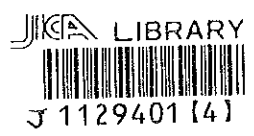


AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DE JAPON (JICA)
REPUBLICA DE GUATEMALA
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

INFORME DEL ESTUDIO DEL DISEÑO BASICO
DEL
PROYECTO DE REHABILITACION DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
EN LA CIUDAD DE GUATEMALA
EN
LA REPUBLICA DE GUATEMALA

ENERO DE 1994



KYOWA ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.
TOKYO ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

G R F
(CR 4)
94-028

JICA
INFORME DEL ESTUDIO DEL DISEÑO BASICO DEL PROYECTO DE REHABILITACION DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA

ENERO DE 1994

KYOWA ENGINEERING CONS
TOKYO ENGINEERING CONS

611
61.8
GRF

LIBRARY
94-028



1129401 [4]

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DE JAPON (JICA)
REPUBLICA DE GUATEMALA
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

INFORME DEL ESTUDIO DEL DISEÑO BASICO
DEL
PROYECTO DE REHABILITACION DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
EN LA CIUDAD DE GUATEMALA
EN
LA REPUBLICA DE GUATEMALA

ENERO DE 1994

KYOWA ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.
TOKYO ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD.

PREFACIO

En respuesta a la solicitud del Gobierno de la República de Guatemala, el Gobierno de Japón decidió realizar un Estudio de Diseño Básico para el Proyecto de Rehabilitación de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Guatemala y encargo dicho estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

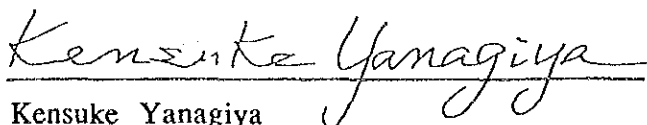
JICA envió a Guatemala una misión de Estudio de Diseño Básico presidida por el Sr. Hidetoshi Ishioka de la Primera División del Estudio del Diseño Básico, Departamento de Estudios de Cooperación Financiera no Reembolsable de JICA y con representantes de Kyowa Engineering Consultants Co., Ltd. y Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd. del 1ro. de agosto al 9 de septiembre de 1993.

La misión sostuvo discusiones con las autoridades relacionadas del Gobierno de Guatemala y realizó las investigaciones en los lugares destinados al Proyecto. Después de su regreso a Japón, la misión realizó más estudios analíticos. Luego se envió otra misión a Guatemala presidida por el Sr. Yuzuru Asakura de la Primera División del Estudio del Diseño Básico, Departamento de Estudios de Cooperación Financiera no Reembolsable de JICA del 7 al 16 de diciembre de 1993 con el propósito de discutir el borrador del informe y se completó el presente informe.

Espero que este informe sirva al desarrollo del proyecto y contribuya a promover las relaciones amistosas entre los dos países.

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a las autoridades pertinentes de la República de Guatemala por su estrecha cooperación brindada a las misiones.

Enero de 1994



Kensuke Yanagiya

Presidente

Agencia de Cooperación Internacional
del Japón

Enero de 1994

Sr. Kensuke Yanagiya
Presidente
Agencia de Cooperación Internacional del Japón
Tokio, Japón

CARTA DE COMUNICACION

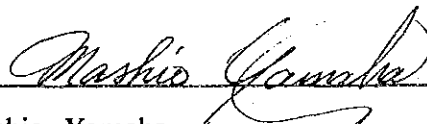
Tenemos el placer de presentarle el Informe de Estudio de Diseño Básico sobre el Proyecto de Rehabilitación de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Guatemala de la República de Guatemala.

Bajo el contrato firmado con JICA, Kyowa Engineering Consultants Co., Ltd. junto con Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd. hemos formado un consorcio que ha llevado a cabo el presente estudio durante 6 meses desde el 27 de julio de 1993 hasta el 31 de enero de 1994. En el Estudio hemos examinado la pertinencia del proyecto en plena consideración a la situación actual de Guatemala y hemos planificado el Estudio más apropiado para el proyecto dentro del marco de la Cooperación Financiera no Reembolsable del Gobierno de Japón.

Deseamos aprovechar esta oportunidad para expresar nuestro profundo agradecimiento al personal de JICA, del Ministerio de Asuntos Exteriores y del Ministerio de Bienestar Social. También deseamos expresar nuestra gratitud a los funcionarios de la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala, y a la Embajada del Japón en Guatemala por sus invaluables consejos y colaboración para este Proyecto.

Esperamos que este Informe sea de utilidad para JICA en el desarrollo del Proyecto.

Muy atentamente



Mashio Yamaha

Encargado por

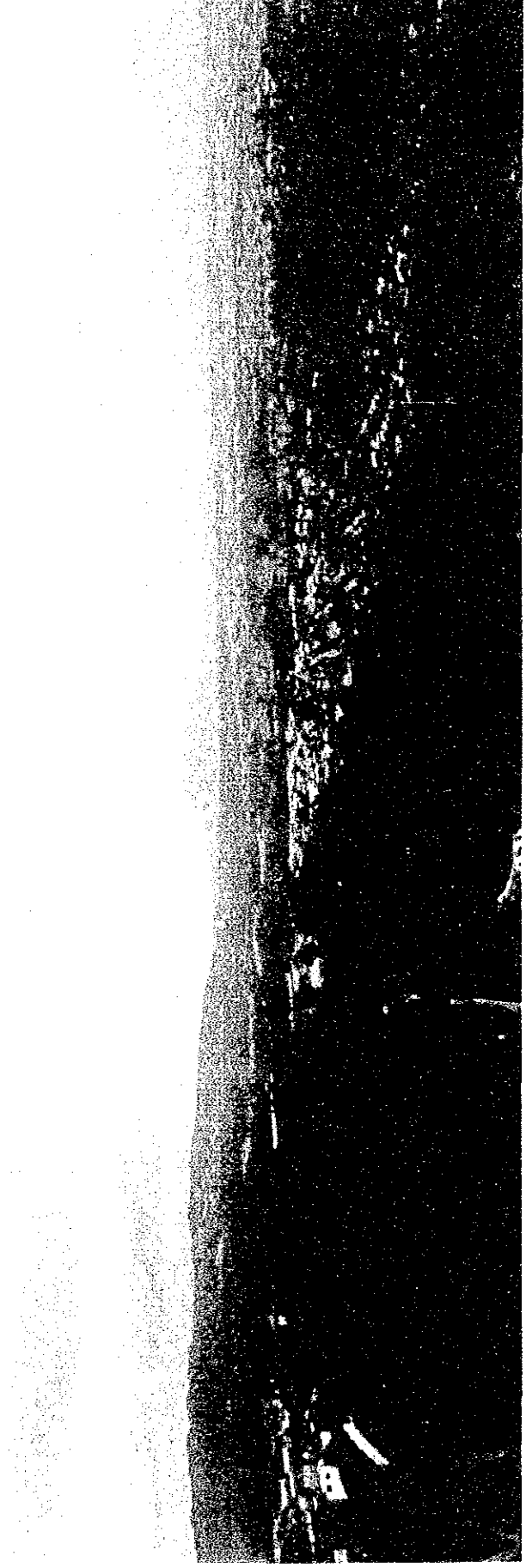
Kyowa Engineering Consultants Co., Ltd.

Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd.

de la Misión de Estudio de Diseño Básico sobre el Proyecto de Rehabilitación de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Guatemala



CAPITAL GUATEMALA (VISTA DESDE OFICINA EMPA GUA)



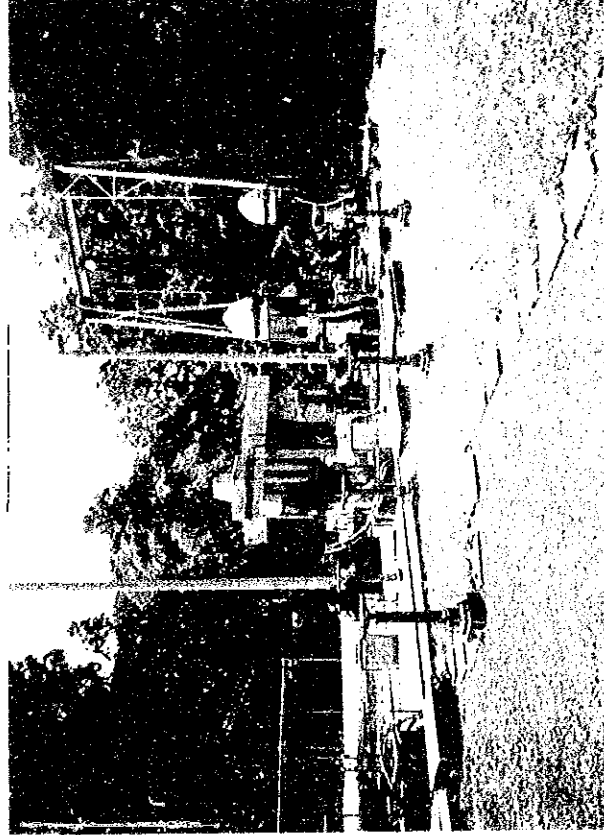
DESDE LA LOMA DE NORTE DE CIUDAD SE DOMINA A SUDOESTE



