



Sistema *Cutzamala*

Ing. Humberto Whaibe Arredondo
Gerente Regional de la Comisión Nacional
del Agua del Valle de México

Seguro estoy que los trabajos que en su momento realizaron quienes nos precedieron a lo largo de 28 años en esta magna obra (Sistema Cutzamala), y a la que históricamente nos toca el turno y la responsabilidad de dar continuidad; han beneficiado a millones de familias mexicanas con el recurso agua, vital para la sobrevivencia.

Por su importancia el tema del agua exige su análisis desde todos los ángulos posibles, de forma económica, social y ambiental, pero sin duda alguna el más importante es el punto de vista humano y como motor del desarrollo de los pueblos el cual debemos enfrentar de cara al nuevo siglo. Quienes laboramos en esta institución, percibimos con preocupación la problemática actual y futura; en la dotación para el Distrito Federal y su zona conurbada, los retos y desafíos nos involucran a todos para participar y sensibilizar en el uso eficiente y de conservación del recurso. Bajo tal contexto, me permito a continuación hacerles a ustedes la exposición siguiente:

DESARROLLO HISTÓRICO

Época prehispánica

En las partes más bajas de la Cuenca del Valle de México se alojaban los grandes lagos, alimentados con el flujo de los manantiales y con el aporte de los ríos, estableciéndose los aztecas en 1325 sobre un islote después de observar la profecía de su Dios, al aparecerles el águila devorando una serpiente sobre un nopal.

En 1466 se construyó el acueducto que suministró agua desde Chapultepec hasta el templo mayor; se conocen otros como el de Coyoacán (1495) y el de Azcapotzalco a Tlatelolco.

Época virreinal

A principios del siglo XVII se construyó el acueducto llamado La Tlaxpana de 900 arcos y una longitud de 6.5 Km, consistía en una arquería doble, por la parte superior corría el agua de Santa Fe y por la inferior la de Chapultepec.

Época Independiente

En las primeras décadas de la independencia, se atiende la reparación de los acueductos, se aumenta la vigilancia y se establecen multas, evitando así daños a las obras y robo de agua. Posteriormente, ante las enormes ventajas que ofrecen las tuberías de hierro fundido, comienza la sustitución de los arcos por ductos subterráneos. En 1878 se aprovechan los manantiales del Desierto de los Leones.

Inicio del Siglo XX

Hasta 1913 se había concluido el proyecto para los manantiales de Xochimilco, con una captación de 2,000 l/s. Debido a la convulsión revolucionaria, en esa época se hizo lo indispensable para operar y mantener los servicios exclusivamente al nivel de supervivencia.

El 25 de septiembre de 1933, se creó la Dirección de Aguas y Saneamiento del Distrito Federal, para atender el servicio del recurso.

Mediados del Siglo XX

Por demostraciones del Dr. Nabor Carrillo en el año de 1947, la sobre explotación de los acuíferos comprobó que acelera el hundimiento de la ciudad, el colapso en las redes de tuberías e incrementando el peligro de inundaciones.

El 4 de septiembre de 1951 se pusieron en operación oficialmente las obras



del Sistema Lerma, proporcionando en su primera etapa, 4 m³/s.

En 1952 el Distrito Federal contaba con una población de 3 millones 460 mil habitantes, la que se abastecía con un caudal de agua potable de 13.1 m³/s; únicamente el 50% de la población contaba con servicio domiciliario.

En 1953 se crea la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH) con las funciones de estudiar, proyectar y construir las obras necesarias para el abastecimiento de agua potable a la ciudad, además del drenaje, control de hundimientos e inundaciones.

Para aliviar lo anterior se estableció un programa para abastecimiento con po-

zos alejados de la ciudad, lo que permitió la clausura de cerca de 2 mil norias en predios particulares, que extraían 1.2 m³/s; asimismo, se evitaron y regularon nuevas perforaciones de pozos.

Buscando nuevas fuentes externas, en 1956 se terminan obras de beneficio a la ciudad de México que consistieron en la exploración y la captación en subcuencas como la de Chiconautla a lo largo de 3 ramales, se perforaron 40 pozos con una profundidad media de 150 m para proporcionar un volumen de 3.3 m³/s.

