

Costo del tratamiento de potabilización de las
aguas servidas de Comalapa

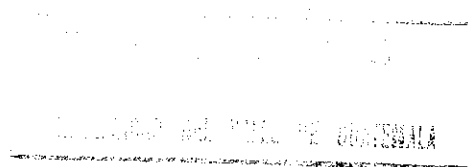
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Costo del tratamiento de potabilización de las
aguas servidas de Comalapa

Héctor Homero Juárez Gil



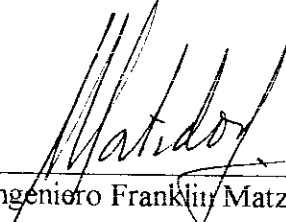
Trabajo de investigación presentado para optar al grado
académico de Licenciado en Ingeniería Civil

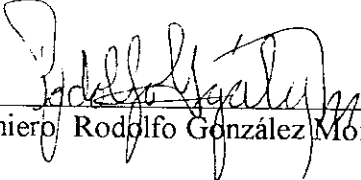
Guatemala
2000

Vo. Bo.:

(f) _____
Ingeniero Rafael Girón Méndez

Tribunal:

(f) 
Ingeniero Franklin Matzdorf

(f) 
Ingeniero Rodolfo González Morázo

(f) _____
Ingeniero Rafael Girón Méndez

Fecha de aprobación: 30 de octubre de 2000.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| <i>RESUMEN.</i> | X |
| <i>I. INTRODUCCIÓN.</i> | |
| A. Antecedentes. | 1 |
| B. El problema. | 1 |
| C. Hipótesis. | 2 |
| D. Justificación. | 2 |
| E. Objetivos. | 2 |
| F. Limitaciones. | 3 |
| <i>II. CALIDAD DE AGUA.</i> | |
| A. Agua potable. | 4 |
| 1. Características físicas. | 4 |
| 2. Características químicas. | 6 |
| 3. Características biológicas. | 8 |
| B. Aguas Residuales. | 10 |
| 1. Características físicas. | 11 |
| 2. Características químicas. | 12 |
| 3. Características biológicas. | 14 |
| 4. Parámetros de calidad de las aguas residuales. | 15 |
| C. Métodos de disposición de efluente. | 17 |
| 1. Disposición por irrigación y campos de riego. | 17 |
| 2. Disposición por dilución. | 17 |
| 3. Condiciones sanitarias para aguas receptoras. | 18 |
| <i>III. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.</i> | |
| A. Medidor de gasto. | 21 |
| B. Aeración. | 21 |
| C. Coagulación. | 22 |
| 1. Agregado de agentes químicos. | 22 |

| | |
|--|----|
| 2. Mezcla o difusión. | 23 |
| 3. Floculación. | 23 |
| D. Sedimentación. | 24 |
| 1. Predecantor. | 25 |
| 2. Desarenador. | 25 |
| 3. Sedimentador. | 26 |
| E. Filtración. | 26 |
| 1. Filtros lentos. | 26 |
| 2. Filtros rápidos. | 27 |
| F. Ablandamiento. | 28 |
| 1. Método de precipitación. | 28 |
| 2. Método de permutación iónica. | 28 |
| G. Estabilización del agua. | 29 |
| 1. Control de los iones de hidrógeno. | 30 |
| 2. Control del bióxido de carbono. | 30 |
| 3. Recubrimientos protectores. | 30 |
| H. Desinfección del agua. | 30 |
| I. Control de olor y sabor. | 31 |
| 1. Método preventivo. | 31 |
| 2. Método Correctivo. | 32 |
| J. Fluoración. | 32 |
| K. Eliminación de hierro y manganeso del agua. | 32 |
| 1. Proceso de ablandamiento con cal. | 33 |
| 2. Proceso de oxidación. | 33 |
| IV. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. | |
| A. Tratamiento primario. | 34 |
| 1. Rejas. | 35 |
| 2. Desarenadores. | 36 |
| 3. Tanques separadores de grasas. | 36 |
| 4. Preairación. | 36 |
| 5. Floculación. | 37 |

| | |
|--|----|
| 6. Sedimentador primario. | 37 |
| B. Tratamiento secundario. | 38 |
| 1. Áreas de riego. | 38 |
| 2. Filtros intermitentes de arena. | 38 |
| 3. Filtros percoladores. | 39 |
| 4. Lagunas de estabilización. | 40 |
| C. Tratamiento de lodos. | 40 |
| 1. Digestión de lodos. | 41 |
| 2. Secado de lodos. | 43 |
| <i>V. ACUEDUCTO NACIONAL XAYÁ – PIXCAYÁ.</i> | |
| A. Poblaciones a servir. | 45 |
| B. Captaciones. | 45 |
| C. Conducción. | 47 |
| D. Plantas de purificación. | 48 |
| E. Redes de distribución. | 49 |
| F. Plantas hidroeléctricas. | 49 |
| G. Etapas. | 49 |
| H. Estado actual de construcción del Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá. | 50 |
| <i>VI. PLANTA LO DE COY.</i> | |
| A. Canal de entrada. | 51 |
| B. Dosificadores. | 52 |
| C. Flocladores. | 52 |
| D. Sedimentadores. | 53 |
| E. Filtros. | 54 |
| F. Lavado – sistema de recuperación. | 55 |
| G. Tanque de aguas claras. | 55 |
| H. Control de caudal de niveles. | 56 |
| I. Control de calidad. | 56 |
| <i>VII. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE COMALAPA.</i> | |
| A. Localización del municipio. | 58 |

