin contar los que tienen un servicio deficiente.

SISTEMA ACTUAL

En la tabla N^o 1 se puede visualizar un resumen del sistema actual de Acueducto de Bogotá, donde se tienen en cuenta las fuentes, la planta de tratamiento y la conducción hasta la ciudad. Es de anotar que la capacidad real del embalse agregado, cuando se utiliza la totalidad del caudal del río Bogotá en Tibitó, no sobrepasa los 400 Mm³ que es el volumen de agua que lleva el río en un año.

Redes de distribución

El sistema de distribución está dividido en tres zonas de servicio que dependen de su altura, así:

TABLA N^o 1
Sistema actual de suministro

Sistema	Tunjuelito 1938/1953	Tibitó I - II 1959/1966/1972	Chingaza 1983
Fuente	Río Tunjuelito, es uno de los mayores afluentes del Bogotá, nace al sur de la ciudad en la región del Sumapaz.	Río Bogotá (Incluye el Tominé, Neusa, Tibitó y el Teusacá).	Río Chuza, Río Guatiquía, Río Blanco. Localizados al oriente de la sabana de Bogotá.
Cuenca	163 Km ²	1679 Km ²	266 Km ²
Rendim. Promed. (min-max)	1,2 m ³ /s (0,9-1,5) m ³ /s	12,6 m ³ /s (2,8 - 25,6)m ³ /s	14,0 m ³ /s
Captación y reserva (1)	La Regadera (1938) con 4,1 Mm ³ a una altura de 3002 msnm. Chisacá y los Tunjos (1951/59). Captación en la Regadera, 25 Km al sur de la ciudad. Total de reserva 11,5 Mm ³	Tominé (1962), 690 Mm ³ 2628 msnm Sisga (1951), 100 Mm ³ , 2699 msnm Neusa (1951), 100 Mm ³ 2999 msnm Tapias (1973), 4,1 Mm ³ 2766 msnm Total de reserva 890 Mm ³	Chuza (1983), 250 Mm ³ , 2999 msnm
Transmisión de agua cruda	Dos tuberías por gravedad desde La Regadera. 22 Km, 24"-30" en concreto, (1938) 24 Km, 18"-22" en acero (1953).	Tubería 60", 410 m, Concreto pretensado Tubería 78", 465 m, Concreto pretensado Tubería 78", 3 Km, (todas por bombeo).	Túnel Palacio-Rioblanco, 28 Km. Por gravedad. Tubería Simayá, 5 Km. Gravedad Túnel Siberia, 3 Km, Gravedad Sifón de Teusacá, 1 Km
Tratamiento	Planta de Vitelma a 2790 msnm 1,5 m ³ /s	Planta de Tibitó I y II a 2675 msnm 12,6 m ³ /s	Planta El Sapo, a una altura de 2800 msnm.
Conducción de agua tratada.	Se entrega directamente a la red de distribución.	Dos tuberías de concreto desde Tibitó 33,8 Km en 60" 30 Km en 78" Ambas por gravedad	Túnel de Usaquén 2 Km, Tubería de 60" desde el tanque de Santa Ana hasta la estación de rebombeo de Usaquén.

Zona Alta: Arriba de la cota 2615. Se distribuye el agua de la planta de Vitelma y del tanque de San Diego, por gravedad y por bombeos escalonados hasta la cota 3100 msnm.

Zona Intermedia: Localizada entre las cotas 2615 y 2600. Está alimentada desde Usaquéen, pero en caso de emergencia se puede alimentar por el sur, desde la Zona Alta. Para esta zona no existe tanque de compensación. La conducción se hace por tuberías de 42, 36 y 30 pulgadas.

Zona Baja: Localizada por debajo de la cota 2600 msnm. Se surte de las plantas de Tibitó y de El Sapo. Tiene como tanques de compensación los de Casablanca, Parque Nacional y Santa Lucía, con capacidad total de 220.200 m³. La conducción se realiza por tuberías de 78 y 60 pulgadas con derivaciones hacia diferentes centros de consumo en tubos de 42, 36 y 24 pulgadas.

Operación

La operación actual cambiará cuando entre en funcionamiento, nuevamente, el proyecto Chingaza; sin embargo, la situación no cambiará para todos los usuarios que poseen un servicio deficiente o no tienen, ya que el sistema de distribución actual es insuficiente para transportar toda el agua demandada. La conexión de la planta El Sapo a la red de distribución se hace por medio de una tubería desde el tanque de Santa Ana hasta la estación de rebombeo de Usaquéen. Si se piensa utilizar la tubería de 60" existente para distribuir hacia el sur, quedaría prácticamente inutilizada para transportar agua desde Tibitó; y si, además, se pretende distribuir también agua del nuevo proyecto por la tubería de 78",

disminuiría apreciablemente la capacidad de la tubería para transportar agua desde Tibitó por el aumento en la presión de la intersección. Esto haría falso el dato de que la capacidad instalada es de 26 m³/s. Este mismo motivo impide el reemplazo total de la planta de Tibitó por la planta El Sapo, que es más económica; de hacerse, dice el ingeniero Oliverio Flórez, consultor contratado por la EAAB, la situación sería peor que la actual...

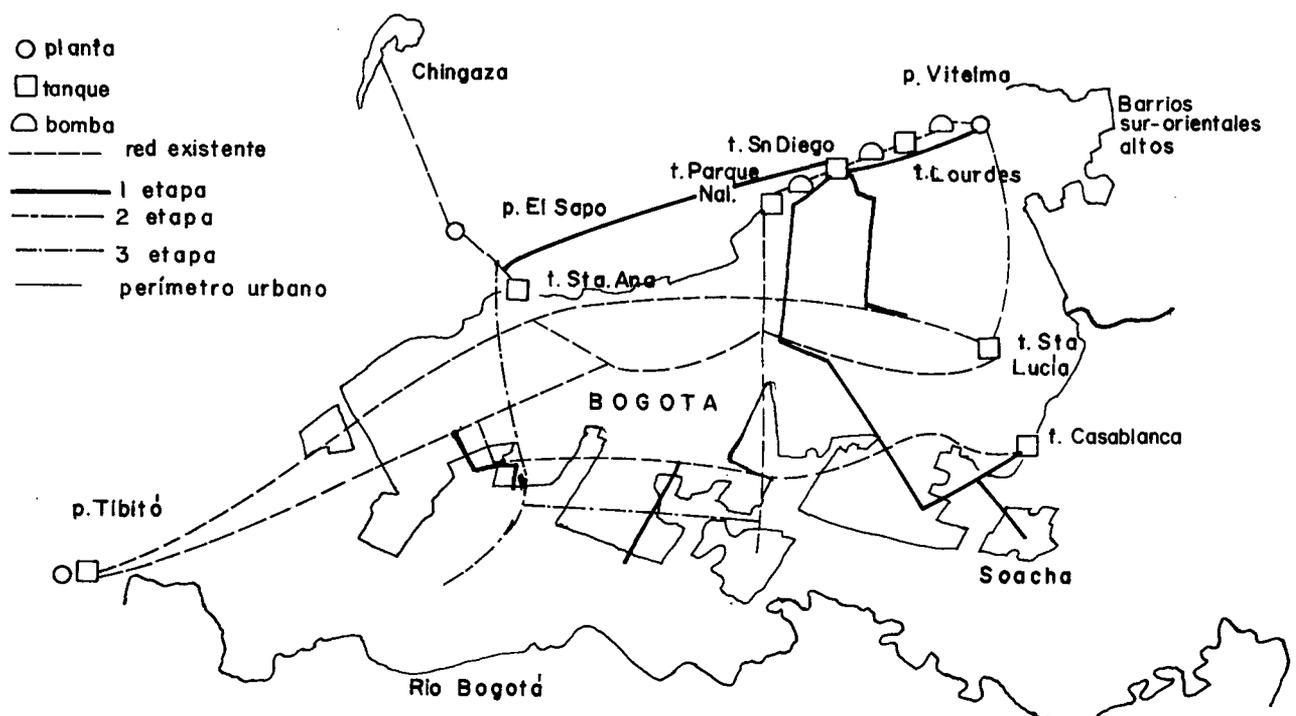
Esta situación se presentó por la no construcción del sistema complementario de distribución matriz, antes de entrar a operar el proyecto de tratamiento y conducción.