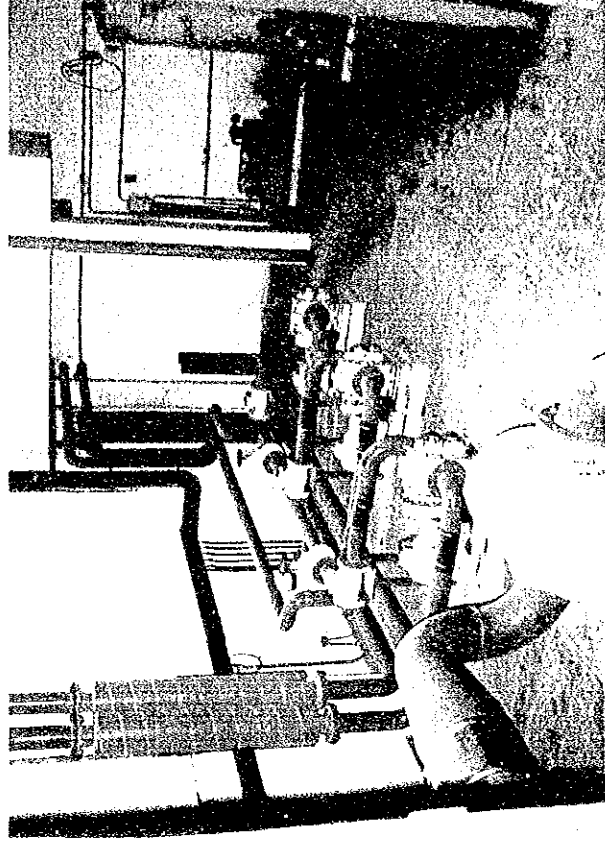
ESTACION DE BOMBEO ATLANTICO



SEDIMENTACION DE PLANTA DE TRATAMIENTO LAS ILUSIONES

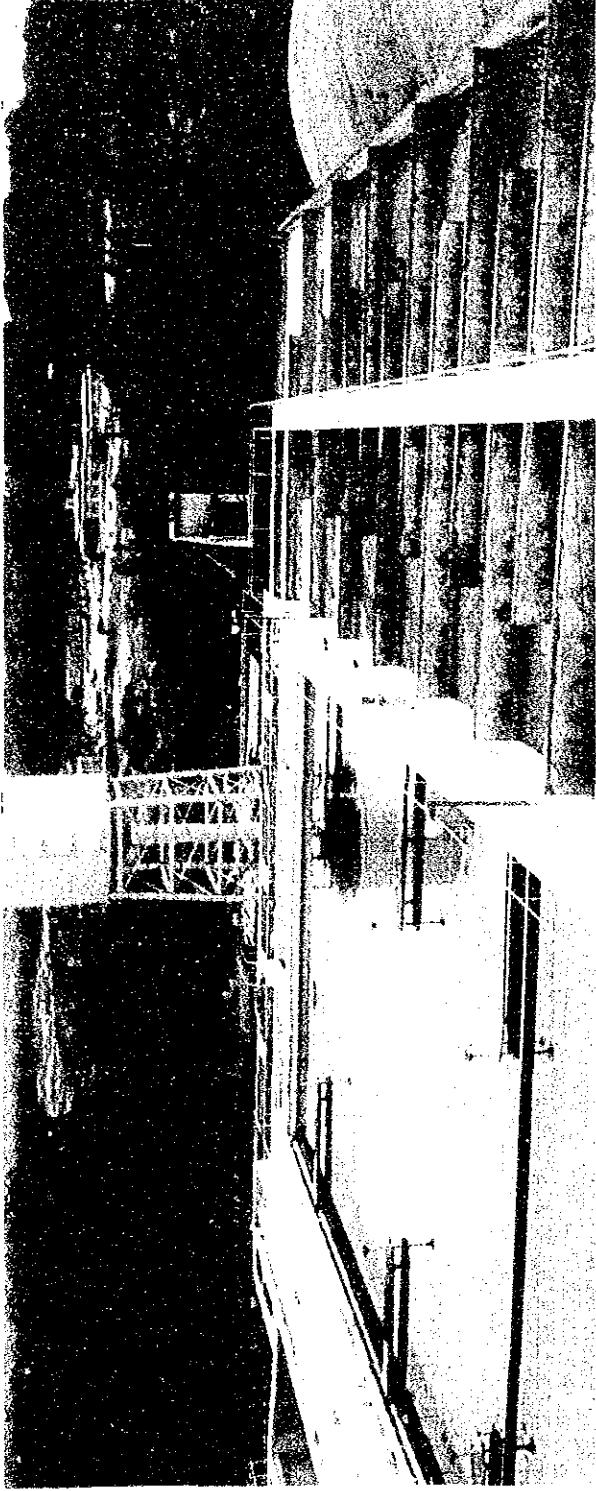


BOMBAS DE TOMA DE AGUA

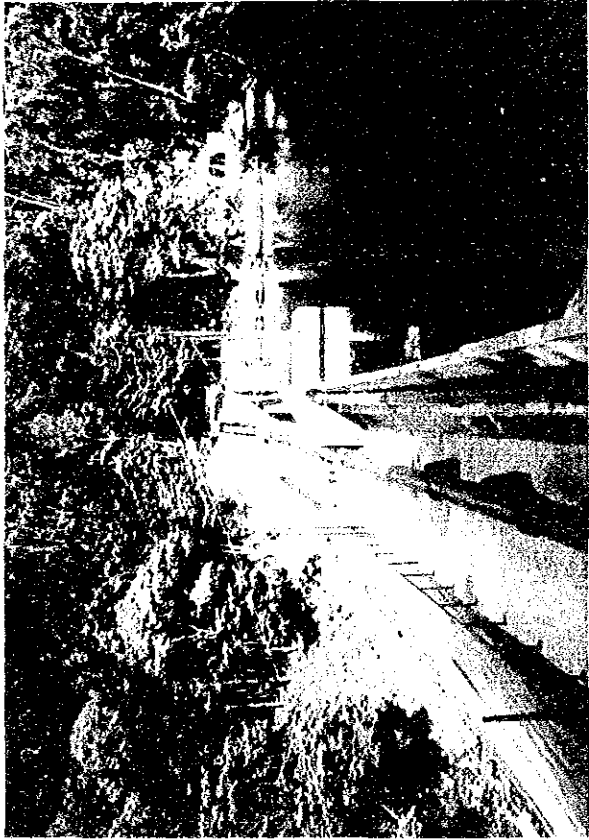


BOMBAS DE VACIO PARA SEDIMENTACION

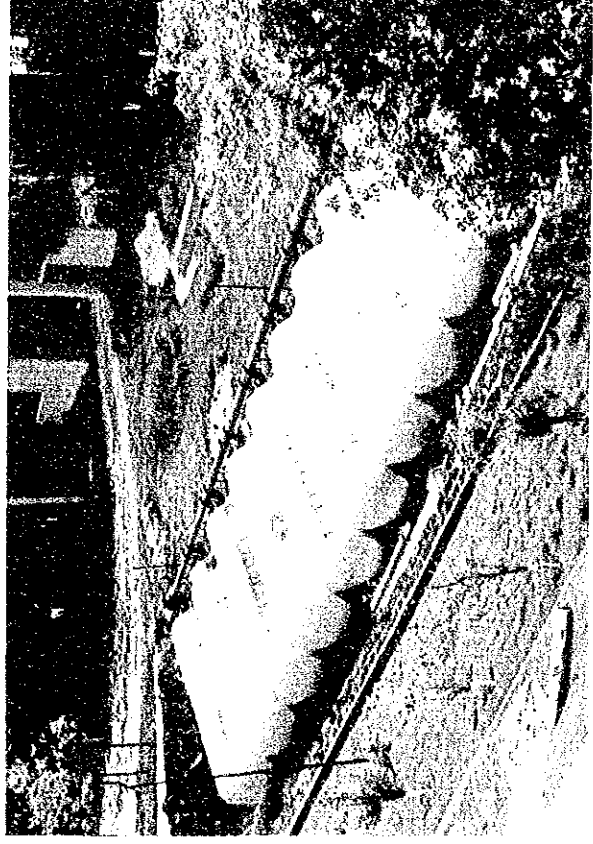
SISTEMA ATLANTICO-ILUSIONES



PLANTA DE TRATAMIENTO SANTA LUISA



PRESA TEOCINTE

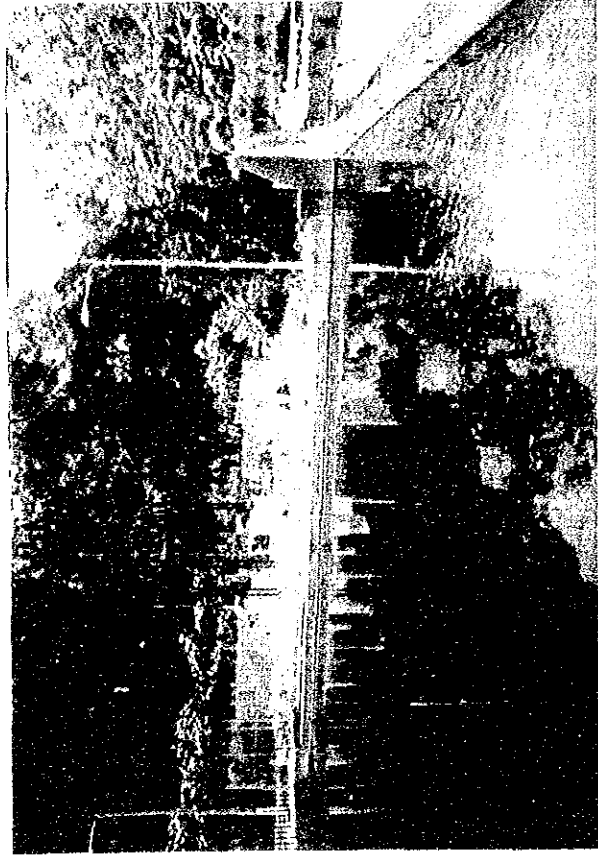


SISTEMA SANTA LUISA

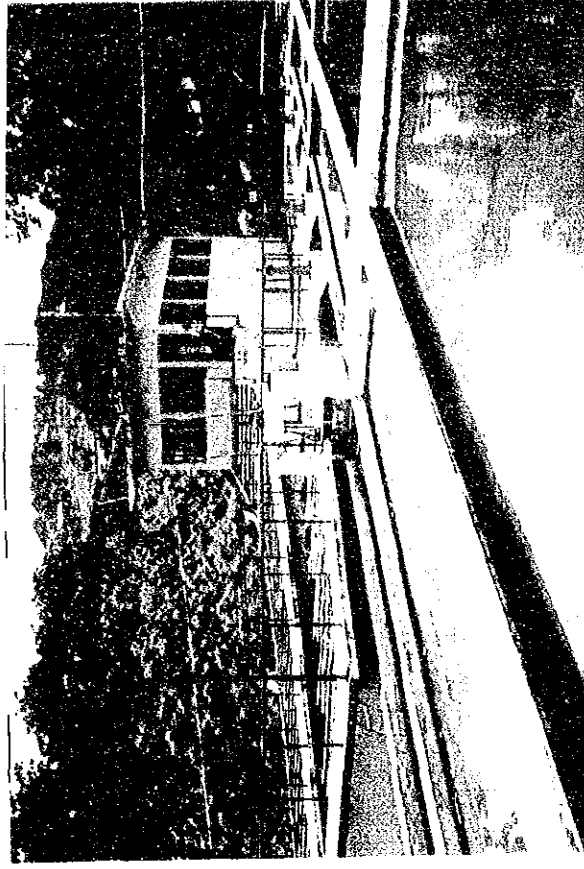
FILTROS RAPIDOS A PRESION



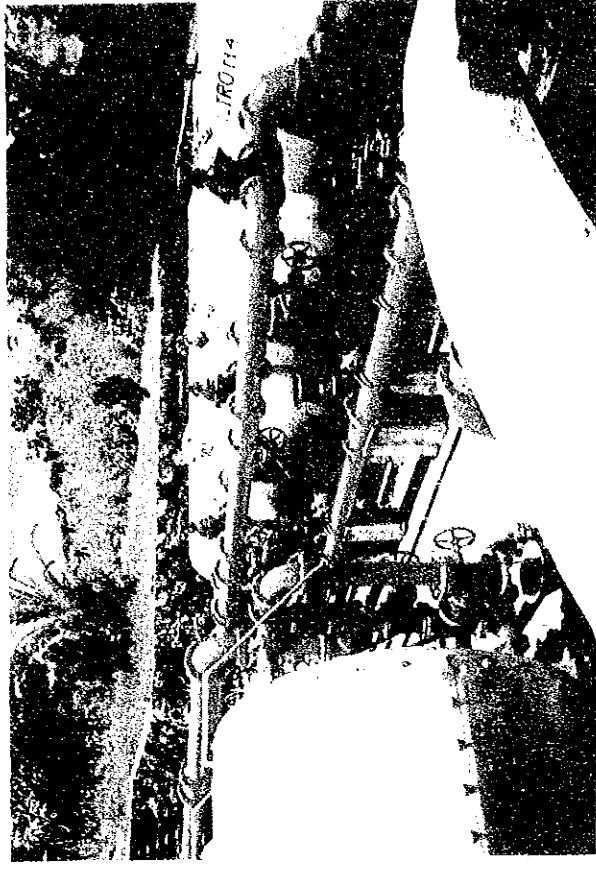
PRESA DE ESTACION DE BOMBEO HINCAPIE



SEDIMENTACION BASIN DE ESTACION HINCAPIE



SEDIMENTACION DE QUIMICOS DE PLANTA TRATAMIENTO EL CAMBRAY



FILTROS RAPIDOS A PRESION

SISTEMA EL CAMBRAY

RESUMEN

RESUMEN

La ciudad de Guatemala, capital de la República de Guatemala, tenía en 1991 una población de más de 2.100.000 habitantes. En los últimos años se está dando un fenómeno de emigración interna que trae gente del interior a la capital a un ritmo de más de 200.000 personas al año. Esto conlleva un aumento explosivo en la demanda de agua potable. El sistema público de agua corriente está administrado por la Empresa Pública de Agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA) que posee actualmente 6 plantas de tratamiento de agua y 30 grupos de pozos. Suministra agua a una población de 1.070.000 habitantes, con un volumen diario de 255.000 m³. Debido a que la demanda de agua está en el orden de los 370.000 m³ hay un déficit del 30%. El Gobierno de la República de Guatemala trata de eliminar el problema de la falta de agua en la ciudad de Guatemala con una solución de carácter permanente. En 1982 se confeccionó un Plan Maestro por el cual se desarrollarán nuevas fuentes de agua para suministrar unos 346.000 m³ diarios (4,0 m³/seg.) satisfaciendo plenamente la demanda de la población.

Por otro lado, y al mismo tiempo, se trata de volver el suministro de agua de las instalaciones existentes al volumen original, eliminando la aparición y desarrollo de las enfermedades contagiosas propagadas por el agua contaminada, para crear un medio ambiente más higiénico. Debido a la urgente necesidad de mejorar la calidad del agua corriente el Gobierno de la República de Guatemala ha seleccionado las plantas de tratamiento de agua de Las Ilusiones, Santa Luisa y El Cambray que son las que presentan un desequilibrio entre demanda y oferta de agua mayor en sus respectivas zonas de suministro, proponiendo un proyecto de rehabilitación de estas instalaciones. Dentro de este esquema, en febrero de 1992 se le solicitó al Japón la Cooperación Financiera no Reembolsable. La solicitud mencionaba las 3 plantas que ya tienen entre 20 y 50 años de construidas y han sufrido un deterioro por su antigüedad, estando expuestas a constantes averías y problemas en las instalaciones, no pudiendo tener la capacidad de procesamiento que tenían al principio. Las instalaciones que se rehabilitarán son las siguientes.