| | |
|---|------------|
| B. Descripción de la planta. | 59 |
| 1. Canal de rejas. | 59 |
| 2. Pantalla difusora. | 60 |
| 3. Sedimentador primario. | 60 |
| 4. Filtro percolador. | 60 |
| 5. Sedimentador secundario. | 62 |
| 6. Digestor. | 62 |
| 7. Patio de lodos. | 63 |
| VIII. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. | |
| A. Consumo de agua en Comalapa. | 64 |
| 1. Caudal de agua potable y aguas residuales de Comalapa. | 64 |
| 2. Variación horaria. | 64 |
| 3. Caudal de aguas servidas por hora que se generará en Comalapa. | 68 |
| B. Parámetros de contaminación. | 69 |
| C. Características de las aguas residuales de la población de Comala. | 69 |
| D. Características de las aguas tratadas en la planta de Comalapa. | 71 |
| E. Costo de rehabilitación de la planta de aguas servidas de Comalapa. | 74 |
| F. Características de las aguas tratadas por la planta Lo De Coy. | 74 |
| G. Costo de operación de la planta Lo De Coy. | 76 |
| IX. CONCLUSIONES. | 77 |
| X. RECOMENDACIONES. | 78 |
| XI. BIBLIOGRAFÍA. | 79 |
| APÉNDICES | 81 |
| Mapas | 82 |
| Isométricas de la planta Lo De Coy | 88 |
| Fotografías de la planta de aguas servidas de Comalapa | 98 |
| Exámenes químico sanitarios y bacteriológico del agua que | |
| Ingresa a la planta Lo De Coy | 106 |

Resumen

La planta de aguas residuales de Comalapa se construyo para que operara continuamente (24 horas), pero debido a los bajos fondos asignados por la municipalidad de Comalapa a la planta, está solo operaba ocho horas diarias.

En este trabajo se trato de concluir si, el hecho que la planta de aguas residuales de Comalapa operara continuamente influiría en la calidad de las aguas que llegara a la planta de purificación de aguas Lo De Coy, y que si con ellos se reducirían los costos de su operación.

Originalmente éste trabajo constaría de una parte teórica, donde se definirían las características del agua potable, las características de las aguas residuales, los procesos que se llevan a cabo en una planta de purificación de agua y los procesos que se realizan en una planta de aguas residuales. Y una parte practica en donde se realizarían mediciones de los índices de contaminación en la entrada y salida de la planta de aguas residuales de Comalapa y en la entrada de la planta Lo De Coy, para con la información obtenida del análisis los índices de contaminación emitir las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Debido a los daños causados por las lluvias de los inviernos de 1998 y 1999 (Huracán Mitch) la planta de aguas residuales de Comalapa dejo de operar, por lo que no fue posible realizar las mediciones de los índices. Por lo que se usaron los datos más recientes que se obtuvieron, siendo estos los del muestreo realizado por el Ingeniero Eduardo Gaspar Dieguez González en el año 1996. Con estos datos se realizaron los análisis de los índices de contaminación se concluyo que el mejoramiento y funcionamiento continuo (24 horas) de la planta de aguas residuales de Comalapa no afecta la calidad del agua que llega a la planta Lo De Coy.

LISTA DE CUADROS

| Tabla | Página |
|--|--------|
| 2.1 Límites máximos admisibles y permisibles de sustancias minerales. | 6 |
| 2.2 Límite máximo permisible de sustancias minerales. | 7 |
| 2.3 Valores promedio máximos de fluoruros presentes en el agua. | 7 |
| 2.4 Número de muestras mensuales mínimo a tomar. | 9 |
| 2.5 Cantidad letal de sulfato de cobre para microorganismos. | 11 |
| 4.1 Comparación de rejillas según su forma de limpieza. | 35 |
| 5.1 Poblaciones consideradas en la planeación del Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá. | 46 |
| 7.1 Granulometría de los filtros. | 62 |
| 8.1 Variación horaria en porcentaje del consumo medio. | 65 |
| 8.2 Tabla de consumos acumulados de la población de Comalapa. | 66 |
| 8.3 Tabla del efluente acumulado en la población de Comalapa. | 68 |
| 8.4 Resultados del muestreo en la planta de Comalapa. | 69 |
| 8.5 Variación en los índices de contaminación. | 70 |
| 8.6 Carga de contaminantes del agua al entrar a la planta. | 71 |
| 8.7 Carga de contaminantes del agua al salir de la planta. | 72 |
| 8.8 Eficiencia para remover la carga de contaminación. | 72 |
| 8.9 Resultados que pueden esperarse con el funcionamiento continuo de la planta. | 73 |
| 8.10 Eficiencia que podría esperarse si la planta tratara el flujo total de aguas servidas que salen de Comalapa (8 horas). | 73 |
| 8.11 Eficiencia que podría esperarse si la planta tratara el flujo total de aguas servidas que salen de Comalapa (24 horas). | 74 |
| 8.12 Costo de rehabilitación de la planta de aguas servidas de Comalapa. | 74 |
| 8.13 Costo y gastos de operación de la Planta Lo De Coy en el año 1999. | 76 |