Otro problema que se presentará será la inseguridad en las conducciones de agua cruda desde Chuza hasta El Sapo, situación que pudo haberse evitado con la construcción del embalse de San Rafael, localizado cerca de la planta de tratamiento en la margen occidental del río Teusacá, que estaría en capacidad de almacenar 50 Mm³, suficiente para el suministro a la ciudad durante 40 días, tiempo suficiente para emprender una revisión, mantenimiento o reparación del túnel o tomar las medidas necesarias para afrontar una emergencia.

Con este panorama la ciudad seguirá racionada por lo menos mientras se construya un sistema adecuado de distribución.

Plan Bogotá IV

El proyecto de construcción de la red matriz de distribución, denominado Bogotá IV, que se construirá en el período 1985-1992, consta de: Un túnel desde el tanque de Santa Ana hasta el Parque Nacional y el tanque de San Diego; una



Localización de plantas y redes primarias (Incluye el proyecto Bogotá IV)

tubería de alta presión desde el Parque Nacional hasta el tanque de Casablanca, en el extremo sur-occidental de la ciudad y otras que interconectan el Parque Nacional con Vitelma y la tubería de 60" del sistema existente, respectivamente. Además, el embalse de San Rafael, que aumentará la confiabilidad de Chingaza; y las redes menores de acueducto y en un futuro, la construcción de una tubería desde el tanque de Santa Ana hasta el cerro de Suba con su respectivo tanque de almacenamiento.

Para este proyecto ya fue aprobado un crédito del BIRF por US \$ 130 millones, el monto restante se cubrirá con créditos de exportación por US. \$ 59 millones y US\$ 126 con recursos propios de la Empresa.

DESARROLLO DEL PROYECTO CHINGAZA

Ubicación

El páramo de Chingaza está ubicado a 40 Km al este de Bogotá, en jurisdicción del municipio de Fómeque. Entre él y los cerros orientales de la Sabana se interpone el valle del río Blanco que corre de norte a sur. La cuenca aprovechada en el proyecto posee cerca de 50.000 hectáreas sobre los tres mil metros y en los picos de Los Organos, pertenecientes a la serranía de Los Farallones alcanza los 4.000 metros.

Las copiosas lluvias (entre dos y tres metros anuales) escurren en su totalidad al llano y son recogidas por los ríos Chuza, La Playa y Frío, afluentes del río Guatiquía. Este, luego de pasar por la ciudad de Villavicencio, desemboca al río Meta. La distribución de las lluvias es la característica del oriente colombiano, con verano de diciembre a abril e invierno el resto del año.

El alto rendimiento hídrico del páramo se debe a que los vientos provenientes de la Amazonia y la Orinoquia, al chocar con las franjas de los bosques de la cordillera oriental, disminuyen su velocidad y ascienden permitiendo la saturación del aire y posterior condensación de la humedad, que al precipitarse es almacenada por la vegetación rasante (helechos, líquenes, musgos, etc.), en especial el musgo blanco formador de los tremedales, importantes en el mantenimiento y regulación del ciclo hidrológico.

El musgo blanco posee diversas e interesantes características:

—Retención de aguas lluvias: Los tejidos del musgo tienen la propiedad de hincharse al contacto con el agua y de almacenarla por el efecto de capilaridad. Un metro cúbico de musgo puede almacenar de 165 a 200 litros de agua.

—Acción purificadora y descontaminante: Al absorber el agua lluvia, los poros se encargan de filtrarla, eliminando las impurezas.

—Acción antiséptica: Segrega una sustancia (esfagnol) que evita la putrefacción de la materia orgánica en sus alrededores y elimina el mal sabor del agua.

—Acción reguladora: Al almacenar el agua, evita la evaporación. En épocas de verano va liberando paulatinamente las reservas, eliminando la sequía de las corrientes de agua.

—Acción antierosiva: Al ir liberando el agua en el verano, el musgo se encoge formando una película en el piso, resistente a la acción de los rayos solares y al viento.

El desnivel natural de las vertientes da lugar a la formación de pequeñas y grandes cascadas, dispuestas en pasos de escalera, que aumentan la velocidad del agua y obligan a una amplia oxigenación y crean eficaces mecanismos de autodepuración y regulación hídrica que permiten al páramo tener agua de muy buena calidad.

Desafortunadamente, el manejo del ecosistema del páramo no ha sido adecuado. La fauna compuesta por osos, venados, conejos, guatines, zorrillos, borugos, águilas, mirlos, palomas, patos, etc., está prácticamente extinguida. Su papel es importante en el equilibrio ecológico porque al ingerir y luego excretar las semillas de determinadas especies, permiten su diseminación y aumentan la probabilidad de germinación. La vegetación ha sido objeto de quemas que la destruyen, alteran la composición del suelo, elevan su pH, disminuyen la humedad y por lo tanto la capacidad de almacenar agua, la nueva vegetación ya no regula ni almacena. La tala indiscriminada de bosques en inmediaciones de Fómeque ha disminuido el régimen hidrológico del páramo; por otra parte, en 1978, el 22% del área de la cuenca de los ríos Chorreras y Santa Bárbara (norte y oriente de Chuza), se encontraba prácticamente destruida por la acción del hombre.

Estudios previos

A. Hidrología

La distribución anual de caudales no está regida por una ley universal, sino por el azar, debido al infinito número de causas que en ella intervienen. Se considera que para lograr el aprovechamiento óptimo de una fuente de agua se debe disponer de registros hidrológicos continuos por un período mínimo de 20 años.