Resumen de la solicitud

| Nombre de la planta | | Las Ilusiones | Santa Luisa | El Cambray |
|-----------------------------|---|---------------|-------------|------------|
| Instalaciones a rehabilitar | Equipo de toma de agua | ○ | — | — |
| | Depósito de formación de flóculos | — | ○ | ○ |
| | Depósito de sedimentación | ○ | ○ | ○ |
| | Tanque de filtrado | ○ | ○ | ○ |
| | Dosificador de productos químicos | ○ | ○ | ○ |
| | Depósito de distribución | — | ○ | ○ |
| | Equipo de medición | ○ | ○ | ○ |
| | Equipos eléctricos | ○ | ○ | ○ |
| | Instrumentos para el análisis de calidad del agua | — | ○ | — |
| | Otros | ○ | ○ | ○ |

En base a esta solicitud, el Gobierno del Japón decidió realizar un Estudio Preliminar y encargó el mismo a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón que envió una Misión de Estudio Preliminar a la República de Guatemala en abril de 1993. La Misión de Estudio tuvo como cometido analizar si la presente solicitud se encuadraba dentro de los lineamientos de la Cooperación Financiera no Reembolsable y para estudiar, simultáneamente el Plan de obras y la estructura administrativa, para determinar el nivel de ayuda apropiado, las dimensiones y la efectividad de la ayuda, recabando una serie de datos que después servirán para la etapa del Diseño Básico, preparando finalmente un informe del Estudio Preliminar. La Agencia de Cooperación Internacional del Japón utilizó los resultados del Estudio Preliminar y en agosto de 1993 se envió una Misión de Diseño Básico a la República de Guatemala. La Misión de Estudio se reunió con EMPAGUA, el organismo encargado por parte de la República de Guatemala de poner en práctica el plan, recabando los datos existentes sobre antecedentes del proyecto, contenido de la solicitud y realizando una investigación del lugar, recogiendo también toda la información relacionada al proyecto. Después de volver al Japón, realizó los trabajos necesarios para determinar la conveniencia de la Cooperación y determinó las dimensiones y contenido apropiados de acuerdo a las instalaciones de los sistemas de tratamiento de agua. En base a esa información se preparó un informe de borrador final. A continuación, en diciembre de 1993 se enviará una nueva Misión para explicar el Informe de Borrador Final.