LISTA DE GRAFICAS

| Gráficas | Página |
|---|---------------|
| 2.1 Gráfico de sólidos totales en aguas residuales. | 13 |
| 7.1 Gráfico de ubicación geográfica. | 59 |
| 7.2 Gráfico de la pianta de tratamiento de Comalapas. | 61 |
| 8.1 Curva de variación horaria. | 67 |
| 8.2 Curva del consumo acumulado. | 67 |

LISTA DE MAPAS

| Mapas | Página |
|--|---------------|
| 1 Mapa de localización del Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá en el área de la Republica de Guatemala. | 83 |
| 2 Mapa de poblaciones que servirá el Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá. | 84 |
| 3 Plano general del Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá. | 85 |
| 4 Mapa de las cuencas de los ríos del Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá. | 86 |
| 5 Mapa de la cuenca adicional del sistema del Río Pixcayá. | 87 |

LISTA DE ISOMÉTRICAS

| Isométricas | Página |
|--|--------|
| 1 Isométrica caja de canal de entrada. | 99 |
| 2 Isométrica de edificio de operaciones, canal de entrada. | 100 |
| 3 Isométrica de los floculadores. | 101 |
| 4 Isométrica de los sedimentadores. | 102 |
| 5 Isométrica de filtros. | 103 |
| 6 Isométrica del sistema de recuperación. | 104 |
| 7 Isométrica entrada a tanque de aguas claras. | 105 |
| 8 Isométrica salida de tanque de aguas claras. | 106 |
| 9 Isométrica estación de bombeo. | 107 |

I. INTRODUCCION

Los sistemas de abastecimiento de agua potable y los sistemas de alcantarillados son esenciales para el desarrollo sano de una población, la falta de ellos puede dar como resultado la proliferación de una serie de enfermedades de origen hídrico que pondrían en riesgo a la población.

Con el objetivo de evitar problemas de salubridad derivados del agua existen normas de "calidad de agua". Entre ellas se encuentran las que se deben cumplir para el consumo humano, las que se deben cumplir para las sociedades y las industrias (aguas residuales) entre otras.

En Guatemala, por la falta de legislación en este tema, las comunidades y las industrias descargan sus aguas residuales sin aplicar los tratamientos necesarios que aseguren el uso continuo y sanitariamente seguro de las aguas por las comunidades río abajo.

En las últimas décadas, los esfuerzos del gobierno de Guatemala y la comunidad internacional se han basado en la construcción de una serie de plantas de tratamiento de aguas residuales en diferentes comunidades del país. Una de esas plantas se construyó en el municipio de Comalapa, que descarga sus aguas residuales en un riachuelo afluente del río Pixcayá, cuyas aguas son utilizadas para abastecer de agua potable a la ciudad capital de Guatemala, previo al tratamiento de purificación en la planta Lo de Coy.

El presente estudio hace un análisis sobre la influencia que puede tener el tratamiento efectivo de las aguas residuales de la población de Comalapa sobre la calidad del agua que llega a la planta Lo de Coy y los costos de tratamiento de esta última.

A. Antecedentes

En la década de los 60 se empezó el estudio y construcción del Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá, cuyo objetivo era transportar las aguas de los ríos Xayá, Pixcayá y otros ríos menores a la ciudad capital de Guatemala para cumplir con las necesidades de agua potable de esta población.

En su trayecto de más de 50 kilómetros, el Acueducto Nacional Xayá – Pixcayá recorre gran parte de la cuenca del río Pixcayá, donde se encuentra ubicado el Municipio de Comalapa, a una distancia aproximada de 80 kilómetros de la Ciudad Capital de

Guatemala. En 1983 se construyó en Comalapa una planta para tratar las aguas residuales de la Cabecera Municipal antes de ser descargadas en un riachuelo afluente del río Pixcayá.

Actualmente, la planta de tratamiento de Comalapa no se encuentra funcionando por una serie de derrumbes que ocurrieron sobre algunas de sus unidades a consecuencia de los inviernos de los años 1998 (huracán Mitch) y 1999.

B. El Problema

De acuerdo con el estudio especial de maestría de el Ingeniero Eduardo Gaspar Diéguez Gonzalez sobre: La planta de aguas residuales de Comalapa (1996), la planta es insuficiente para tratar la descarga total proveniente del pueblo, además sólo funciona ocho horas al día.

Ante esta situación surgen las preguntas, si la planta trabajara las veinticuatro horas del día, ¿mejoraría la calidad de las aguas que llegan a la planta Lo de Coy? Y ¿se reduciría el costo de operación de la planta Lo de Coy?

C. Hipotesis

El funcionamiento continuo (24 horas) de la planta de tratamiento de aguas residuales de Comalapa, ayudara a mejorar la calidad del agua que llega a Lo de Coy y a reducir el costo de operación de la planta de Lo de Coy.

D. Justificación

En el presente trabajo se refuerzan, amplían y se ponen en práctica los conocimientos que se adquirieron durante la formación académica, para tratar de resolver un problema real además, se proponen mejoras en el manejo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Comalapa, para disminuir la contaminación del río Pixcayá.

Se ofrecen datos cuantitativos de una de las fuentes de contaminación ubicada dentro de la cuenca del río Pixcayá cuyas aguas abastecen a la ciudad capital de Guatemala.