A pesar de que el bombeo del agua subterránea era y sigue siendo la causa fundamental de los hundimientos en la ciudad, debido al crecimiento urbano se hizo necesario perforar pozos de emergencia, de esta forma, en 1957 se inició el Sistema Chimalhuacán-El Peñón, localizando en El Peñón Viejo, 9 pozos para un gasto de 0.5 m³/s. Beneficiando a 125 mil habitantes en 20 colonias al oriente del Distrito Federal.

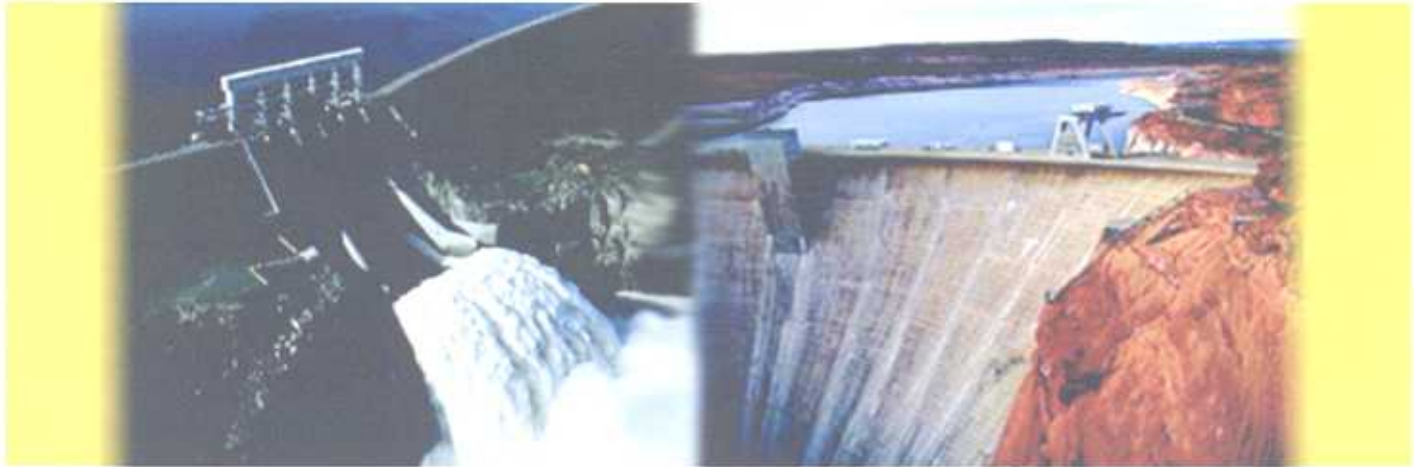
En 1964, la población del Distrito Federal era ya de aproximadamente 5 millones 800 mil habitantes, que consumían un caudal de 22.2 m³/s, o sea 331 litros por habitante al día y con una cobertura en el servicio domiciliario del 86%.

El 18 de agosto de 1972, se creó la Comisión de Aguas del Valle de México, organismo técnico administrativo dependiente de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos; actualmente Gerencia Regional de Aguas del



Valle de México de la Comisión Nacional del Agua. En este mismo año, se estudian las cuencas externas al Valle de México de los ríos Cutzamala, Tecolutla y Amacuzac.

En 1973 se encontró que la alternativa más factible de aprovechar el recurso y en donde se tenían menores impactos sociales, económicos y ambientales era la Cuenca del río Cutzamala, ubicada en la Región Hidrológica No 18 del Río Balsas, de esta forma se proyectó El Sistema Cutzamala.



ASPECTOS GENERALES

La causa principal del incremento de la demanda de agua potable en la Cuenca del Valle de México es el crecimiento demográfico; actualmente se cuenta con una población de 18.68 millones de habitantes, de los cuales 8.61 se ubican en el Distrito Federal, 9.07 en los municipios conurbados y un millón en el resto del Valle (INEGI 2000) y todos requieren del incremento en los servicios básicos de infraestructura urbana para su desarrollo.