Al acometer el diseño de las obras del proyecto Chingaza, se disponía de registros de uno a tres años en el mejor de los casos, a pesar de que pudieron haberse comenzado desde los años 30. Ya en 1927 los vecinos de Fómeque señalaban a la Comisión Municipal de Aguas, la riqueza de aguas del páramo de Chingaza. En 1929 el geólogo Hermann Hoeck recomendó aprovechar las cabeceras del Río Blanco y la construcción del embalse de San Rafael sobre el río Teusacá. En 1933 el ingeniero Luis José Castro envió al acueducto su primera comunicación sobre Chingaza, en donde indicaba el área de la laguna del mismo nombre y de su hoya, su profundidad y caudal aprovechable. Allí recomendaba la posible

TABLA Nº 2.
Hidrología

Hoya utilizable ¹	Caudal utilizable m ³ /s
Río Chuza en el páramo de Chingaza	5.9
Río Guatiquía en el páramo de Chingaza	5.8
Chorro de Leticia en el páramo de Chingaza	0.2
Río Blanco en el valle del río	1.4
Total primera etapa	13.3
Sur de Chingaza (aún no definido)	1.3
Oriente de Chuza, río Santa Bárbara	1.5
Norte de Chuza, ríos Chorreras y Guavio	4.3
Hoya del río Teusacá hasta la Calera	1.6
Total aprovechable	22.0

1) Datos de 1969.

conducción a Bogotá¹. En los años 40's se presentó una propuesta francesa para desarrollar y aprovechar sus aguas en un desarrollo hidroeléctrico y en fomento agropecuario. En 1950 se propuso como acción alterna a Tibitó. Por último, en 1962 la Comisión de Aguas, creada en 1959, lo señaló junto a Sumapaz, como única salida a los problemas de agua de la sabana de Bogotá.

Llegado el momento de diseñar las obras del proyecto Chingaza, fue necesario establecer correlaciones de las hoyas de los ríos Chuza y Guatiquía con la vecina del río Guavio, de la que se tenían registros de 7 años, para obtener un mayor período de caudales en estos ríos. Se obtuvieron los rendimientos que se recogen en la tabla Nº 2.

El rendimiento medio de los ríos que nacen en el páramo de Chingaza para el período 70-80, se muestra en la gráfica Nº 2. Se trata de una característica descendente que, si se analiza a la luz de la devastación que ha sufrido el páramo, resulta preocupante, aunque desde el punto de vista meramente estadístico, obedece a la escasez de datos, pues observaciones de 10 a 20 años no permiten determinar con precisión el caudal medio de un curso de agua.

B. Geología

El reconocimiento y exploración de la zona del proyecto se inició en 1966, haciéndose más detenido a partir de 1969 cuando se recorrió toda la zona desde la laguna de Chingaza hasta la urbanización Santa Ana.

La exploración subterránea consistió en sondeos

que en el caso del túnel más grande del proyecto, el Palacio-Río Blanco, alcanzaron 2.346 metros lineales perforados, cifra que se puede evaluar mejor, si se compara con los 14.000 metros lineales perforados a comienzos del siglo en el estudio del túnel Urbano Número 1 del Acueducto de Nueva York, de igual longitud, o con los 4.000 metros perforados entre 1926 y 1930 para el túnel que transporta el agua de la ciudad de Vancouver que tiene 940 metros de longitud.

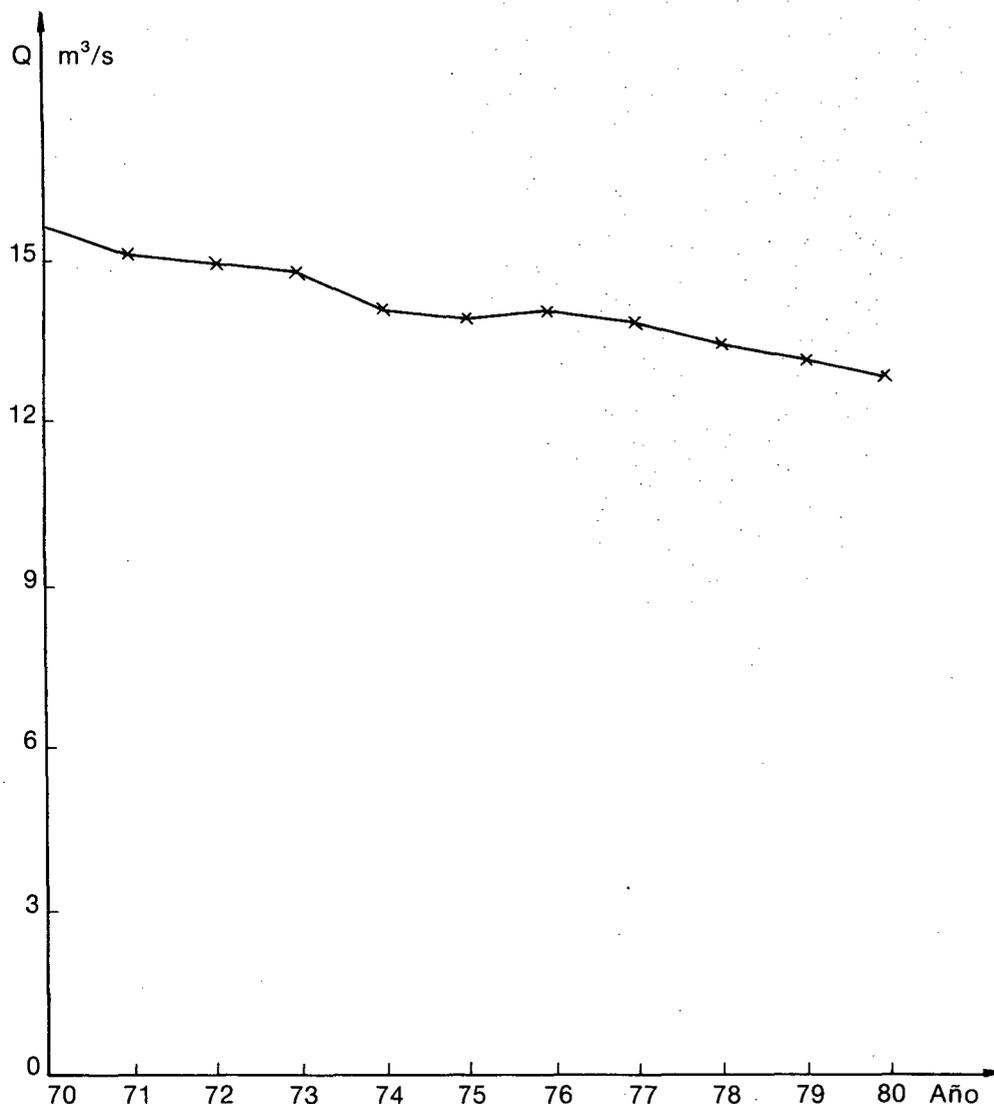
Los 2.346 metros perforados se realizaron en 20 sondeos: Seis en los portales de entrada, seis sobre el eje del túnel y ocho alejados del eje, distancias que van de 50 a 300 metros. Entre las abscisas K2 + 650 a K16 + 000 y entre la K22 + 000 a K26 + 000 no se hicieron perforaciones, con lo que 17.35 Km (62%) de los 28 del túnel no se exploraron.