E. Objetivos

1. Generales

- a. Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica hacia un problema real.
- b. Determinar los costos de reparación y operación a la fecha de la planta de tratamiento de Comalapa.
- c. Evaluar la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Comalapa.
- d. Determinar si el efluente de la planta, representa contaminación para el cuerpo receptor.

2. Especificos

- a. Determinar el caudal de efluente que se produce en el municipio de Comalapa.
- b. Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Comalapa, si esta trabaja continuamente (24 horas).
- c. Determinar la calidad del agua que llega a la planta Lo de Coy.

F. Limitaciones

Debido al estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Comalapa no nos fue posible la toma de muestras para realizar los análisis físico – químicos y exámenes microbiológicos. Por lo que tuvimos que utilizar los datos del ultimo muestreo realizado en esta planta, el cual fue hecho por el Ingeniero Eduardo Dieguez y fue analizado en los laboratorios del Instituto de Fomento Municipal (INFOM).

II. CALIDAD DE AGUA

En la actualidad, por la demanda de agua para las ciudades y sus industrias ha sido necesario buscar nuevas fuentes de agua que cumplan con las propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para sus diferentes usos. Al mismo tiempo, a las sociedades se les han impuesto normas para que éstas viertan sus aguas residuales a los diferentes cuerpos receptores con una calidad aceptable para que dichos cuerpos se puedan volver a utilizar en el futuro.

El concepto de calidad de agua abarca todo lo anterior; es decir, lo referente a las normas y propiedades para obtener agua potable y los requerimientos de calidad para poder regresar a los cuerpos de aguas las aguas negras. A continuación se presentan las normas y propiedades que debe tener el agua potable, las aguas residuales y las aguas receptoras.

A. Agua potable

Fair y Geyer (1979,45) definen el agua potable como “Pura y de buen sabor, por lo tanto debe de encontrarse libre de organismos patógenos; de sustancias venenosas o fisiológicamente indeseables; y por otra parte debe de ser atractiva a los sentidos”.

De la definición anterior de agua potable se puede concluir que para que el agua sea considerada potable debe de tener ciertas características físicas, químicas y biológicas.

1. Características físicas

Las características físicas son las que más impresionan al consumidor; sin embargo, no son de gran importancia desde el punto de vista sanitario, “el agua puede ser impotable sin ser insípida e insípida sin ser impotable” (Fair y Geyer,1979,48). Para que el agua sea atractiva a los consumidores debe cumplir con las siguientes propiedades físicas: **color, turbiedad, olor, sabor y temperatura.**

a. **Color** El color del agua es causado generalmente por la presencia de materias en estado de solución o coloidal tales como: sales de hierro y manganeso, materiales coloidales de naturaleza orgánica, algas microscópicas, tierra arcillosa, residuos industriales, etc. En el color debe distinguirse:

- **Color real o verdadero:** Es el producido por las sustancias en solución solamente.

- **Color aparente o total:** Este incluye además del color real, el producido por sustancias en suspensión.

Por definición se comprende que el color real sólo puede ser removido por procesos químicos, mientras que parte del color aparente puede ser removido por procesos físicos. El color del agua se determina por comparación según la escala de platino-cobalto, que toma como unidad de color la producida por 1 mg de platino (en forma de ión cloro-platinado) por litro de agua. El límite máximo aceptable es de 5 p.p.m, mientras que el límite máximo permisible es de 50 p.p.m. según Norma COGUANOR NGO 29 0001-4.1.

b. **Turbiedad:** Se define como la resistencia del paso de la luz a través del agua, su origen es de materias en suspensión, como arcilla y otras sustancias inorgánicas finamente divididas y organismos microscópicos. Ésta se mide por el método nefelométrico, la medición se realiza haciendo pasar un rayo de luz a través de la muestra. Las partículas que constituyen la turbiedad dispersan parte del rayo de luz. La luz dispersada en ángulos rectos tiene una intensidad que es proporcional a la turbiedad, la turbiedad del agua se expresan en unidades nefelométricas de turbiedad (Unt). Según la norma COGUANOR NGO 29 001-4.1 El límite máximo aceptable es de 5 Unt y el límite máximo permisible es 25 Unt.

c. **Olor y Sabor:** La clasificación del término “olor” se utiliza para describir las características del agua que pueden afectar los sentidos de olfato y gusto. Los olores y sabores están asociados con: materia orgánica en descomposición, algas y otros organismos microscópicos que contienen aceites y otros compuestos olorosos, residuos industriales particularmente sustancias fenólicas, olores causados por gases tales como amoníaco, que se forman de la descomposición de las proteínas, cloro y otras sustancias desinfectantes.

El olor en el agua se mide por medio del “ensayo del olor incipiente”. Éste consiste en diluir el agua hasta que el olor desaparezca. Así, si se diluye 25 c.c. de agua con olor en agua sin olor hasta obtener 250 c.c., el olor incipiente es 10. El agua potable no debe tener olor y sabor que desagraden al consumidor.

d. **Temperatura:** Decía Hipócrates (Fair y Geyer, 1979, 53) “Las mejores aguas son aquellas templadas en invierno y frías en verano”, la temperatura del agua en verano debe ser inferior a la temperatura ambiente y en invierno debe ocurrir lo contrario. Se estima que una temperatura entre 5° y 15° C, es agradable al paladar.