Los 3 sistemas de tratamiento de agua que forman parte del presente proyecto se describirán a continuación. La población suministrada por cada sistema es para Las Ilusiones: 211.000 personas, Santa Luisa: 107.000 personas y El Cambray 43.000 personas. El suministro per capita de EMPAGUA es de 240 litros promedio por día por persona. En cambio

los 3 sistemas a rehabilitar suministran, en el mismo orden de las instalaciones: 100 litros, 240 litros, 250 litros. Especialmente el sistema de Las Ilusiones muestra un déficit muy grande.

Resumen de las 3 plantas de tratamiento de agua rehabilitadas por el presente proyecto

| Nombre del sistema | Instalaciones de tratamiento de agua | | | Instalaciones de toma de agua | |
|--------------------|--------------------------------------|---|---|-------------------------------|-------------------|
| | Año de construcción | Volumen de agua producida (m ³ /día) | Principales sistemas de tratamiento | Nombre de la instalación | Impulsión de agua |
| Las Ilusiones | 1971 | Valor de diseño : 25.000 | Depósitos de sedimentación por floculación rápida de flujo hacia arriba Tanque de filtrado rápido por la fuerza de gravedad abierto | Vertedero El Atlántico | P |
| | | Valor real : 20.390 | | | |
| Santa Luisa | 1938 | Valor de diseño : 40.000 | Depósito de sedimentación por floculación de flujo horizontal Depósito de sedimentación por floculación por placa oscilante Tanque de filtrado por presión herméticamente cerrado | Presa Teocinte | G |
| | | Valor real : 26.130 | | Vertedero Acatán | G |
| | | | | Vertedero Canalitos | P |
| | | | | Pozo | P |
| El Cambray | 1942 | Valor de diseño : 16.000 | Depósito de sedimentación por floculación de flujo horizontal Tanque de filtrado por presión herméticamente cerrado | Vertedero Hincapié | P |
| | | Valor real : 12.640 | | Vertedero Pinula | G |

Nota: Método de impulsión en el cuadro; P = Impulsión por presión de la bomba, G = Flujo por la fuerza de la gravedad.

En el pasado las instalaciones fueron ampliadas varias veces y se realizaron reparaciones pero actualmente todas las instalaciones han bajado su rendimiento y hay averías en muchos de los equipos. Durante estos últimos 10 años, los 3 sistemas han bajado el nivel de producción de agua en un 15 - 20% y si no se invierte esta tendencia, puede verse afectada la propia continuidad de las instalaciones. EMPAGUA se ve enfrentada a una situación financiera poco saludable y depende de la buena voluntad de los funcionarios en cada una de las plantas que, con sus escasos medios y gracias a algunas soluciones creativas han podido realizar algunas mejoras y reparaciones efectivas, aunque en pequeña escala, pero es necesario realizar una rehabilitación total de las instalaciones. A continuación mencionaremos las condiciones sociales y naturales que han cambiado y que hacen que el suministro de agua sea cada vez más difícil.

- Desequilibrio entre la demanda y el suministro de agua

En los últimos años el crecimiento explosivo de la población en la capital debido a la emigración interna hacia la ciudad ha provocado un aumento de la población en la periferia de la ciudad y la población de escasos recursos económicos se concentra en las afueras de la ciudad en zonas que todavía no tienen infraestructura adecuada y donde se han instalado sobre todo en viviendas construidas sin ninguna urbanización

planificada. En el caso del sistema de Las Ilusiones que es objeto del presente proyecto, la zona de suministro de agua de este sistema tiene un crecimiento de la población a ritmo cada vez más acelerado y es, por consiguiente, la que tiene el mayor déficit de agua. Se han dado incluso protestas callejeras por parte de la población. No sólo es un grave problema social sino que afecta la higiene del medio ambiente vital de la población. El aumento de la población en la capital hace que aumente paralelamente la demanda de agua pero las nuevas fuentes de agua a desarrollar según el plan de EMPAGUA están atrasadas y será necesario mejorar y rehabilitar las instalaciones existentes para volver el volumen de suministro de agua a sus niveles originales.

- Condiciones naturales en la zona de captación del río

La zona donde se va a poner en práctica el proyecto es una zona volcánica y el suelo está formado por roca y cenizas volcánicas. Geológicamente este tipo de suelo es fácilmente erosionable por las lluvias y por la corriente del río. Recientemente, en la zona de captación de la toma de agua se han empezado a desarrollar centros urbanos para una población que va en creciente aumento y hay una urbanización no planificada donde se concentra la población de escasos recursos. Estos pobladores han cortado los árboles y construido viviendas por su cuenta, destruyendo la naturaleza y vertiendo al río las aguas negras, además de dejar la basura sin recoger, todo lo cual ha hecho que la calidad del agua del río disminuya. Especialmente en la estación de las lluvias hay un gran arrastre de tierra y arena hacia el río y hace que éste se enturbie. Esta turbiedad supera la capacidad de procesamiento de la planta de tratamiento de agua y existe la necesidad de parar la toma de agua. Además, en los vertederos de cada una de las tomas de agua hay instalaciones para la eliminación de arena pero su capacidad es tan chica que se acumula la tierra y la arena afectando adversamente la toma de agua. Especialmente en el caso de la planta de tratamiento de agua de Santa Luisa su fuente de agua que es la presa Teocinte tenía una capacidad inicial de 6.000.000 m³ pero en la actualidad ha disminuido a un tercio, siendo ahora de sólo 2.000.000 m³. El empeoramiento en la calidad del agua del río hace que pierda rápidamente su valor como fuente de agua potable y puede verse afectada la viabilidad futura de estas instalaciones.

La solicitud recibida inicialmente para el proyecto era para la rehabilitación de las instalaciones existentes, para devolverlas a las especificaciones originales. Actualmente, para asegurarse una toma de agua estable durante todo el año, EMPAGUA ha estado tratando de proteger las condiciones naturales en la zona de captación del río levantando las paredes de las presas y vertederos y construyendo presas protectoras para evitar el arrastre de la arena en las cercanías de la toma de agua, aunque todo esto esté todavía

en la etapa de diseño. Sin embargo, todos estos esfuerzos son medidas provisionarias que permiten solucionar el problema a corto plazo pero, a menos que se mejoren las condiciones naturales y sociales en la zona de captación, en pocos años volverán a presentarse los mismos problemas. Por lo tanto, a pesar de que estas propuestas puedan ser técnicamente factibles, no están dentro de los lineamientos de la Cooperación Financiera no Reembolsable.

Todas estas consideraciones nos han llevado a excluir las medidas para asegurarse una toma de agua estable y a limitarnos a las instalaciones dentro de las plantas de toma de agua y de tratamiento de agua de los 3 sistemas solicitados, preparando un plan para una rehabilitación eficaz de las mismas. Sin embargo, un estudio del funcionamiento de las instalaciones existentes muestra que la vuelta a las especificaciones originales deja problemas no resueltos sobre las operaciones y sobre el mantenimiento futuro de las instalaciones y, en ese caso, hemos decidido introducir algunas instalaciones nuevas, tal como se describe en los siguientes párrafos, para solucionar estos problemas.

1. Cambio de dosificadores de productos químicos (en las 3 plantas de tratamiento de agua)

Actualmente se está inyectando solamente alumbre. Se utiliza un método de inyección en grano, lo que hace muy difícil el ajuste de la cantidad a inyectar. Los flóculos no tienen el tamaño adecuado y no se produce una buena sedimentación por floculación. Por lo tanto hemos decidido que se debe utilizar alumbre y cal apagada que permite ajustar el pH y que ambos productos químicos se inyecten por el método de solución líquida. Esto permitirá controlar la turbiedad del agua cruda mediante una administración correcta de las cantidades inyectadas.

2. Cambio de un tanque de filtrado a presión herméticamente cerrado (Plantas de tratamiento de agua de Santa Luisa y de El Cambray)

Tanto la planta de tratamiento de Santa Luisa como la de El Cambray tienen tanques de filtrado de tipo por presión de acero con 19 y 8 divisiones respectivamente. Estos tanques de filtrado tienen tuberías y válvulas con una instalación complicada y actualmente, todos los medidores están averiados y no es posible utilizar esta instalación eficientemente. Además, debido a que los tanques están herméticamente cerrados, es prácticamente imposible de determinar desde fuera los estados del filtrado y del lavado, por lo que son difíciles de manejar. Como método de rehabilitación, hemos estudiado el tanque de filtrado por gravedad de tipo abierto, solicitado por EMPAGUA, y también la posibilidad de reformar las instalaciones existentes. Pero, pensamos que por reformar estas instalaciones no se mejorará mucho la manejabilidad y podrían volver a surgir problemas en el futuro. Por lo tanto hemos aceptado la construcción de tanques de filtrado por gravedad de tipo abierto.

3. Instalación de generador eléctrico para emergencias (en las 3 plantas de tratamiento de agua)

En la actualidad, debido a que no hay generador eléctrico de emergencia durante los cortes de electricidad de noche, se apaga la iluminación y se paran todas las máquinas, y pueden producirse anomalías que no podrán ser solucionadas fácilmente. Además, como la toma de agua está conectada a una central eléctrica distinta o debido a que utiliza la fuerza de la gravedad para hacer fluir el agua cruda de la toma a la planta de tratamiento, durante los cortes de electricidad el agua sigue siendo impulsada hacia dicha planta y puede llegar a ser suministrada a la población directamente sin pasar por ningún tratamiento en la planta, provocando problemas higiénicos. Por lo tanto, se ha decidido instalar un generador eléctrico en cada planta de tratamiento de agua con el fin de asegurar agua potable con un mayor grado de protección y para mejorar el funcionamiento de las instalaciones. La potencia del generador eléctrico es suficiente para iluminar la planta y para hacer funcionar los dosificadores de productos químicos y de desinfección. Es suficiente para mantener un funcionamiento mínimo de todas las instalaciones necesarias.