Pudiera argumentarse que para obtener una información confiable sobre el proyecto que va a recorrer el túnel, se requerirían sondeos de exploración demasiado cercanos, que implican altos costos y demoras. En casos como el del túnel Palacio-Río Blanco (bastante profundo y costoso), se justificaría la realización de una galería piloto, de bajo costo relativo si se hace sobre la línea del túnel.

En el estudio del túnel no se realizaron estas galerías piloto, ni tampoco se utilizaron métodos indirectos (como los geofísicos), que permiten obtener información respecto a la importancia de fallas y fracturas de mayor magnitud, profundidad de la roca firme bajo un suelo potente y situación de ciertas formaciones y su posible intersección con el piso del túnel.

Por otra parte, si bien la literatura sobre el tema recomienda que los sondeos alcancen la cota del túnel, el criterio utilizado en la obtención de los registros geológicos fue el de extrapolar hacia la profundidad la información obtenida en la super-

1) La hoya del río Teusacá es la más grande y más cercana a la ciudad, con altura suficiente. Hubiera sido lógico estudiar este río con todo interés para tener bases seguras para los cálculos y para la comparación con otras cuencas, pero se descuidó por completo este estudio... no existen para ningún río, ni el Tunjuelito, ni el Teusacá aforos exactos por tiempo suficientemente largo para determinar el caudal medio con sus fluctuaciones máximas".



GRAFICA Nº 2.
Caudal medio anual,
ríos Chuza y Guatiquía.
Periodo 1970-1980

ficie, hasta llegar a la cota del túnel. La extrapolación de la información en terrenos sedimentarios se puede realizar con cierta precisión, siempre que los lechos no estén demasiado trastornados por pliegues y fallas, cosa que no ocurre en la zona del proyecto que "ha sido sometida a intensos movimientos tectónicos que han causado factores estructurales como fallas, plegamientos y juntas".

El peso del estudio geológico de un túnel radica en que es el primer paso del proceso metodológico para su construcción; es de vital importancia en la clasificación de las calidades mecánicas de los terrenos a excavar y revestir, en la tipificación de los procesos de avance y consolidación que definen el orden de magnitud de los dos elementos básicos que componen la obra de un túnel, su presupuesto y tiempo de ejecución. En el caso del túnel que nos interesa, el tiempo de construcción calculado en 60 meses, se alargó hasta llegar a 132 (agosto de 1972 a agosto de 1983). En cuanto a su costo, no es posible determinarlo

porque la EAAB globaliza la información sobre la presa y la conducción a Bogotá, que de US. \$ 41 millones calculados en 1971, pasó a US. \$ 178.1 millones en 1983.

La EAAB ha minimizado la importancia y el alcance que pudiera haber tenido el estudio geológico del túnel Palacio-Río Blanco, llegando a considerarlo como superfluo, contrario a lo que sostienen varios autores, entre ellos C. A. Péquignot (Tunnelling in Rock, London, 1963): "La importancia de una completa exploración de los estratos antes de embarcarse en cualquier proyecto en terrenos blandos, difícilmente puede ser sobreestimada. Los depósitos aluviales y glaciales están notoriamente sujetos a cambios repentinos e impredecibles en cortas distancias y el ingeniero debe estar en guardia contra suposiciones inciertas basado en la interpolación de los resultados de los sondeos".

Descripción del proyecto

El aprovechamiento de las hoyas de los ríos Chuza, Guatiquía, Blanco y del Chorro de Leticia,

TABLA N° 3.
Obras del Proyecto Chingaza
(sin planta de tratamiento)

Obra	Características técnicas					Función
Almacenamiento (embalse de Chuza)	Presa de Golillas: Construida en grava con núcleo de arcilla y placa impermeable de concreto en su cara aguas arriba. Tiene una capacidad total de 250 Mm ³ y un embalse útil de 224 Mm ³ . La cresta tiene una longitud de 110 m y un ancho 8 m; el ancho de la pata es de 420 m. y la altura total es de 127 m. con rebose a 2999,5 msnm. Además de la presa están el Dique y el Rebosadero.					Capta las aguas de los ríos: Chuza Guatiquía Chorro de Leticia
Desviación (Túneles y pozos)	<p>Del río Chuza: Longitud (L) = 752m., Diámetro (D) = 5,8m.; capacitado para operar a presión (100 metros de agua).</p> <p>De Guatiquía: L = 3220m.; D = 2,9m.; operación a flujo libre, puede presurizarse.</p> <p>De Leticia: L = 300 m.; D = 2,1m.</p> <p>Los pozos de Río Blanco, localizados sobre la hoya de este río en las quebradas Jaboncillo, Buitrago, Río Blanco y la Horqueta; pozos verticales los conectan con el túnel Palacio-Río Blanco.</p>					<p>Descarga del fondo del embalse.</p> <p>Desvía las aguas del río al embalse de Chuza.</p> <p>Desvía las aguas del Chorro Leticia al embalse.</p> <p>Aprovechan las aguas de estas fuentes.</p>
Conducción de agua cruda 30 m ³ /s	Tramo	L (m)	Tipo	D ó ϕ (m)	Pendien.	<p>Conducen el agua cruda desde el embalse hasta la planta de tratamiento El Sapo.</p> <p>En Simayá se pueden eliminar los excesos de agua utilizables para el servicio de la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá.</p>
	Palacio-Río Blanco; Chuza-Ventana	18.300	Túnel a presión	D = 3,20 max. ϕ = 2,66 min	0,00170	
	Ventana-Simayá	10.200	Túnel a flujo libre	D = 3,70	0,00421	
	Conexión de Simayá	310	Tubería de concreto reforzado, canal, rebosadero y canaleta Parshall	ϕ = 3,30	Variable	
	El Faro	924	Túnel a flujo libre	D = 3,70 max.	0,00430	
	Siberia	3.015	Túnel a flujo libre	D = 3,70	0,00430	
	Simayá	4.500	Tubería de acero a presión	ϕ = 3,00	Variable	
	Sifón de Teusacá	670	Tubería a presión	ϕ = 3,30	Variable	
Conducción de agua tratada	Usaquén (42 m/s)	2.221	Túnel de baja presión	2,90		Transportan el agua desde la planta de tratamiento hasta la estación de bombeo de Usaquén, atravesando el cerro nor-oriental de la ciudad.
	Santa Bárbara	270	Prolongación del túnel de Usaquén	1,50		
	Conducción de Usaquén	2.800	Tuberías de acero	2,30		

D es el diámetro de la herradura de los túneles. ϕ es el diámetro de la sección circular.

conforma la primer etapa del proyecto Chingaza, cuyas obras principales de desviación, almacenamiento, conducción de agua cruda y conducción de agua tratada, se encuentran detalladas en la tabla N° 3 en la que también se muestran las características técnicas de cada obra. La planta de tratamiento El Sapo está localizada

en la Calera, sobre la margen occidental del río Teusacá a 2800 msnm. Su capacidad actual es de 14 m³/s, ampliable a 24 y 30 m³/s, en sucesivas etapas. Está diseñada para operar con aguas de los ríos Chuza, Blanco y Guatiquía, en porcentajes de 45, 11 y 44 respectivamente. El tratamiento convencional fue desechado por la calidad de las

fuentes mayoritarias de agua y se utilizó el de floculación por contacto, que consta de etapas de desinfección por cloro a la entrada (percloración) y después de la filtración (postcloración), adición de coagulantes por mezcla instantánea, filtración y floculación, estabilización del agua por adición de cal y adición de flúor. Este método permite ahorros de tiempo de tratamiento, dinero y reducción de las instalaciones de sedimentación. El sistema completo de aprovechamiento del páramo de Chingaza termina en la cámara de válvulas y tanque de Usaquén (cota 2710 msnm) con capacidad de 50.000 metros cúbicos, donde se controla el flujo de agua a la ciudad.