2. Características químicas

El agua en estado natural posee, sustancias en solución que provienen del contacto de esta con los suelos, gases y otros elementos que le dan el carácter de solvente casi universal. Por esta característica; el agua para consumo puede llegar a contener sustancias, que en grandes cantidades, pueden llegar a ser tóxicas para el hombre, o bien, producir una mineralización excesiva del agua que puede darle propiedades poco deseables (dureza).

Las sustancias minerales contenidas en el agua, deben quedar comprendidas entre los límites máximos aceptables para que el agua no sea rechazada por los consumidores, y dentro de los límites máximos permisibles para no causarles daño.

Tabla 2.1

Límites Máximos admisibles y permisibles de sustancias minerales

| Substancia | Limite máximo Admisible | Limite máximo permisible |
|--|-------------------------|--------------------------|
| Detergentes aniónicos | 0.20 p.p.m. | 1.00 p.p.m. |
| Aluminio (Al) | 0.50 p.p.m. | 0.10 p.p.m. |
| Bario (Ba) | -.-. | 1.00 p.p.m. |
| Boro (B) | -.-. | 1.00 p.p.m. |
| Calcio (Ca) | 75.00 p.p.m. | 200.00 p.p.m. |
| Cinc (Zn) | 5.00 p.p.m. | 15.00 p.p.m. |
| Cloruro (Cl ⁻) | 200.00 p.p.m. | 600.00 p.p.m. |
| Cobre (Cu) | 0.05 p.p.m. | 1.50 p.p.m. |
| CaCO ₃ | 100 p.p.m. | 500 p.p.m. |
| Fluoruro (F ⁻) | -.-. | 1.70 p.p.m. |
| Hierro (Fe) | 0.10 p.p.m. | 1.00 p.p.m. |
| Magnesio (Mg) | 50.00 p.p.m. | 150 p.p.m. |
| Manganeso (Mn) | 0.05 p.p.m. | 0.50 p.p.m. |
| Niquel (Ni) | 0.01 p.p.m. | 0.02 p.p.m. |
| Substancias fenólicas | 0.001 p.p.m. | 0.002 p.p.m. |
| Sulfato (SO ₄ ⁻²) | 200.00 p.p.m. | 400.00 p.p.m. |

COGUANOR NGO 29 001-4.2

Tabla 2.2

Límite Máximo permisible de sustancias minerales

| Substancia | Límite máximo permisible |
|----------------------------|---------------------------------|
| Arsénico (As) | 0.05 p.p.m. |
| Cadmio (Cd) | 0.10 p.p.m. |
| Cianuro (Cn) | 0.05 p.p.m. |
| Cromo (Cr) | 0.05 p.p.m. |
| Mercurio (Mg) | 0.002 p.p.m. |
| Nitrato (NO ₃) | 45.00 p.p.m. |
| Nitrito (NO ₂) | 0.10 p.p.m. |
| Plata (Ag) | 0.50 p.p.m. |
| Plomo (Pb) | 0.10 p.p.m. |
| Selenio (Se) | 0.01 p.p.m. |

COGUANOR NGO 29 001-4.5

Los valores promedio máximos que se pueden aceptar de fluoruros naturalmente presentes en el agua, no deben exceder los mostrados en la tabla 2.3; el doble de los valores óptimos en el agua es una base para el rechazo del suministro.

Tabla 2.3

Valores promedio máximos de fluoruros presentes en el agua

| Temperaturas máximas en el aire en °C | Limites de Control recomendados en la concentración de fluoruros, p.p.m. | | |
|--|---|---------------|-----------------|
| | Inferior | Optimo | Superior |
| 10.0 – 12.0 | 0.9 | 1.2 | 1.7 |
| 12.1 – 14.5 | 0.8 | 1.1 | 1.5 |
| 14.6 – 17.6 | 0.8 | 1.0 | 1.3 |
| 17.7 – 21.4 | 0.7 | 0.9 | 1.2 |
| 21.5 – 26.3 | 0.7 | 0.8 | 1.0 |
| 26.4 – 32.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |

* Basado en datos de temperaturas, obtenidos para un mínimo de 5 años
COGUANOR NGO 29 001-4.3

La dureza del agua (Contenido de Ca, Mg y Fe) no debe exceder 300 p.p.m., esta norma tiene un mayor significado desde el punto de vista industrial que desde el punto de vista sanitario, esto se debe a que algunos procesos industriales requieren una baja concentración de sustancias en solución, de lo contrario los costos de operación aumentan, o el equipo puede ser afectado por procesos corrosivos.

En conclusión, el análisis químico desde el punto de vista de potabilidad del agua se hace por dos razones fundamentales: Determinar que la concentración de los constituyentes químicos está conforme a las normas, y determinar la presencia de varios productos de nitrógeno y relacionarlo con la contaminación de materia orgánica.

3. Características Biológicas

De todas las características que debe de tener el agua potable, la biológica es la más importante desde el punto de vista sanitario. Los organismos microscópicos presentes en el agua pueden ser muy variados, dependiendo del origen de las aguas (fuentes superficiales o subterráneas) o de las condiciones del medio donde sufren su ciclo hidrológico.