4. Razones para la instalación de un centrifugado de arena (Planta de toma de agua de El Atlántico)

El actual depósito de sedimentación de arena en la planta de toma de agua no tiene suficiente capacidad de eliminar las partículas que enturbian el agua cruda y cuando el agua cruda presenta un alto grado de turbiedad en la época de lluvias, existe la necesidad de parar la toma de agua. Además, al elevar el agua cruda, entra también la arena sedimentada en el pozo de bomba y desgasta rápidamente la bomba de elevación por la fricción de la arena en el agua. Dentro del poco espacio disponible en la planta de toma de agua, se han hecho los cálculos y hemos llegado a la conclusión de que es posible construir el método de centrifugado de arena por flujo rotatorio, porque permite disminuir eficientemente la turbiedad del agua cruda. Esto permite que el sistema siga funcionando más horas en el año y se espera que aumente la producción del agua.

Se detalla el contenido de la rehabilitación de las instalaciones y compra de materiales y recursos aparecen en la lista a continuación.

Resumen de las instalaciones del proyecto

| Sistema | Instalaciones | Nombre del equipo | Trabajos | Especificaciones y dimensiones | Cantidad | |
|---|---|---|---|---|----------------------------|---|
| Sistema Las Ilusiones | Toma de agua | Bomba de toma de agua | Cambio | Flujo vertical | 2 | |
| | | Equipo contra golpe de ariete | Reparación | Campana de aire, compresor | 1 | |
| | | Equipo de centrifugado de arena | Nuevo | Hormigón armado | 2 div. | |
| | Depósito de sedimentación por floculación | Equipo de pulsación | Cambio | Bomba de vacío Válvula de eliminación de vacío Compresor Bomba de recuperación el agua de los residuos | 1 | |
| | Tanque de filtrado | Equipo medidor de caudal | Cambio | Válvula de entrada, caja de parcialización | 1 | |
| | | Tobera de acumulación Arena de filtrado | Cambio Cambio | Plástico de caño largo | 2600 4 tgs. | |
| | Dosificadores de productos químicos | Inyector de alumbre | Nuevo | Recipiente hormigonado de disolución, bomba de inyección | 2 | |
| | | Inyector de cal apagada | Nuevo | Recipiente hormigonado de disolución, bomba de inyección | 2 | |
| | Medidores | Inyector para clorinación | Cambio | Conexión directa para pre- y post-clorinación | 1 | |
| | | Medidor de caudal | Cambio | Ultrasonido, (agua cruda/agua procesada) | 2 | |
| Equipos eléctricos | Instalaciones para la planta de toma de agua | Cambio parcial | Tablero de distribución/tablero de controles | 1 | | |
| | Instalaciones para la planta de tratamiento de agua | Cambio parcial | Transformador eléctrico, tablero de conexiones /tablero de controles, generador eléctrico | 1 | | |
| Otros | Bomba de suministro de agua de la planta | Cambio | Flujo horizontal | 2 | | |
| Sistema Santa Luisa | Depósito de sedimentación por flocul. | Instalaciones para mejorar la floculación | Mejora | Dique de mezcla | 1 | |
| | | Placa oscilante | Cambio | Placa de policloruro de vinilo 740mm(Long.) x 740mm(An.) | 2385 | |
| | Tanque de filtrado | Tanque de filtrado por gravedad abierto | Nuevo | Hormigón armado | 10 | |
| | Dosificadores de productos químicos | Inyector de alumbre | Nuevo | Recipiente hormigonado de disolución, bomba de inyección | 2 | |
| | | Inyector de cal apagada | Nuevo | Recipiente hormigonado de disolución, bomba de inyección | 2 | |
| | Medidores | Inyector para clorinación | Cambio | Conexión directa para pre- y post-clorinación | 1 | |
| | | Medidor de caudal | Nuevo | Ultrasonido/para suministro de agua | 2 | |
| | Equipos eléctricos | Instalaciones para la planta de tratamiento de agua | Cambio parcial | Transformador eléctrico, tablero de conexiones /tablero de controles, generador eléctrico | 1 | |
| | Sistema El Cambray | Instalaciones de la toma de agua | Bomba de toma de agua | Cambio | Flujo vertical | 2 |
| | | | Equipo contra golpe de ariete | Reparación | Campana de aire, compresor | 1 |
| Medidor de caudal | | | Nuevo | Ultrasonido | 1 | |
| Depósito de sedimentación por floculación | | Instalaciones para mejorar la mezcla | Mejora | Dique de mezcla | 1 | |
| Tanque de filtrado | | Tanque de filtrado por gravedad abierto | Nuevo | Hormigón armado | 6 | |
| Dosificadores de productos químicos | | Inyector de alumbre | Nuevo | Recipiente hormigonado de disolución, bomba de inyección | 2 | |
| | | Inyector de cal apagada | Nuevo | Recipiente hormigonado de disolución, bomba de inyección | 2 | |
| Medidores | | Inyector para clorinación | Cambio | Conexión directa para pre- y post-clorinación | 1 | |
| | | Medidor de caudal | Nuevo | Ultrasonido/para suministro de agua | 2 | |
| Equipos eléctricos | | Instalaciones para la planta de toma de agua | Cambio parcial | Tablero de distribución/tablero de controles | 1 | |
| | Instalaciones para la planta de tratamiento de agua | Cambio parcial | Transformador eléctrico, tablero de conexiones /tablero de controles, generador eléctrico | 1 | | |
| Otros | Bomba de suministro de agua de la planta | Cambio | Flujo horizontal | 1 | | |

Los materiales que se compran según el presente proyecto son materiales de examen de calidad de agua para las 3 plantas de tratamiento de agua. Son siguientes.

Materiales y recursos a comprar

| Item | Nombre de material | Especificaciones y dimensiones | Cantidad |
|--|---------------------------------|----------------------------------|----------|
| Materiales para análisis de calidad del agua | Ensayo de jarra | Para hacer 6 pruebas simultáneas | 3 |
| | Medidor de turbiedad | Método de difusión de luz | 3 |
| | Medidor de pH | Digital | 3 |
| | Medidor de cloro residual | | 3 |
| | Medidor de coloración | Método de difusión de luz | 3 |
| | Probetas, recipientes de vidrio | | 3 |
| | Valorador de alcalinidad | | 3 |
| | Estante | | 3 |

El organismo encargado del proyecto por parte del Gobierno de la República de Guatemala es la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA). Las 3 plantas que son objeto del presente proyecto tienen 77 funcionarios que trabajan bajo la dirección del Director de plantas de tratamiento de agua. Una vez finalizado el presente proyecto se deberá contratar un ingeniero eléctrico y 2 ingenieros mecánicos adicionales. Para el funcionamiento de las instalaciones después de finalizado el proyecto se necesitará un presupuesto anual de 18.000.000 quetzales pero, debido al aumento en el volumen de agua suministrado, habrá un aumento de ingresos por lo que éstos serán de 18.700.000 quetzales. Se piensa que esta rehabilitación no afectará financieramente al organismo.

En caso de financiarse este proyecto con el sistema de Cooperación Financiera no Reembolsable de Japón, es deseable que los 3 sistemas se vayan rehabilitando 1 por año. Durante el primer período se rehabilitará el sistema de Las Ilusiones por ser el que tiene mayores problemas de suministro de agua, el segundo período corresponderá al sistema de Santa Luisa y el tercer período será para el sistema de El Cambray. Durante el primer período, incluyendo el período para la licitación, la parte de diseño demorará 5,5 meses y la parte de construcción incluye la fabricación y adquisición de los equipos y materiales y su transporte al lugar demorará unos 12,0 meses. El segundo período tendrá unos 4,0 meses de diseño y 12,0 meses de trabajos de construcción, el tercer período tendrá una etapa de diseño de 4,0 meses y una etapa de construcción de 12,0 meses. La parte que es responsabilidad del Gobierno de la República de Guatemala se ha presupuestado que será de unos 11,7 millones de quetzales.

La puesta en práctica del presente proyecto implica la rehabilitación total de las instalaciones de los 3 sistemas de tratamiento de agua para volver las funciones del sistema a su nivel original, para que el nivel de turbiedad y pH del agua potable estén dentro de las normas

de calidad de agua básicas de la O.M.S. Actualmente los 3 sistemas suministran el agua a una población de 361.000 habitantes con un volumen de agua suministrada diario de 54.500 m³; una vez finalizado el proyecto se espera que este volumen aumente a 70.300 m³. Este aumento se sitúa en unos 15.800 m³/día y equivale a un 29% de la producción actual. De acuerdo a los datos de EMPAGUA de suministro por día per capita de la población de 240 l, esto equivale al suministro adicional de unas 65.800 personas. Por otro lado, la mejora en el funcionamiento del sistema hará que las tareas de los funcionarios encargados del mantenimiento de las plantas se simplifique.