Construcción de las obras (1971-1983)

En marzo de 1971 la EAAB abrió licitación pública internacional para la construcción de los túneles de Palacio-Río Blanco, Siberia, Usaquén y obras anexas, más la construcción optativa del túnel de Guatiquía. Estas obras fueron adjudicadas a la firma Konstruktor de Yugoslavia, por 247 millones de pesos y 21 millones de dólares y un plazo de 60 meses. La interventoría de las obras se le confió al consorcio INGETEC-CYCA, siendo la primera firma la que hizo los estudios de prefactibilidad, factibilidad, estudios geológicos de los túneles, diseño de las obras y confección de los pliegos de licitación.

Konstruktor inició labores en agosto de 1972 y terminó su participación en el proyecto en diciembre de 1974. El desempeño de esta firma se caracterizó por las continuas comunicaciones en que la interventoría exigía el avance propuesto y señalaba diversas fallas en la organización y dirección de las obras. En tanto, la EAAB señalaba su intención de cancelar el contrato, hacer efectivas las pólizas de cumplimiento tomadas por el contratista y contratar las obras con otra firma. Konstruktor, a su vez, argumentaba que las condiciones geológicas encontradas eran muy diferentes a las que se presentaban en los pliegos de licitación (señalando como causa la baja cobertura del estudio geológico realizado), impidiéndole avanzar a las velocidades previstas inicialmente.

En 1973 el BIRF contrató los servicios de un experto suizo, Karl Werner Bretz, para que inspeccionara las obras de Chingaza y evaluara las causas de los retrasos de la misma. La inspección fue realizada en septiembre. Al informe presentado por el ingeniero Werner, corresponden los siguientes apartes:

“La interventoría no participa en la solución de los problemas. Solamente presencia pasivamente las dificultades técnicas. En los cambios en las condiciones geológicas, la interventoría debe determinar la clase de roca y ordenar la ejecución de los métodos de soporte, con lo cual al mismo tiempo asume la obligación del pago. La respon-

sabilidad por la ejecución de los trabajos permanece, sin embargo, en el contratista y sólo cuando encuentre una solución conflictiva, se debe buscar una solución conjunta. Esta se debe tomar inmediatamente en el túnel y no un mes después, con base en las anteriores condiciones geológicas”.

“El contrato establece que es tarea de INGETEC-CYCA, ordenar en qué casos se deben utilizar los diferentes tipos de revestimiento. Hasta ahora, Konstruktor no ha recibido de INGETEC-CYCA una orden de este tipo, a pesar de repetidos pedidos del contratista. Esto me parece que es el punto más débil de la interventoría y para ello quiero dar el ejemplo típico. En la visita al túnel de Simayá pude comprobar que en la arcillolita por la cual se ha avanzado, se tiene un revestimiento que es muy poco apropiado, y en la montaña, la roca está todavía en movimiento en la solera, que en algunos puntos tiene hasta más de uno y medio metros”.

“La EAAB sólo es informada a través de copias de la correspondencia de uno y otro lado y no está en la posición, a través de su personal técnico, de intervenir en estos problemas cotidianos de una obra de túneles”.

Durante 1974 la situación evolucionó negativamente, al punto que la EAAB abrió una nueva licitación para la construcción de las obras que estaba haciendo Konstruktor, más algunos túneles y la presa Golillas, mientras que esta firma la demandaba por mil millones de pesos, asegurando que la EAAB no podía abrir una nueva licitación estando vigente el contrato y sin que se les hubiera sancionado por su presunto incumplimiento.

En junio, Konstruktor suspendió las excavaciones en el frente de Chuza, por un derrumbe que según ellos ponía de manifiesto la “actitud de la interventoría que acusó una grave deficiencia técnica en el sistema que les ha querido imponer al ordenarles sostener la cavidad producida por medio de una capa de concreto neumático y de pernos, sistema que contradice los procedimientos aceptados por Konstruktor para trabajos subterráneos”. Señalaban que no se les podía culpar por no cumplir con la velocidad de excavación prometida, porque al perforar habían encontrado situaciones geomecánicas completamente distintas a las que se habían tenido en cuenta “para realizar los cálculos hipotéticos de duración de la obra”; consideraban que el principal problema era la actitud de la interventoría “que adolece de la falla fundamental de sacar adelante los errores técnicos que cometió cuando diseñó el proyecto y que ahora sigue cometiendo en las órdenes que imparte sobre excavación; el sector afectado por el derrumbe tenía ya el revestimiento ordenado por la interventoría, lo que evidencia que dicho soporte era inadecuado

y descuidado, pues la interventoría no ha tenido la suficiente previsión, ni ha hecho un análisis apropiado para la estabilidad de la obra”.

La evaluación de las obras hecha por la interventoría en agosto, señalaba un avance en la excavación del 36% de lo previsto y acusaban a Konstruktor por no tomar decisiones en materia de excavación y prevención de derrumbes, por no aplicar la experiencia que pudiera tener en construcción de túneles y por exagerar la solicitud de instrucciones por parte de la interventoría, “tratando de eludir la responsabilidad por la seguridad y estabilidad de las obras”. Por esa época la interventoría había negado el pago de obras adicionales que el contratista calculaba en \$160 millones.

Finalmente, en noviembre, se llegó a un acuerdo por el cual las dos empresas se exoneraban mutuamente de cualquier acusación: Konstruktor retiraba su demanda y la EAAB renunciaba a hacer efectivas las pólizas de cumplimiento entregadas por el contratista. A pesar de existir en el contrato firmado en 1971, una cláusula que autorizaba a la EAAB a retener y usar hasta la terminación de las obras los equipos, maquinarias, herramientas y enseres del contratista en caso de incumplimiento reiterado de éste, procedió a comprárselos. También aceptó recibir los 8.3 Km de túnel perforados por Konstruktor en el estado en que estuvieran, debiendo contratar posteriormente su rehabilitación.