Dentro de la Cuenca y, en la parte más baja del Valle, se localiza la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; en el año de 1910, la mancha urbana era de tan sólo 26.65 km², la cual se ha extendido aproximadamente 1 800 km², ocupados por el Distrito Federal y 28 municipios conurbados del Estado de México; es decir, que en tan sólo 90 años la mancha urbana se ha multiplicado 67.5 veces; asimismo, la población en el mismo período aumentó de 471 mil 066 a 17 millones 673 mil 931 habitantes en el año 2000, es decir 37.5 veces más, crecimiento que ocasiona la sobreexplotación de los recursos naturales, el más importante, el agua.

La precipitación media anual en la Cuenca Valle de México es del orden de los 705 mm., Concentrados en cuatro meses del año, de los cuales 81% se evapotranspira, 10% se infiltra en el subsuelo, 2% del escurrimiento se aprovecha en la agricultura y solamente 1% es regulada para su aprovechamiento en captaciones superficiales y 6% restante se le da salida por el sistema general de drenaje para evitar inundaciones.

Actualmente se utilizan 100 metros cúbicos cada segundo de agua en la Cuenca del Valle de México; 4 m³/s en

usos industrial, 25 uso en agrícola y 71 en público urbano; 81% su explotación se obtiene de agua subterránea y solamente 19% restante de agua superficial.

SISTEMA HIDROELECTRICO MIGUEL ALEMAN

En la década de los setentas, este Sistema Hidroeléctrico tenía ya una capacidad muy pequeña para las necesidades de la zona, porque para esa época ya se habían construido las presas de Infiernillo, Malpaso y La Angostura, para abas-

tecer de energía eléctrica a la Zona Metropolitana del Valle de México. Por lo que se decidió cambiar su uso, para abastecer de agua potable a la Zona Metropolitana y con ello, el Sistema Cutzamala aprovechó las obras que formaban parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, consistente en 7 presas, 3 de almacenamiento y 4 de derivación, correspondientes a la cuenca alta del río Cutzamala.

SISTEMA CUTZAMALA

Su construcción se inició en 1976, aprovechando las obras que formaban parte del entonces Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, actualmente se compone principalmente de 6 presas de almacenamiento y de derivación, un vaso de regulación horaria y un acueducto de 133.5 km que incluye 19 km de túneles y 7.6 de canal; una planta potabilizadora con capacidad total de 24 m³/s, operando actualmente con 16 m³/s aproximadamente; 6 plantas de bombeo para vencer un desnivel mayor de 1 mil 100 metros, cuya operación requiere de una energía total de 1 mil 650 millones de kilowats hora por año y 24 kilómetros de túneles dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, que incluyen los ramales Norte y Sur, respectivamente, para la distribución del agua a los municipios conurbanos del Estado de México y al Distrito Federal.

Plantas de bombeo: El Sistema Cutzamala cuenta con 6 Plantas de Bombeo que elevan el agua mil 100 metros, aproximadamente.

Planta de Bombeo numero uno: Esta planta tiene la función de elevar el agua 157.3 metros, a una distancia 8 mil 381 metros, se ubica en una altitud de mil 600.18 (metros sobre el nivel metros), tiene 5 unidades bomba-motor con un gasto de 4.m³/s cada una con un gasto total de 20.m³/s,



sus motores son de inducción con una potencia de 10 mil 348 hp, por unidad y por planta 51 mil 740 hp.

Planta de Bombeo número dos: Esta planta tiene la función de elevar el agua 121.8 metros, a una distancia 3 mil 948 metros, se ubica en una altitud de mil 721.70 (msnm), tiene 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 7 mil 215 hp, por unidad y por planta 43 mil 290 h.p.

Planta de Bombeo número tres: Esta planta tiene la función de elevar el agua 349.3 metros, a una distancia 2 mil 891 metros, se ubica en una altitud de mil 832.90 (msnm), tiene 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 21 mil 450 hp, por unidad y por planta 128 mil 700 hp.

Planta de Bombeo número cuatro: Esta planta tiene la función de elevar el agua 349.3 metros, a una distancia 22 mil 200 metros, se ubica en una altitud de 2 mil 177.80 (msnm), tiene 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 21 mil 450 hp, por unidad y por planta 128 mil 700 hp.