Las algas, protozoarios, virus y bacterias, son los organismos mayormente presentes en las aguas en estado natural, la presencia de estos organismos, provoca malos sabores, olores, turbiedad y pueden causar enfermedades de origen hídrico como: cólera, fiebre tifoidea, paratifoidea, infecciones E. Coli, hepatitis infecciosa, amebas, etc.

Por lo que para considerar el agua sanitariamente potable ésta debe estar exenta de gérmenes patógenos.

a. **Bacterias Patógenas:** Los organismos que provocan enfermedades como la fiebre tifoidea, paratifoidea, cólera, disentería se encuentran en aguas contaminadas con excretas humanas o de animales. Hoy en día no existe un procedimiento que indique con facilidad si el agua estudiada está o no infectada con estos organismos, pero sí se puede definir si ha sido infectada con descargas intestinales.

Para determinar la calidad sanitaria del agua, es necesario determinar la presencia del grupo coliforme, el que representa la contaminación fecal y, por ende, la posibilidad de que en el agua estudiada se encuentren organismos patógenos.

Al realizar una prueba bacteriológica al agua estudiada, cuatro son los requisitos fundamentales para que los resultados de esa prueba sean válidos: Las muestras deben

recogerse en forma correcta, el número de muestras tomadas debe estar en proporción al tamaño de la población servida (los números mensuales mínimos de muestras aparecen en la tabla 2.4), las muestras deben reflejar la calidad real de las agua entregadas a los consumidores, y los análisis tendrán que ser realizados por servicios estatales de sanidad o por laboratorios competentes y, de acuerdo a las técnicas y normas vigentes.

Tabla 2.4
Número de muestras mensuales mínimo a tomar

| Poblacion Servida (Miles) | No. Muestras Por mes |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 - 2 | 2 |
| 10 | 12 |
| 50 | 50 |
| 100 | 95 |
| 900 | 300 |
| 2000 | 400 |
| 4500 | 500 |

(Fair y Geyer)

Según las normas de COGUANOR NGO 29 001-5, para que el agua en estudio pueda considerarse bacteriológicamente segura debe cumplir con las siguientes especificaciones, de acuerdo con las técnicas de número más probable (NMP), filtro de membrana (FM).

- Cuando se examinen muestras de cinco tubos conteniendo muestras de 10 cm³ cada uno, no mas del 10% de las muestras mensuales deben mostrar presencia del grupo coliforme. No es aceptable el agua que muestre su presencia en tres o más porciones en los siguiente casos:

- Dos muestras consecutivas
- Más de una muestra cuando se examinen menos de 20
- Más del 5% cuando se examinan más de 20 muestras

- Cuando se examinen muestras compuestas por cinco tubos cada una, conteniendo 100 cm³ cada tubo, no más del 60% de ellas deben mostrar presencia del grupo coliforme. No es aceptable el agua que muestre su presencia en todos los tubos de la muestra, en los siguientes casos:

- Dos muestras consecutivas.
- Más de una muestra cuando se examinan menos de cinco.
- Más del 20% de las muestras cuando se examinan más de cinco.

– Cuando se usa la técnica de la membrana filtrante, la densidad aritmética media de los coliformes para todas las muestras no debe exceder del 1 por 100 cm³. Además, las colonias de coliformes por muestra no deben exceder de 3 por 50 cm³, 4 por 100 cm³, 7 por 200 cm³ ó 13 por 500 cm³, en los siguientes casos:

- Dos muestras consecutivas
- Más de una muestra cuando se examinan menos de 20
- Más del 5% cuando se examinan más de 20.

b. **Otros Microorganismos:** Las algas, protozoarios y hongos pueden darle al agua características poco deseables como olor, sabor y turbiedad. De todos estos microorganismos las algas son las que se presentan con mayor frecuencia. Los métodos más importantes para controlar su crecimiento en las aguas son: el uso de sales de cobre, en proporciones que dependen del tipo de alga y su sensibilidad; y la aplicación de cloro en cantidades también variables.

En la tabla 2.5 se indicara la cantidad letal para diferentes tipos de microorganismos.

B. Aguas residuales

Las aguas residuales, también conocidas como aguas negras, son de origen doméstico, industrial y comercial. Se pueden definir como “las aguas ya utilizadas” más un porcentaje variable de agua de lluvia que puede unirse a ellas por el sistema de recolección de aguas usadas o por infiltración.

Las aguas residuales son, en general, 99.9% agua con sólidos en suspensión y solución que le comunican propiedades determinantes.

Los sólidos presentes en las aguas residuales provienen de los servicios sanitarios y domésticos y, otros muchos, provenientes de las industrias. Entre estos sólidos se encuentran: papeles, corteza de frutas, heces fecales, semillas, piedras, etc. Algunos de estos sólidos de origen orgánico tienden a descomponerse.