Como resultado de todo lo anterior, se suministrará agua potable de buena calidad en volúmenes estables mejorando la calidad de vida e higiene de la población y evitando la propagación de enfermedades contagiosas a través del agua. La mejora en las condiciones sanitarias y la ayuda a las capas de menores recursos son políticas prioritarias del Gobierno de la República de Guatemala y este proyecto está encuadrado dentro de estos objetivos. Debido a que es uno de los sistemas de tratamiento de agua prioritarios de EMPAGUA suponemos que se seguirán utilizando eficientemente en el futuro.

Para mejorar todavía más la eficiencia del proyecto, se espera que el Gobierno de la República de Guatemala y las autoridades municipales adopten los siguientes puntos.

1. En cada uno de los períodos de construcción, se espera que la parte correspondiente a las obras de Guatemala se cumplan en tiempo.
2. Se establezcan limitaciones en el desarrollo urbano y habitacional de las zonas de captación de los ríos.
3. Mejoramiento y reparación de la red de tuberías de suministro de agua para que aumente el porcentaje de agua que puede ser tarifado.
4. Educación a la población para que aprendan a conservar los recursos naturales escasos.<

Indice

| | |
|--|-----------|
| Prefacio | |
| Información | |
| Mapas | |
| Fotografías | |
| Resumen | |
| Indice | |
| CAPITULO 1 GENERALIDADES | 1 |
| CAPITULO 2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO | 5 |
| 2.1 Aspectos generales de las instalaciones de agua potable de la ciudad de Guatemala | 5 |
| 2.1.1 Aspectos generales de las instalaciones y equipos de agua potable | 5 |
| 2.1.2 Condiciones de las instalaciones y equipos rehabilitados por el presente Proyecto | 9 |
| 2.1.3 Calidad del agua y control de la calidad del agua | 32 |
| 2.2 Contenido de la solicitud | 37 |
| 2.2.1 Antecedentes de la solicitud | 37 |
| 2.2.2 Contenido de la solicitud | 38 |
| 2.3 Aspectos generales de la región donde está ubicado el Proyecto | 40 |
| 2.3.1 Medio ambiente social y económico de la región | 40 |
| 2.3.2 Condiciones naturales | 41 |
| CAPITULO 3 CONTENIDO DEL PROYECTO | 45 |
| 3.1 Objetivos | 45 |
| 3.2 Análisis del contenido de la solicitud | 45 |
| 3.2.1 Conveniencia y necesidad del proyecto | 45 |
| 3.2.2 Proyecto de administración de las obras | 45 |
| 3.2.3 Elementos integrados en el Proyecto | 47 |
| 3.3 Contenido del Proyecto | 48 |
| 3.3.1 Organización a cargo del funcionamiento y estructura administrativa | 60 |
| 3.3.2 Contenido de las obras, equipos y materiales del Proyecto | 64 |
| 3.3.3 Plan de administración y mantenimiento | 69 |
| 3.4 Necesidad de la cooperación tecnológica | 76 |
| 3.5 Criterios básicos de la cooperación | 77 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| CAPITULO 4 | DISEÑO BASICO | 79 |
| 4.1 | Criterios del diseño | 79 |
| 4.2 | Análisis de las condiciones del diseño | 83 |
| 4.2.1 | Principios del diseño | 83 |
| 4.2.2 | Definición de la capacidad de las obras | 83 |
| 4.3 | Diseño básico | 84 |
| 4.3.1 | Atlántico - Sistema Las Ilusiones | 95 |
| 4.3.2 | Sistema Santa Luisa | 108 |
| 4.3.3 | Sistema El Cambray | 119 |
| 4.3.4 | Adquisición de equipos y recursos | 129 |
| 4.3.5 | Plano del diseño básico | 129 |
| 4.4 | Plan de obras | 131 |
| 4.4.1 | Sistema de obras a construir | 131 |
| 4.4.2 | División de responsabilidades de los trabajos | 132 |
| 4.4.3 | Plan de administración de los trabajos de construcción | 135 |
| 4.4.4 | Plan de control y diseño de las obras | 136 |
| 4.4.5 | Plan de adquisición de equipos y recursos | 137 |
| 4.4.6 | Calendario de obras | 140 |
| 4.4.7 | Contenido de los trabajos que son de responsabilidad de la República de Guatemala | 142 |
| CAPITULO 5 | EVALUACION DE ACTIVIDADES Y CONCLUSIONES ... | 143 |
| 5.1 | Resultados de las actividades | 143 |
| 5.2 | Conclusiones y recomendaciones | 149 |

ANEXOS

| | |
|---|--------|
| 1. Composición de la Misión de Estudio | A - 1 |
| (1) Diseño Básico | A - 1 |
| (2) Explanación de Borrador del Informe | A - 1 |
| 2. Calendario del Estudio | A - 2 |
| (1) Diseño Básico | A - 2 |
| (2) Explanación de Borrador del Informe | A - 3 |
| 3. Lista de autoridades | A - 4 |
| 4. Minutas de las discusiones | A - 5 |
| (1) Diseño Básico | A - 5 |
| (2) Explanación de Borrador del Informe | A - 24 |
| (3) Technical Notes | A - 27 |
| 5. Lista de datos recopilados | A - 35 |
| 6. Referencia | A - 36 |
| (1) Estudios de calidad del agua de las fuentes | A - 36 |
| (2) Estudio geológico | A - 40 |
| (3) Resultados financieros de EMPAGUA 1988-1992 | A - 42 |
| (4) Sobre la selección local de la arena para el filtrado | A - 43 |

Planos del Diseño Básico

Lista de Cuadros

| | | página |
|-------------|---|--------|
| Cuadro 1 | Sistema de suministro existente y su clasificación por capacidad de suministro de agua con respecto a la población a la que se da el servicio | 6 |
| Cuadro 2 | Volumen de suministro de agua anual de cada sistema de tratamiento de agua | 9 |
| Cuadro 3 | Resumen de las zonas a las que suministra cada planta | 10 |
| Cuadro 4 | Aspectos generales de las 3 plantas de tratamiento del proyecto | 11 |
| Cuadro 5 | Fuentes de agua e instalaciones para la toma de agua de las plantas de la red de agua potable | 12 |
| Cuadro 6 | Estructura de las instalaciones de la planta de tratamiento de agua | 19 |
| Cuadro 7 | Comparación entre las normas de calidad de agua y estado del agua tratada | 36 |
| Cuadro 8 | Confirmación del contenido de la solicitud (En la etapa del Estudio Preliminar) | 39 |
| Cuadro 9 | Volumen pluviométrico promedios mensual en la ciudad de Guatemala | 42 |
| Cuadro 10 | Situación financiera de EMPAGUA | 47 |
| Cuadro 11 | Estructura de tarifas mensuales de EMPAGUA | 48 |
| Cuadro 12 | Instalaciones incluidas en el proyecto y dimensiones del proyecto | 48 |
| Cuadro 13 | Instalaciones incluidas en la clasificación III y razón de su inclusión | 53 |
| Cuadro 14 | Contenido de la solicitud y estado actual de las instalaciones | 54 |
| Cuadro 15 | Estructura administrativa de las instalaciones que forman el presente proyecto | 61 |
| Cuadro 16-1 | Conveniencia y necesidad de los equipos e instalaciones para el proyecto (Sistema Las Ilusiones) | 66 |
| Cuadro 16-2 | Conveniencia y necesidad de los equipos e instalaciones para el proyecto (Sistema Santa Luisa) | 67 |
| Cuadro 16-3 | Conveniencia y necesidad de los equipos e instalaciones para el proyecto (Sistema El Cambray) | 68 |
| Cuadro 17 | Costo del consumo eléctrico | 69 |
| Cuadro 18 | Consumo Eléctrico | 71 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Cuadro 19 | Consumo y costo del alambre | 72 |
| Cuadro 20 | Consumo y costo de cal apagada | 72 |
| Cuadro 21 | Consumo y costo de cloro gasificado | 73 |
| Cuadro 22 | Costos anuales de funcionamiento al final del proyecto | 74 |
| Cuadro 23 | Instalaciones incluidas en el proyecto y dimensiones del proyecto | 83 |
| Cuadro 24 | Equipos para el mejoramiento de cada sistema | 84 |
| Cuadro 25-1 | Contenido de las rehabilitaciones del sistema de Las Ilusiones | 86 |
| Cuadro 25-4 | Contenido de las rehabilitaciones del sistema de Santa Luisa | 89 |
| Cuadro 25-7 | Contenido de las rehabilitaciones del sistema de El Cambray | 92 |
| Cuadro 26 | Resultados de la prueba de arena para filtrado de las excavaciones realizadas localmente | 101 |
| Cuadro 27 | Contenido de las obras a cargo de la República de Guatemala para cada uno de los sistemas | 133 |
| Cuadro 28 | Gama de instalaciones a cargo del Gobierno del Japón en cada uno de los sistemas | 134 |
| Cuadro 29 | Lista de materiales y recursos principales a adquirir | 138 |
| Cuadro 30 | Calendario de obras en cada año | 140 |
| Cuadro 31 | Costo de las obras a cargo de la República de Guatemala | 142 |
| Cuadro 32 | Resultados y mejoramiento de la situación actual a la finalización del proyecto | 144 |
| Cuadro 33 | Cambios en la producción de agua promedio | 145 |