Planta de Bombeo número cinco: Esta planta tiene la función de elevar el agua 174.2 metros, a una distancia mil 500 metros de aquí el caudal es por gravedad a la ZMVM, se ubica en una altitud de 2 mil 497 (msnm), cuenta con 6 unidades bomba-motor con un gasto de 4 m³/s cada una con un gasto total de 24 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 10 mil 348 hp, por unidad y por planta 62 mil 088 hp, más 3 unidades bomba-motor con un gasto de 1.7 m³/s cada una con un gasto total de 5.1 m³/s, con una potencia de 4 mil 180 hp, por unidad y por planta 12 mil 540 hp.

Planta de Bombeo número seis: Esta planta tiene la función de elevar el agua 272.5 metros, a una distancia de la obra de toma de la presa Chilesdo a la conexión del acueducto de 12 mil 031 metros, se ubica en una altitud de 2 mil 323.98 (msnm), cuenta con 3 unidades bomba-motor con un gasto de 1.7 m³/s cada una con un gasto total de 5.1 m³/s, sus motores son de inducción con una potencia de 5 mil 460 hp, por unidad y por planta 16 mil 380 hp. Dando un

total de caballos de fuerza; 443 mil 438 hp, y kilowatts del sistema 330 mil 805 kw.

Torres de Oscilación y Sumergencia: Las plantas de bombeo cuentan con una torre de sumergencia y una de oscilación, son estructuras cilíndricas de concreto reforzado cuya construcción requirió de un colado continuo con alturas que fluctúan entre los 32 y 51 metros, con diámetros de 10 metros y espesor en sus paredes de 1.60 metros.

Las torres de sumergencia conservan la cantidad mínima necesaria de agua que proporciona la carga que necesitan los equipos para arrancar, y mantenerse en operación evitando el colapso de las tuberías de succión al propiciarse el vacío y que al formarse vórtices se introduzca aire a la tubería, lo que provocaría el efecto de cavitación el cual consiste en la formación de una gran cantidad de pequeñas burbujas de aire que al llegar a las bombas explotan causando la erosión de las partes internas de los equipos de bombeo lo que originaría su destrucción prematura.

Por otra parte las torres de oscilación reducen el golpe de ariete en la tubería de acero y lo minimiza en el resto de la conducción, se conoce como golpe de ariete al efecto que tiene el flujo del agua al suspenderse o iniciarse el bombeo, esta estructura permite que en su interior se forme una oscilación que amortigua la presión que de otra manera impactaría en las paredes de la tubería, deteriorándola cada que esto ocurra.

Su programación inicial fue en tres etapas constructivas de 4, 6 y 9 m³/s respectivamente. Las aguas de este sistema son las mismas que se utilizaron para la generación de energía eléctrica; únicamente se realizó un cambio de uso, dejando reservas de 3 m³/s para generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda y 4 m³ para atender las demandas locales, tanto actuales como futuras que requiere el desarrollo urbano, agrícola e industrial de la región.

La primera etapa, en operación desde marzo de 1982, aporta 4 m³/s procedentes de la Presa Villa Victoria que se conducen a través del canal Martínez de Meza, de 12 km, de longitud a la planta potabilizadora de Berros y posteriormente se realiza su bombeo en la planta número 5, vendiendo una carga total de 174 m para conducir el agua a través de un acueducto de tubería de concreto preesforzado

de 2.50 m de AE y 12 m^3/s de capacidad, con una longitud de 77 km., atravesando la Sierra de las Cruces en la parte noroeste del Área Metropolitana mediante el túnel Atarasquillo-Dos Ríos que conduce también las aguas del Sistema Lerma, iniciándose la entrega y distribución de agua en la ciudad de Toluca y posteriormente en Dos Ríos.

La segunda etapa, en operación desde julio de 1985, consiste en la captación y conducción de 6 m^3/s de la Presa Valle de Bravo a la planta potabilizadora de Berros, con tuberías de acero de alta y baja presión, cuyos diámetros fluctúan entre 1.83 y 3.27 m con longitud total de 3.7 km y tubería de concreto preesforzado de 3.50 m de AE con capacidad de 12 m^3/s , en una longitud de 14.5 km. así como las Plantas de Bombeo 2, 3 y 4 para vencer cargas de 122 m, 350 m y 350 m respectivamente.