Tabla 2.5

Cantidad letal de sulfato de cobre para microorganismos

| Microorganismos | Sulfato de cobre p.p.m. | Cloro p.p.m. |
|--|------------------------------------|-------------------------|
| Cianofíceas; Oscillatoria | 0.2 | 1 |
| Clorofíceas; Anabaena | 0.1 | 0.5 - 1.0 |
| Espirogia; Volvox Conferva | 0.25 1 | 0.3 - 1.0 |
| Diatomáceas; Asterionela Melosira Navícula | 0.1 0.3 0.07 | 0.5 - 1.0 2 |
| Protozoarios Euglena Sinura | 0.5 0.1 | |

Abastecimiento de agua y alcantarillados
(Gustavo Rivas Mijares)

Dependiendo del uso del agua (doméstico, industrial, etc.) las concentraciones de la materia putrefactas pueden variar y con ello sus características. Esto determina y diferencia las aguas residuales, por su mayor o menor concentración, en fuertes y débiles, teniendo las primeras una mayor concentración de materia putrefacta. Debido a la gran variedad de desechos que se vierten en las aguas residuales es demasiado difícil enumerar todas las características que éstas pueden tener por lo que se realizan pruebas para determinar las características que tienden a afectar mayormente el medio en donde estos líquidos se dispondrán.

1. Características físicas

Las aguas residuales contienen generalmente una proporción inferior al 0.1%

(1000 p.p.m.) de sólidos totales, provenientes de los minerales originalmente presentes en el agua, más las sustancias orgánicas e inorgánicas provenientes del uso de ella y de los residuos industriales. Los sólidos presentes en las aguas residuales, no importando su origen pueden ser clasificados en: sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

Los sólidos suspendidos son aquellos que quedan retenidos en el papel filtro, estos se clasifican a su vez en sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

Los sólidos filtrables son aquellos que pasan a través del papel filtro y estos se clasifican en sólidos coloidales y en sólidos en disueltos.

Según los estudios de Metcalf y Eddy (1981,42) en el gráfico 2.1 se encuentran las condiciones físicas de los principales constituyentes de aguas residuales domiciliarias de concentración media.

2. Características químicas

Las aguas residuales contienen sustancias de origen vegetal, animal y mineral.

Las sustancias de origen mineral en las aguas residuales son de menor consecuencia que las de origen orgánico. Las dos primeras constituyen las sustancias orgánicas, que corresponde aproximadamente al 50 % de los sólidos. Entre las sustancias orgánicas presentes pueden citarse: proteínas, carbohidratos, grasas y otros productos en descomposición.

a. **Las proteínas** son los principales constituyentes de los animales y las plantas.

De estructura compleja e inestable, algunas de ellas son solubles en agua. Los principales compuestos de las proteínas son: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (en proporción que oscila por el 16%), también compuestas aunque en menor proporción de azufre, fósforo y hierro. La descomposición de las proteínas da origen a: anhídrido carbónico, ácidos grasos, aminas e hidrocarburos. Las proteínas y la urea son las principales fuentes de nitrógeno en las aguas residuales.

b. **Los carbohidratos** se encuentran en las aguas servidas como azúcar, almidones, celulosa y fibra de madera. Algunos carbohidratos como los azúcares son muy solubles en agua, mientras, otros, como los almidones son insolubles. El alcohol y el anhídrido carbónico son productos de la descomposición del azúcar, causada por algunas bacterias y levaduras que producen su fermentación. Los almidones son más estables, pero pueden ser convertidos en azúcares por algunos fermentos

Gráfico 2.1

Sólidos totales en las aguas residuales

| | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------|--|---------------------------------|
| Total sólidos, 800 p.p.m. | Sólidos suspendidos 300 p.p.m | Sólidos sedimentables (2 horas) 150 p.p.m. | Orgánico 100 p.p.m. | Sólidos coloidales, +/- 200 p.p.m. | Total sólidos, 800 p.p.m. |
| | | | Mineral 50 p.p.m. | | |
| | Sólidos filtrables, 500 p.p.m. | Sólidos coloidales 150 p.p.m | Orgánico 100 p.p.m. | Sólidos disueltos 450 p.p.m. | |
| | | | Mineral 50 p.p.m. | | |
| | | Sólidos coloidales +/- 50 p.p.m. | Orgánico 40 p.p.m. | | |
| | | | Mineral 10 p.p.m. | | |
| | | | Orgánico 160 p.p.m. | | |
| | | | Mineral 290 p.p.m. | | |

microbianos o por ácidos minerales diluidos. Debido a su resistencia a la descomposición, la celulosa es el carbohidrato más importante encontrado en las aguas residuales.

c. **Las grasas**, generalmente se refiere a ellas como las materias solubles en éter, en las aguas residuales se encuentran como: oleico, palmítico, alcohol glicérico (glicerina) y estearico. Éstas contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en diferentes proporciones, se encuentran en carnes de animales, nueces, cereales y ciertas frutas. De composición estable, lo que los hace uno de los compuestos orgánicos más resistentes a la descomposición bacteriana. En presencia de ácidos minerales, las grasas son atacadas dando como resultado ácidos grasos (oléina, palmitina, estearina, etc.), que en presencia de hidróxido de sodio forman jabón con este por saponificación.

Las aguas residuales no sólo tienen en solución gases comunes en la atmósfera como: oxígeno, nitrógeno y anhídrido carbónico, sino también otros gases productos de la descomposición como: metano (derivado de la descomposición de los lodos), nitrógeno en forma gaseosa (producido por la materia orgánica en descomposición), anhídrido carbónico (producido por el desdoblamiento de la materias carbonáceas), ácido sulfhídrico que le da a las aguas residuales un olor muy desagradable (debido a la descomposición de materia orgánica con azufre)

Cuando el agua residual es fresca (menos de dos horas de haber sido usada) es de un color gris claro y tiene una reacción ligeramente alcalina; pero al empezar los procesos de descomposición de las sustancias se torna a una reacción ácida y obtiene un color negruzco debido a la formación de sulfuro ferroso.