Los reclamos no aceptados por la EAAB fueron llevados a un tribunal de arbitramento que falló en 1977, obligando a la EAAB a pagar una suma calculada en \$ 7.5 millones. Sin embargo, los pagos hechos a Konstruktor por este laudo, superan esa cifra, como a continuación se indica:

Fecha	Cantidad pagada
Abril-mayo 1978	\$ 12'127.000
Mayo 1978	\$ 705.000
Junio 1979	\$ 48'669.936 + US\$ 911.000
Año 1980	US\$ 300.000

A partir del año 1975 la firma ICA de México tomó a su cargo las obras. Desde 1973 el ingeniero Werner, en el informe ya citado, había señalado que no existía ninguna garantía que la firma que reemplazara a Konstruktor, la superara en el desarrollo de la obra. A este nuevo contratista se le entregaban por parte de la EAAB todos los equipos y campamentos que fueron de la firma Konstruktor y se le pagaba una suma global por alimentación de su personal, equivalente al 10% de las obras realizadas. A pesar de éstas y otras prerrogativas que se le dieron (pagos de los seguros por parte de la EAAB, disminución de las pólizas de cumplimiento), su oferta era comparativamente mayor a la adjudicada en 1971.

El plazo de realización de las obras era de 7 meses para la rehabilitación de los túneles realizados por Konstruktor y de 40 meses para las obras restantes. Sin embargo, la rehabilitación tomó 13 meses y el plazo final de entrega de las obras sufrió diversas prórrogas hasta llegar a agosto de 1983.

La ejecución de las obras tuvo varias suspensiones, siendo las más importantes las siguientes:

A. En marzo de 1979, las altas concentraciones de gas metano detectadas en el trayecto Chuza-Ventana, obligaron a suspender las labores de excavación durante 14 meses y a construir un túnel de 430 metros de longitud y un pozo de 242 metros de profundidad, con el fin de lograr una perfecta aireación del trayecto Chuza-Ventana. Este pozo y túnel de El Diamante fue posteriormente habilitado como frente de trabajo.

B. Por la explosión presentada el 17 de enero en inmediaciones de El Diamante y que dejó 12 muertos y 20 heridos. Al parecer, la acumulación de partículas de roca en el conducto de aireación, permitió el enrarecimiento del aire y la consecuente explosión que habría sido ocasionada por una chispa producida por un taladro.

En febrero de ese año, miembros de la junta directiva de la EAAB reconocieron la responsabilidad de ICA en la tragedia y de la consiguiente suspensión de labores por un período de 53 días, por lo que el Acueducto preparaba una demanda contra la firma mexicana, por los perjuicios ocasionados por el atraso del proyecto y el encarecimiento de sus costos totales.

C. A raíz de la decisión de un tribunal de arbitramento que en agosto de 1981 falló a favor de ICA en el sentido de obligar a la EAAB a pagar las pérdidas que aquella empresa aseguraba tener por razón de la devaluación del dólar, la emergencia económica de 1974 y los sobrecostos ocasionados por los pagos de intereses a las cesantías, al ICBF y por el impuesto a las ventas. La demanda ascendía a 300 millones de pesos y contemplaba la terminación del contrato de construcción por considerarse roto su equilibrio financiero. Uno de los miembros del tribunal de arbitramento salvó su voto señalando que los costos ocasionados por las leyes sobre cesantías, atención al preescolar y por el decreto de emergencia económica habían sido finalmente pagados por la EAAB y que el rubro donde mayores pérdidas presentaba ICA (82%), eran los gastos generales, ninguna de cuyas subcuentas tenía que ver con la devaluación del dólar alegada por ICA.

Al cabo de un mes de suspensión de labores se renegoció el contrato y se estipularon premios para ICA en caso de terminación adelantada de las obras. La construcción terminó en agosto de 1983, mes en que el proyecto comenzó a operar

en forma total, hasta su salida de operación en enero de 1984.

Falla del túnel Palacio-Río Blanco

Dentro de los primeros 20 días de operación del túnel Palacio-Río Blanco, se presentaron desprendimientos en el tramo Chuza-Ventana que trabajaba a presión, en sectores donde el revestimiento consistía en concreto lanzado simple, de espesor entre 5-10 cms. y pernos cortos de aproximadamente dos metros de longitud. Este tipo de revestimiento se aplicó en cerca de 12 de los 18 Km del tramo.

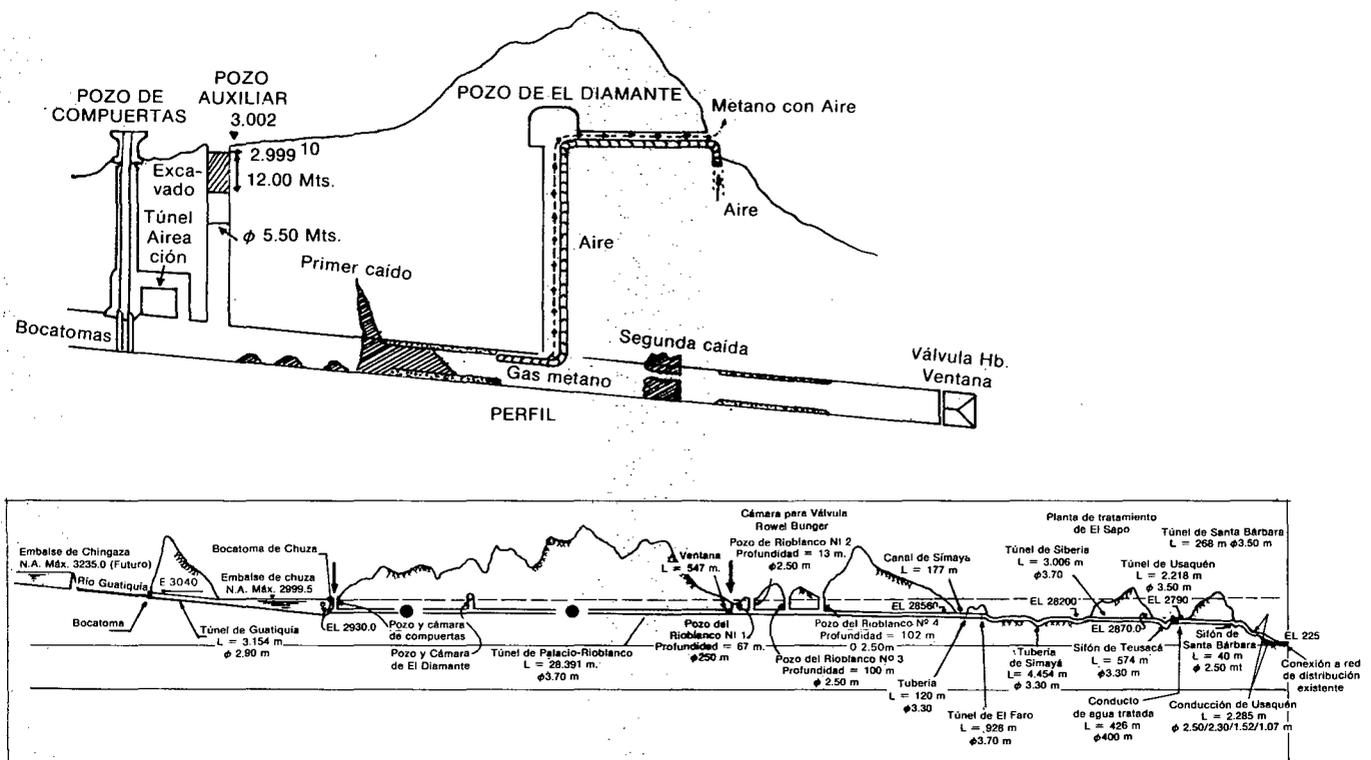
A pesar de tener conocimiento desde octubre de 1983 de la continua caída de presión en el túnel, la junta directiva de la EAAB decidió que se continuara su operación, dada la crítica situación de los embalses de la sabana de Bogotá y la inminencia de un racionamiento de energía. El 6 de enero de 1984, el túnel se taponó totalmente por dos grandes desprendimientos de impermeabilidad casi total, uno aguas arriba del pozo y túnel de El Diamante y otro aguas abajo del mismo. Sólo hasta el 19 de diciembre de 1984 se pudieron perforar y se conoció la magnitud real de ellos:

Hubo 54 caídos entre la cota K1+530 y K4+330 (entre la bocatoma del túnel y el pozo y túnel de El Diamante), con una cantidad de material esparcido sobre la solera de 18.000 metros cúbicos. Quedaron varias cavernas de gran tamaño; en especial dos, una con profundidad en diagonal de 21 metros, origen del desprendimiento de unos 4.000 metros cúbicos.

Dos caídos en la cota K11+200 (entre El Diamante y Ventana) que produjeron unos 1800 metros cúbicos de material.

Estos derrumbes no deberían haber sorprendido a la EAAB que fue alertada por lo menos en dos ocasiones sobre los peligros a que se encontraba sometido el tramo Chuza-Ventana. En 1974 la firma Konstruktor se dirigió a la interventoría con respecto al revestimiento del túnel en estos términos: "Al recibir la solución definitiva sobre el revestimiento del túnel, el contratista pasó a efectuar una inspección detallada de todas las secciones excavadas y con base en la clasificación llegó a la conclusión de que es necesario aplicar un revestimiento más fuerte. Nuestro análisis demuestra que con la aplicación del revestimiento definitivo previsto, el túnel estaría asegurado únicamente en su fase de construcción, es decir, que sería adecuado como soporte. Sin embargo, en un futuro inmediato, con la explotación se presentarían desprendimientos, lo que causaría la inutilización del túnel. Además, cada reparación de túnel después de los desprendimientos, sería muy costosa y en algunos sitios ni siquiera se podría intentar, puesto que ocurrirían derrumbes largos y peligrosos".

Por otra parte la firma ICA también expresó sus dudas sobre el revestimiento: "En un futuro pueden presentarse fallas en algunos tramos de los túneles de conducción por cuanto no fueron revestidos con concreto convencional... Por lo menos el túnel de presión de Chuza a Ventana debió haber sido revestido todo en concreto



GRAFICA Nº 3. Localización de las caídas.

convencional en una sección uniforme, ya sea en herradura o circular pero conocida... Aquí posiblemente no se caiga y así lo estamos deseando que no se caiga, pero hemos podido valorar entre el soporte que puede haber en un momento dado en la roca y el soporte que da el ingeniero interventor para ayudar a la roca mala”.

La inspección de las zonas de derrumbes por parte de una comisión de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI), permitió observar posibles fisuraciones del concreto en los tramos cercanos a los desprendimientos, falta de adherencia entre el concreto lanzado y la roca y presencia de varias capas de concreto lanzado (2 a 3), superpuestas una a la otra y sin aparente continuidad mecánica entre ellas. Se notó claramente en las mencionadas zonas de derrumbes, la ausencia de malla de refuerzo dentro del concreto lanzado y se hallaron evidencias que mostraban que los pernos no proporcionaban el anclaje requerido, puesto que algunos cayeron con la roca fallada y otros permanecieron expuestos en casi toda su longitud.

En cuanto a la roca involucrada en los derrumbes, se trataba de lutitas silíceas duras. Las lutitas son materiales geotécnicos muy difíciles de entender y estudiar; normalmente son débiles y para su evaluación se han diseñado ensayos especiales tanto mecánicos como físico-químicos. Dentro de la información enviada por la EAAB a la SCI, no figuraban algunos ensayos que son esenciales para determinar las características de estos materiales, por lo que no se pudo llevar a cabo la evaluación geotécnica detallada del macizo rocoso.

Dentro de las apreciaciones finales hechas por la SCI se señala que, ante la ausencia de datos completos que permitan determinar si ya se produjeron todos los desprendimientos que ocasionaría la presión del agua, —puesto que el túnel sólo trabajó unos 20 días a la presión de trabajo y durante este tiempo fallaron algunos de los puntos más débiles pudiendo existir otros que requerirían más tiempo de trabajo a presión máxima para completar un proceso de falla—, nada permite garantizar que una vez preparadas las zonas de desprendimiento y cuando el túnel vuelva a operarse a presión, no se presenten nuevos derrumbes en tramos revestidos con concreto lanzado.

Si bien la SCI sugirió operar el túnel a flujo libre (unos $10 \text{ m}^3/\text{s}$) a fin de reducir al mínimo los riesgos en el abastecimiento de agua, la EAAB desestimó tal proposición e inició el proceso de llenado y vaciado del túnel a fines de mayo, el cual se hizo por primera vez ya que en épocas anteriores no se cumplió exactamente y ello pudo haber incidido en el agrietamiento y desprendimiento de una mayor cantidad de material de la que hubiera podido presentarse normalmente.

El proyecto operó cuatro meses sin presentarse derrumbes en los tramos a presión: sin embargo,

no se hizo la prueba de caudal máximo, debido a una falla en la válvula howell-bunger que se trabó desde el mismo día en que se llenaron los túneles, debido a trozos de madera no recogida durante la limpieza del tramo Chuza-Ventana y a la falla de una bañera por deficiencias en su lubricación.

Los costos estimados de la reparación son de \$2.500 millones, a los que se deben adicionar los dineros dejados de percibir durante 16 meses cuyo monto asciende a \$ 842.4 millones por venta de agua ($100 \text{ mil m}^3/\text{día}$ a \$17.55 c.u.), y \$5.255.3 millones por venta de energía (al enviar a Bogotá $950 \text{ mil m}^3/\text{día}$, se aprovecha el 80% para generar energía, que representan a la EEEB \$ 10'948.608).

Así, en los 480 días se perdieron \$6.097.7 millones.