La tercera etapa, en operación desde enero de 1993 (Chilesdo) y en enero de 1994 (Colorines), permite captar 9 m^3/s ; 8 de ellos por gravedad en el vaso regulador de Colorines procedentes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de Michoacán, e Ixtapan del Oro, en el Estado de México, para lo cual se construyó la planta de bombeo 1, Colorines con una capacidad de 20 m^3/s y por vencer una carga de 157 m y 1 m^3/s en la presa derivadora Chilesdo.

Con la operación de la tercera etapa del Sistema Cutzamala en las captaciones Chilesdo y Colorines, que en conjunto incrementaron en 9 mil litros por segundo, el Sistema Cutzamala tiene ahora una capacidad de suministro de 19 mil litros por segundo, que actualmente garantiza el abasto de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La capacidad total de las principales presas del Sistema Cutzamala asciende a 783.1 Mm^3 ; (El Bosque 202.4 Mm^3 , Valle de Bravo 394.4 Mm^3 y Villa Victoria 186.3 Mm^3).

El volumen entregado de agua en bloque del Sistema Cutzamala en el año 2000, para los habitantes de las ciudades de Toluca, México y la zona

conurbada del Estado de México ascendió a 465 millones de metros cúbicos, es decir que en promedio cada segundo aporta 14.75 m^3 . Consumiendo 1 millón 346 mil kwh en sus 6 plantas de bombeo, con un costo de energía eléctrica por parte de Comisión Federal de Electricidad de 727 millones de pesos.

Control supervisorio

El Sistema cuenta con el control que fue instalado por *General Electric*, consiste principalmente de: Interfase Hombre - Máquina Cimplicity HMI, Controladores de Lógica Programable, sistema de comunicación a través de fibra óptica, sistema de comunicación de radiofrecuencia, medidores de potencia eléctrica e instrumentos de medición de gasto, nivel, presión. En el cual es posible visualizar y controlar el Sistema Cutzamala; mediante las plantas de bombeo, las subestaciones y los sistemas auxiliares, mediante las herramientas que el software GE Fanuc Cimplicity HMI (Human Machine Interface) proporciona. Y en este año se instrumentará la planta potabilizadora Berros. Además se realizan permanentemente trabajos de mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento en las instalaciones del Sistema.

Abastecimiento de agua potable de la ZMVM

En el mes de junio de 2001, al área metropolitana de la ciudad de México se suministró un caudal medio de agua potable de 62 mil 361 m^3/s , de los cuales 41 mil 11 m^3/s (incluye 2 mil 769 m^3/s de pozos particulares), provienen del subsuelo del Valle de México, 14 mil 528 m^3/s del Sistema Cutzamala (adicionalmente se entregaron 791 m^3/s a la ciudad de Toluca), 5 mil 750 m^3/s provienen del Sistema Lerma y mil 72 m^3/s de la presa Madín y Manantiales. Lo expuesto anteriormente demuestra que en la actualidad, se depende fundamentalmente del agua subterránea en un 75% (88% del acuífero del Valle de México, 12% del Sistema Lerma), y el 25% restante se obtiene en su mayoría, de importación de aguas superficiales de la Cuenca del Río Cutzamala.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (GRAVAMEX), suministró en promedio 21 mil 877 m^3/s (35.1 %) de agua potable en bloque a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) por



bombeo en la planta número 5, del Sistema Cutzamala, el Sistema de Pozos (PAI) y la Presa Madín. Beneficiando una población de 9 millones 994 mil habitantes; 4 millones 854 mil de la capital de la república y 5 millones 140 mil en los municipios conurbanos del Estado de México (independientemente a estas cifras beneficia a 147 mil habitantes en el Estado de Hidalgo con el PAI y a 426 mil en la ciudad de Toluca con el Sistema Cutzamala).