Lista de Figuras

| | página |
|---|--------|
| Figuras 1 Zonas servidas por EMPAGUA | 7 |
| Figuras 2 Mapa de suministro de agua de la ciudad de Guatemala | 8 |
| Figuras 3 Mapa de instalaciones del estudio y zonas de captación | 14 |
| Figuras 4 Plano de las instalaciones de la planta de tratamiento de agua | 20 |
| Figuras 5-1 Estructura de sistema existente de Las Ilusiones | 21 |
| Figuras 5-2 Estructura de sistema existente de Santa Luisa | 22 |
| Figuras 5-3 Estructura de sistema existente de El Cambray | 23 |
| Figuras 6 Estructura del pulsador | 25 |
| Figuras 7 Condición geológica de la planta de tratamiento de Santa Luisa | 43 |
| Figuras 8 Condición geológica de la planta de tratamiento de El Cambray | 44 |
| Figuras 9 Organigrama de EMPAGUA | 62 |
| Figuras 10 Superintendencia Las Ilusiones - Santa Luisa - El Cambray | 63 |
| Figuras 11 Dispositivo de centrifugado | 96 |
| Figuras 12 Estructura administrativa a cargo de las obras | 131 |
| Figuras 13 Plan de avance de las obras | 141 |
| Figuras 14 Variaciones en la producción de agua en relación con el nivel de lluvias | 147 |

CAPITULO 1 GENERALIDADES

CAPITULO 1 GENERALIDADES

La ciudad de Guatemala es la capital de la República de Guatemala y en 1991 tenía una población de más de 2.100.000 personas. En los últimos años la emigración interna proveniente de las ciudades del interior y del campo alcanzó a cifras que superaron las 200.000 personas al año. Esto significa que la demanda de agua potable ha crecido vertiginosamente y, actualmente, el agua potable se obtiene de 6 plantas de tratamiento del agua y 30 grupos de pozos pero la calidad del agua de las distintas fuentes ha ido empeorando. A ello se le suma la frecuente falta de suficiente volumen de agua y la antigüedad de las instalaciones de tratamiento de agua existentes que hacen que, en estos momentos, haya una demanda insatisfecha que alcanza al 30% del total.

Para solucionar de raíz el problema de la falta de agua potable de la ciudad de Guatemala, el Gobierno de la República de Guatemala utilizó las cifras del Plan Maestro preparado en 1982 para proponer un Proyecto que satisfaga una demanda de agua de una población de 1.070.000 habitantes a base de 346.000 m³/día (4,0 m³/seg.).

Por otro lado, el Gobierno de la República de Guatemala, al mismo tiempo de desarrollar las fuentes de agua se propone mejorar el volumen del suministro de agua de la forma más eficiente posible, solucionando así el problema de la contaminación del agua que puede procrear y transmitir enfermedades contagiosas y mejorando las condiciones higiénicas. Para ello, será necesario mejorar, urgentemente, la calidad del agua tratada. De las 6 plantas de tratamiento de agua existentes, las que tienen un desequilibrio de demanda más grande con respecto a las zonas a las que abastecen de agua son Las Ilusiones, Santa Luisa y El Cambray. El presente proyecto tiene como fin rehabilitar estas 3 plantas de tratamiento de agua existentes, para lo cual se ha solicitado la Cooperación Financiera no Reembolsable del Gobierno del Japón.

En base a esta solicitud, el Gobierno del Japón decidió enviar una Misión de Estudio Preliminar a la República de Guatemala, a cargo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), entre el 10 de abril y el 2 de mayo de 1993, nombrando como líder de la Misión al Jefe de la sección de Evaluación del departamento de estudios del sistema de Cooperación Financiera no Reembolsable el Sr. Katsuhiko Oshima. Además de comprobar el cumplimiento de las condiciones para la Cooperación Financiera no Reembolsable de la solicitud presentada, se ha investigado el Plan de obras y la estructura administrativa de las autoridades respectivas para definir el alcance y dimensiones más efectivas de la Cooperación y realizar un análisis que permita proyectar el contenido del Diseño Básico. Todos estos detalles fueron descritos en el informe del estudio preliminar.

El Gobierno del Japón analizó el informe del estudio preliminar y se decidió llevar a cabo el Estudio del Diseño Básico para el presente Proyecto. La Agencia de Cooperación Internacional de Japón nombró como líder de la Misión al Sr. Hidetoshi Ishioka de la Primera división de Estudios del Diseño Básico, departamento de Estudios y Diseños para la Cooperación Financiera no Reembolsable de JICA. Esta misión visitó la República de Guatemala entre el 1ro. de agosto y el 9 de septiembre de 1993. La misión sostuvo discusiones con la autoridad a cargo de las obras por parte del Gobierno de la República de Guatemala, EMPAGUA y se determinaron los antecedentes del Proyecto, el contenido de la solicitud, la estructura administrativa del organismo a cargo de las obras, estudio tecnológico y estudio de las condiciones naturales y sociales, estudio de las instalaciones existentes, estudio de otros Proyectos relacionados al presente proyecto, estudio de la calidad del agua, y estudio de las condiciones del diseño de las instalaciones correspondientes al presente proyecto incluyendo un estudio con mediciones topográficas del terreno proyectado para las instalaciones y perforaciones para un estudio geológico del suelo y se recopiló todo el material de referencia necesario para dichos estudios. También se estudiaron los proyectos de SEGEPLAN, el organismo gubernamental del Gobierno de la República de Guatemala a cargo de confeccionar los planes, para definir el alcance y dimensiones del proyecto solicitado. En base a estos antecedentes, se estudió el funcionamiento de las instalaciones existentes y se prepararon Notas Técnicas sobre el alcance y contenido de las obras a realizar para la rehabilitación de las instalaciones, discutiéndose el resultado con las autoridades de EMPAGUA.

El resultado de las discusiones con EMPAGUA y SEGEPLAN se resumió en las minutas de las discusiones, firmadas por los representantes de las tres partes: EMPAGUA, SEGEPLAN y de la Misión de Estudio. Los miembros de la Misión de Estudio, el calendario de actividades del estudio de la Misión, la lista de autoridades, las minutas de las discusiones, las notas técnicas, la lista de datos recopilados, etc. aparecen en el "Material de referencia" en el apéndice al final del informe.

Al regreso de la Misión al Japón, se analizó la información y material de referencia, el contenido de los estudios en la República de Guatemala, el contenido de las discusiones, y se determinó la conveniencia de la Cooperación Financiera para el presente proyecto así como la escala y contenido de las instalaciones de suministro de agua objeto del Diseño Básico. Entre el 27 de noviembre y el 6 de diciembre saldrá una misión que tiene como líder al Sr. Yuzuru Asakura, Primera División del Estudio del Diseño Básico, Cooperación Financiera no Reembolsable y Departamento de Diseño, JICA para explicar y discutir el contenido del Borrador Final del Informe con las autoridades de la República de Guatemala.

El presente informe ha pasado por los procedimientos mencionados previamente y sirve como resumen del contenido del Diseño Básico.

CAPITULO 2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

CAPITULO 2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1 Aspectos generales de las instalaciones de agua potable de la ciudad de Guatemala

2.1.1 Aspectos generales de las instalaciones y equipos de agua potable

La ciudad de Guatemala forma parte de un centro metropolitano social y económicamente unido a las 5 ciudades periféricas de Mixco, Villa Nueva, Petapa, Santa Catalina Pinula, Villa Canales y una parte de la ciudad de Chinautla. El agua potable de la zona metropolitana capitalina está siendo suministrado por EMPAGUA, MARISCAL (empresa privada de suministro de agua), BANVI (Banco de Viviendas), empresas constructoras privadas, las Fuerzas Armadas, las escuelas, que tienen sus propias instalaciones públicas de suministro de agua potable.

EMPAGUA suministra, hoy día, 1993, agua potable al 50% de la población metropolitana de 2.100.000 habitantes, es decir a unas 1.070.000 personas (140.000 núcleos habitacionales o comerciales e industriales). La zona suministrada cubre una superficie de 470 km² tal como aparece en la figura 1 y abarca las 6 ciudades periféricas además de la ciudad de Guatemala. El suministro de agua se compone de 6 sistemas y de aproximadamente 30 pozos en el centro urbano, y proporciona aproximadamente 255.000 m³ de agua por día. MARISCAL suministra agua al 4,5% de la población, a unas 10.000 familias y produce aproximadamente 20.000 m³ de agua por día. La demanda de agua en el total de las zonas suministradas por EMPAGUA es de 346.000 - 389.000 m³ de agua por día, por lo cual hay un faltante de 27 - 35% de demanda insatisfecha. Especialmente en las zonas 17, 18, el aumento explosivo de la población hace que haya una gran escasez en el suministro de agua y se debe proceder a cortes en el suministro de agua o a suministrar el agua día por medio pero esto ha provocado protestas masivas por parte de la población exigiendo un mejor suministro del agua y esta falta de agua se ha convertido en un grave problema social.

El cuadro 1 muestra el sistema de suministro existente de EMPAGUA, población que recibe el servicio y su división por zonas y la figura 2 muestra la ubicación de las instalaciones de agua potable existentes.