CONCLUSIONES

En 1977 debería estar terminado el proyecto Chingaza y la ampliación de la red de distribución, obras que eliminarían el permanente déficit de agua de Bogotá y garantizarían la prestación adecuada del servicio hasta 1990. Infortunadamente la EAAB no ha tenido la suficiente capacidad para garantizar el desarrollo exitoso de las obras como a continuación se detalla:

Le entrega a la ciudadanía con ocho años de atraso un proyecto cuyo costo supera en mucho

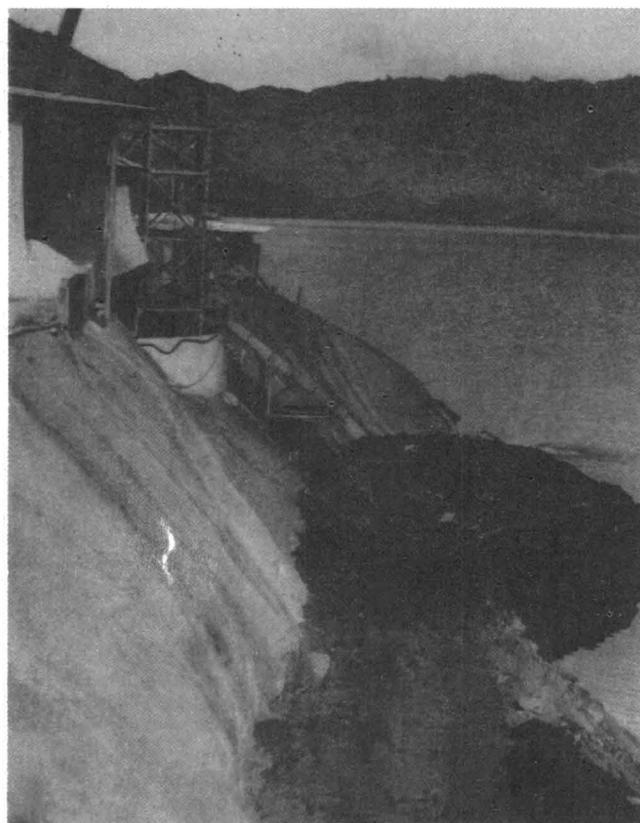


FOTO 1. Pozo de reparaciones, construido en 1984 a un costo de US. \$ 500 mil. En la parte inferior se puede observar la cantidad de material extraído del túnel y descargado en el embalse de Chuza.

las proyecciones iniciales de US. \$118 millones; el costo del proyecto Chingaza antes de las reparaciones, lo ubica la EAAB en US. \$ 300 millones, un congresista en US. \$500 y la revista TIME en US. \$1000 millones.

Ha permitido la devastación de las especies que favorecen el alto rendimiento hídrico de la zona.

A pesar de la longitud de los túneles y de las condiciones inestables de la zona del proyecto, no dispuso la construcción del embalse terminal de San Rafael (La Calera), que regularía los caudales de los pozos de Río Blanco y el río Teusacá, permitiendo el suministro de agua a la ciudad durante 40 días en caso de falla de la conducción, cuyo túnel principal (Palacio-Río Blanco) no presentaría garantía de operación estable, al hacerse a presión, (como originalmente se diseñó) el tramo Chuza-Ventana.

No construyó la ampliación de la red de distribución para repartir toda el agua que necesita la ciudad y que podría suplir por el proyecto Chingaza cuya operación es mucho más rentable que la de Tibitó.

A 16 meses de la salida de operación del proyecto Chingaza no se han señalado ni las causas, ni los responsables. La EAAB ha divulgado toda una lista de causas de las fallas, que van desde culpar a la naturaleza, hasta reconocer su total desconocimiento sobre las mismas, pasando por las lutitas y las vetas de carbón; lo más grave de todo esto es que, como lo señala el ingeniero geólogo Rodrigo Alvarez, ante la amplia lista de problemas que se han presentado en túneles (la mayoría de ellos en ambientes geológicos similares y en algunos casos problemas idénticos), "nos hemos pasado de hacer una revaluación de los criterios de diseño que se han tenido y evitar hacer innovaciones pretendiendo lograr economías temerarias que en un país como el nuestro, de recursos limitados, no está en capacidad de soportar".

Sobre el tipo de revestimiento utilizado en tramos del túnel Palacio-Río Blanco, la comisión de la Sociedad Colombiana de Ingenieros que investigó el problema ha encontrado que el concreto lanzado no se utiliza tan extensamente como

recubrimiento definitivo en túneles a presión, sino, casi exclusivamente para soporte primario de construcción. A este respecto hizo consultas a expertos extranjeros que, en general, se mostraron opuestos a su uso como revestimiento definitivo.

La comisión encontró también un revestimiento deficientemente colocado en los tramos derrumbados, mientras que la comisión del Concejo de Bogotá, que también investigó el problema, encontró tramos en los cuales su espesor no cumplía las especificaciones mínimas del contrato.

Cuando Chingaza reinicie operaciones, 700 mil bogotanos continuarán con un inadecuado servicio de agua, y para los demás, disminuirán en algo las deficiencias con que se presta actualmente; aunque todos tendrán que pagar, en tarifas, las ejecutorias de la EAAB, representadas en un déficit del orden de \$27.000 millones.

Pero quizá el mayor motivo de reflexión tiene que ver con el plan Bogotá IV, que la EAAB iniciará en 1986 (con túneles por los cerros orientales de Bogotá, tuberías de gran magnitud y construcciones adicionales que requieren adecuada coordinación), puesto que lo ocurrido en Chingaza deja serias dudas sobre su capacidad negociadora, la forma como encaró su papel de dueña del proyecto y de interventora a partir de 1977 y si habrá sacado alguna experiencia de un trabajo que dejó casi por completo en manos de sus asesores.

Queda, además, la preocupación por la incapacidad técnica para aprovechar adecuadamente un recurso de magníficas perspectivas, como era el páramo de Chingaza. De nada sirve que el país posea grandes recursos si la ingeniería nacional no ha sabido explotarlos eficientemente; es cuestionador que mientras Colombia posee uno de los mayores potenciales hídricos del mundo, diez millones de personas no tengan servicios de acueducto, 41 mil niños mueran al año por enfermedades relacionadas con la calidad del agua y los racionamientos de agua y energía sean ya realidades cotidianas de los colombianos.

BIBLIOGRAFIA

- EAAB. Informe del estado del segundo plan de ensanches del acueducto. Bogotá. EAAB. 1980.
- KRYNINE, Judd. Principios de geología y geotecnia para ingenieros. Barcelona. Ed. Omega S.A., cuarta edición. 1975.
- LEGGET, Robert. Geología para ingenieros. Barcelona. Gustavo Gili, segunda edición. 1956.
- PEQUIGNOT, C. A. Tunnels and Tunnelling. London. C. A. Péquignot. Hutchinson Scientific & Technical. 1963.
- REMENIERAS, G. Tratado de Hidrología Aplicada. Barcelona. Editores Técnicos Asociados. 1971.
- BIRF. Appraisal of the second Bogotá Water Supply Project. BIRF. Colombia. 1971.
- BIRF. Appraisal of the Bogotá Water Supply Project. Colombia. BIRF. 1968.
- EAAB. Estudio de alternativas de ampliación de la red matriz. Bogotá. EAAB. 1984.
- Laudo Arbitral ICA-EAAB.
- Acta N° 23 de la Comisión General del Concejo de Bogotá. Septiembre de 1975.
- Tribunal de arbitramento entre Konstruktor y la EAAB. 1977.
- Informes de Gerencia EAAB: 1969, 1970, 1971, 1972.
- Estadísticas EAAB 1970-1982.
- Manual de operaciones de la EAAB 1974.
- Contrato chuza 1. 1971. Apéndice.
- Trabajo realizado por estudiantes pertenecientes al periódico Corriente Alterna y otros de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional, 1984. Inédito.