Suministro de agua potable para el Distrito Federal:

- Total: 35 mil 164 m³/s.
- Aguas subterráneas: 24 mil 750 m³/s: de los cuales 20 mil m³/s provienen del acuífero del Valle de México: 16 mil 786 m³/s son operados por el (Gobierno del Distrito Federal), 2 mil 705 m³/s por la CNA-GRAVAMEX y .509 m³/s por particulares; y 4.75 m³/s provenientes del Sistema Lerma operado por el GDF.
- Aguas superficiales: 10 mil 414 m³/s: de las cuales .800 m³/s provienen de fuentes superficiales en el Valle de México: (Río Magdalena - manantiales) operadas por el GDF y 9.614 m³/s del Sistema Cutzamala operado por la CNA-GRAVAMEX.
- Dotación: 354 L/H/D. (219 L/H/D considerando fugas del 38%) El suministro de agua potable para la ZMVM, Estado de México es de un total de 27 mil 197 m³/s.
- Aguas subterráneas: 22 mil 011 m³/s: de los cuales 21 mil 011 m³/s provenientes del acuífero del Valle de México: 14 mil 379 m³/s son operados por el (Gobierno del Estado México) a través de la CAEM y sus Organismos Operadores, 4.372 m³/s por la CNA-GRAVAMEX y 2 mil 260 m³/s por particulares, 0.626 del Acueducto Chiconautla y 1.000 m³/s provenientes del Sistema Lerma operados por el GDF.
- Aguas superficiales: 5 mil 185 m³/s: de las cuales 0.272 m³/s son captadas en el Valle de México (Presa Madín) y 4 mil 913 m³/s mediante el Sistema Cutzamala, operadas por la CNA-GRAVAMEX. Dotación: 259 L/H/D. (161 L/H/D considerando fugas del 38%) (No se incluye el agua blanca para uso de riego agrícola).

El Sistema Cutzamala, capta las aguas en la cuenca del mismo nombre, transfiere a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en promedio 458.2 millones de m³ anualmente (14 mil 528 m³/s), mediante un acueducto de 127 km de longitud y mil 100 m de altura a vencer mediante bombeo. La capacidad total de las principales presas del Sistema Cutzamala asciende a 783.1 Mm³; (El Bosque 202.4 Mm³, Valle de Bravo 394.4 Mm³ y Villa Victoria 186.3 Mm³) y el almacenamiento actual (28 de agosto de 2001) es de 628.19 Mm³ el 80.2 % de la capacidad total, (El Bosque 141 mil 736, Valle de Bravo 330 mil 660 Mm³ y Villa Victoria 155 mil 794 Mm³).

Anillo de distribución

Para la distribución más equitativa a la población de la ZMVM del agua potable en bloque proveniente del Sistema Cutzamala, se diseñó en coordinación con los gobiernos del Distrito Federal y Estado de México un sistema a la

salida del túnel Analco-San José, mediante una estructura primaria de bifurcación hacia los ramales norte y sur, por los cuales se conduce el agua hacia los tanques de almacenamiento y distribución existentes y en proyecto en las entidades usuarias.

Las obras se programaron en la década de los 70' por los Gobiernos Federal, del Distrito Federal y del Estado de México, proponiéndose que se convirtieran en un circuito completo o anillo de distribución al cual se le denominó Macrocircuito que comprende 2 ramales: El Ramal Sur abastece de agua a las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac. La línea de conducción principal inicia en la estructura de bifurcación del Túnel Analco-San José y termina en San Francisco Tlalnepantla, Delegación Xochimilco, con una longitud total de 32.1 km y 4.0 m de diámetro. Esta obra la ejecuta el Gobierno del Distrito Federal encargándose también de su distribución.

El Ramal Norte tiene como objetivo mejorar y ampliar el servicio de agua potable a los municipios del Estado de México conurbados al Distrito Federal, a través de la conducción de los caudales provenientes del Sistema Cutzamala. Actualmente la línea principal tiene una longitud de 69 km y beneficia a los municipios de Naucalpan, Atizapán de Zaragoza, Tlanepantla, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Coacalco y Ecatepec. La distribución la realiza el gobierno del Estado de México y la ejecución de obra le fue asignada a la Federación.

A la zona oriente del Valle de México es necesario hacer llegar el Anillo de Distribución para incrementar el servicio y la cantidad de agua potable, requiriéndose infraestructura hidráulica adicional (ramales). ☺