Cuadro 1 Sistema de suministro existente y su clasificación por capacidad de suministro de agua con respecto a la población a la que se da el servicio

| No. | Sistema de suministro de agua | Fuente de agua | Volumen de agua suministrada | | Zonas servidas | Población que recibe el servicio | Consumo l/persona/día |
|-------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | | | m ³ /día | % | | | |
| 1 | El Cambray | Agua superficial | 11.000 | 4 | 10, 14, 15 | 42.758 | 250 |
| 2 | Santa Luisa | Agua superficial, pozos | 25.700 | 10 | 1, 2, 4, 5, 9, 10, 16, 17 | 106.896 | 240 |
| 3 | Ilusiones | Agua superficial | 20.400 | 8 | 17, 18 | 211.362 | 100 |
| 4 | Brigada | Agua superficial | 6.700 | 3 | 7, 11, 19 | 707.984 | 280 |
| 5 | Ojo de Agua | Pozos | 63.200 | 25 | 1, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 21 | | |
| 6 | Lo de Coy | Agua superficial | 101.100 | 40 | 1, 2, 3, 7, 8, 11, 12, 13, 19 | | |
| 7 | Pozos | Pozos | 26.900 | 10 | Todas las zonas | | |
| Total | | | 255.000 | 100 | | 1.069.000 | Promedio 240 |

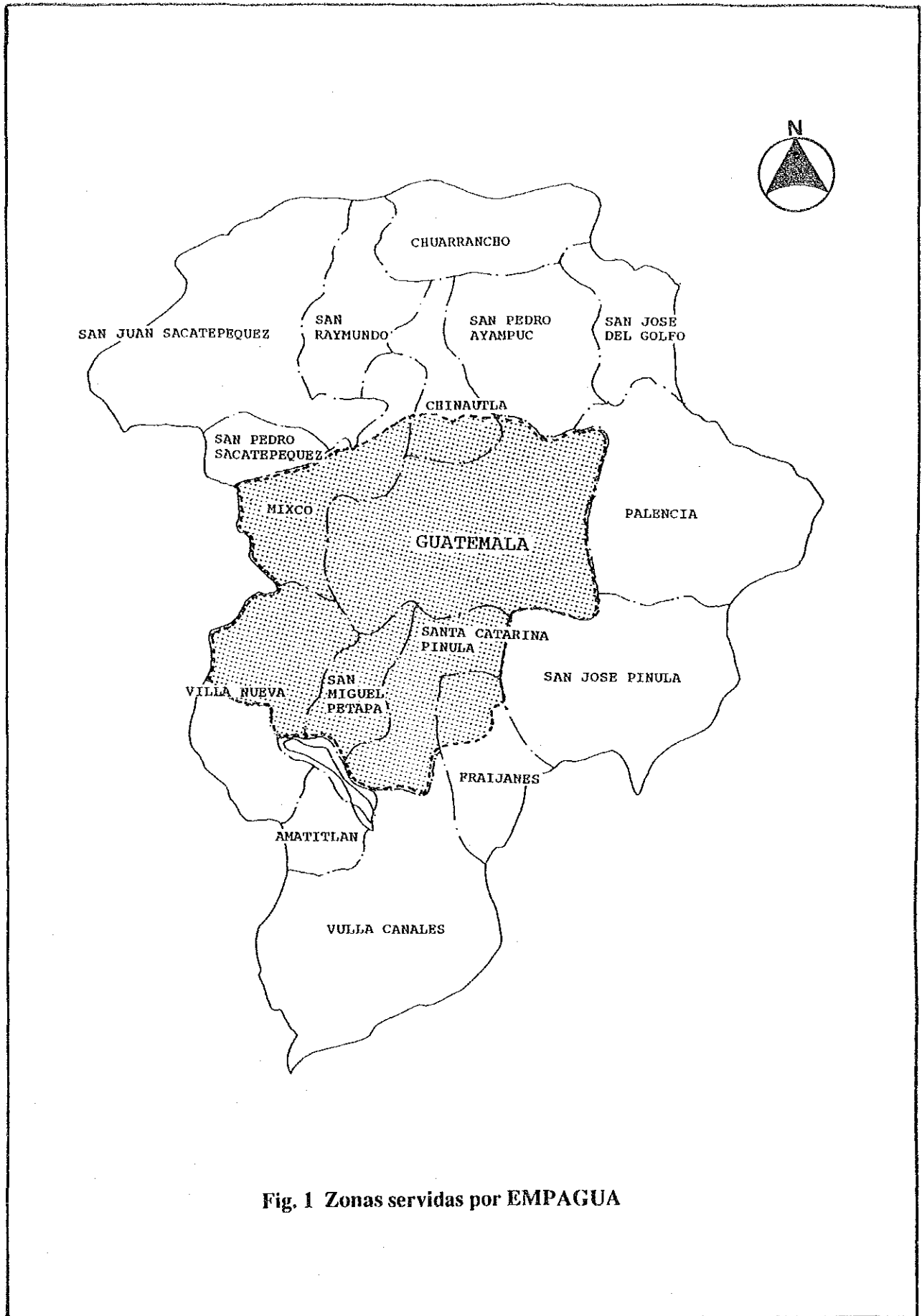
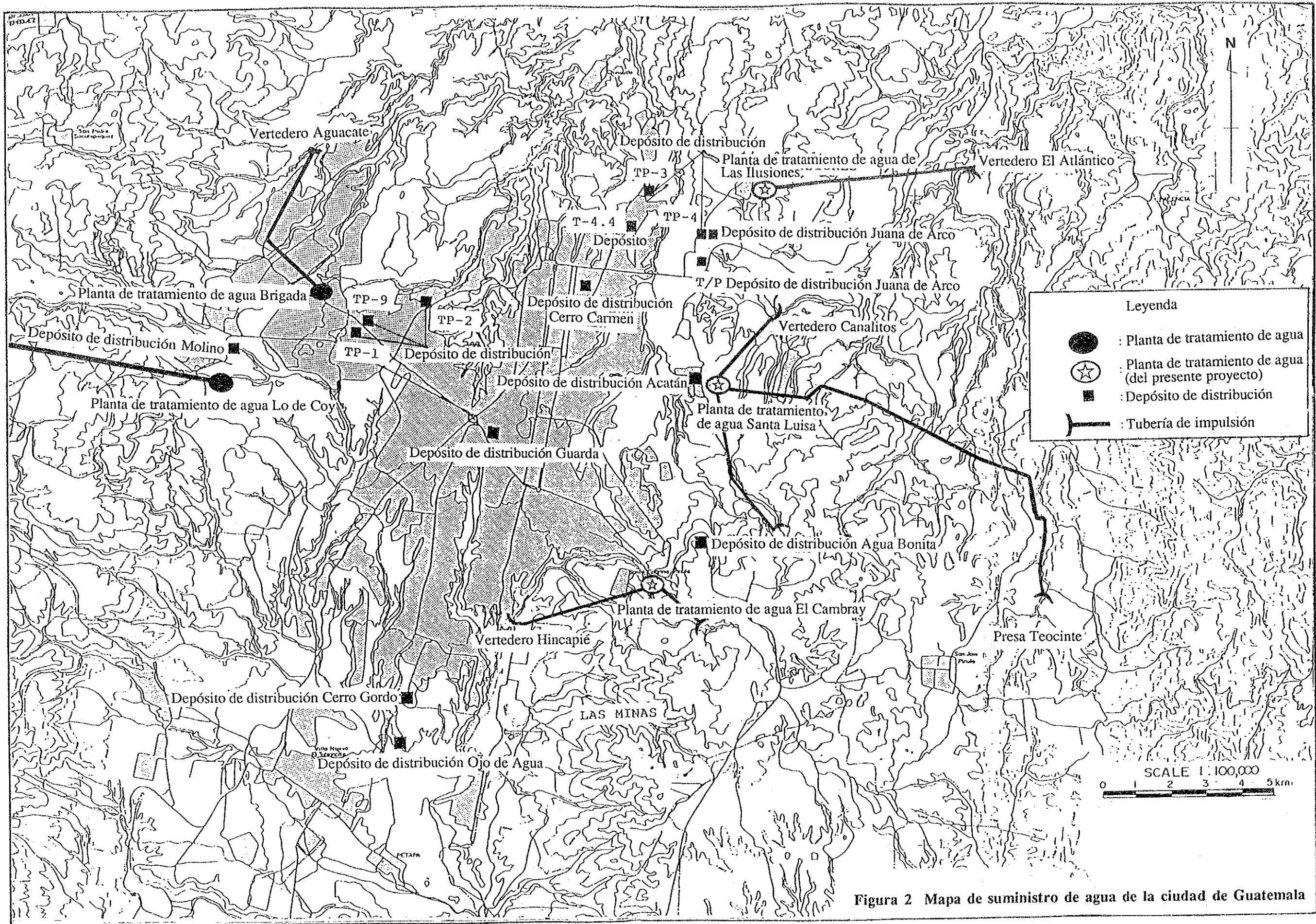


Fig. 1 Zonas servidas por EMPAGUA



Leyenda

- : Planta de tratamiento de agua
- ☆ : Planta de tratamiento de agua (del presente proyecto)
- : Depósito de distribución
- : Tubería de impulsión

SCALE 1:100,000
0 1 2 3 4 5 km.

Figura 2 Mapa de suministro de agua de la ciudad de Guatemala