Al descomponerse las aguas residuales se pueden producir compuestos volátiles como indol, estacol, cadaverina y mercaptán, si la descomposición se da en condiciones anaerobias.

3. Características biológicas

Las aguas residuales contienen un gran número de organismos, siendo la mayoría

bacterias, la mayor parte de las cuales son imprescindibles para la transformación y estabilización de la materia orgánica. Por otra parte, pueden incluir organismos patógenos que la hacen peligrosa para la salud de la comunidad.

4. **Parámetros de calidad de las aguas residuales**

A continuación se definen las características que sirven como parámetros del nivel de contaminación de las aguas residuales. Dichos parámetros son utilizados también para reflejar la eficiencia de los procesos de remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales, los parámetros considerados son: temperatura, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos totales, disueltos, suspendidos y sedimentables.

a. **Temperatura** La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y las velocidades de reacción. Al aumentar la temperatura se favorece el proceso de sedimentación, ya que esto hace disminuir la viscosidad del agua, además puede producir cambios en las especies piscícolas, se puede dar lugar al crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos. Por otra parte, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento de la velocidad de las reacciones químicas que supone un aumento en la temperatura, junto con la disminución de la concentración de oxígeno disuelto, puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de la vida acuática. "Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10°C a 21°C, siendo pues 15°C un valor representativo." (Metcalf y Hedi, 1981, 60).

b. **Oxígeno disuelto (OD)** Este parámetro es de suma importancia, porque es un indicador para la preservación de la vida acuática. Mide la concentración de oxígeno en las aguas. En el tratamiento de las aguas servidas, se lleva a cabo un proceso aerobio de degradación y descomposición de la materia orgánica. Esto es posible por las actividades de los microorganismos presentes en estas aguas ya que el oxígeno es uno de los elementos necesarios para que se realicen tales actividades.

La concentración del oxígeno disuelto en el agua se determina generalmente por el método de Winkler. Para que las aguas puedan soportar vida acuática deben tener entre 3 y 4 p.p.m. de oxígeno (Metcalf y Hedi, 1981, 60).

c. **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)** Metcalf y Eddy definen la demanda bioquímica de oxígeno como “la medida de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica”(1981,61).

Como parámetro la DBO₅ se utiliza en el tratamiento de aguas residuales y en el control de calidad de las aguas para determinar el grado de contaminación y de materia orgánica presente, por lo que: cuanto mayor es la DBO₅, mayor es el grado de contaminación y a medida que decrece este valor, la materia orgánica se estabiliza.

La DBO₅ se expresa en p.p.m. y se acostumbra establecerla para un período de incubación de cinco días a 20°C. Para determinar la DBO₅ en las aguas residuales se acostumbra realizar una prueba en la que se diluye el agua residual en agua destilada y se deja incubar. Luego con el método de Winkler se determina la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra que se compara con el oxígeno disuelto en una muestra testigo. Realizando una simple operación aritmética con estos valores se determina la DBO₅.

d. **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** Es una medida indirecta para determinar la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar parcial o totalmente la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, presente en el agua residual, mediante un agente químico fuertemente oxidante en un medio ácido y cuyos resultados se expresan en p.p.m. Este parámetro por lo general, siempre es mayor que la DBO₅, se debe a que la DQO mide la demanda orgánica e inorgánica presente en las aguas negras (biodegradable y no biodegradable). Además tiene una ventaja sobre la DBO₅, porque se pueden cuantificar los resultados en un tiempo mucho más corto (mínimo tres horas). Mediante la relación DBO₅/DQO, se permite determinar si los desechos que contienen el agua residual pueden ser degradados biológicamente o si los desechos no son tratables biológicamente.

e. **Potencial de Hidrógeno (pH)** Expresa la condición de la solución si es ácida o alcalina. Para los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico, el pH debe ser controlado dentro de rangos favorables (6.5 a 8 unidades de pH), para favorecer el crecimiento de microorganismos y bacterias encargadas de estabilizar la materia orgánica.

f. **Sólidos** Constituyen todo aquella materia orgánica que está en estado sólida y

que están sujetas a sedimentación mediante la acción gravitacional, posteriormente formarán parte de los lodos en los sedimentadores.

Probablemente por sus características físicas tienen mayor importancia para el dimensionamiento y control de operación de las unidades de tratamiento, es de especial interés evaluar los sólidos disueltos y sedimentables, ya que estos son los sólidos que pueden ser removidos y reducidos, mediante los procesos de tratamiento en las diferentes unidades.

C. Métodos de disposición de efluentes

Una vez recolectadas las aguas residuales es necesario buscar un método de disposición que no afecte a la comunidad ni al medio ambiente que la rodea, ya que una mala disposición de esta agua puede provocar condiciones que pongan en peligro la salud colectiva, o afectar la apariencia estética de playas, ríos, lagos. Las aguas residuales se acostumbran descargar en: masas de aguas (disposición por dilución), en la superficie de la tierra (disposición por irrigación), o bien, en capas subsuperficiales (disposición por campos de riego subsuperficiales).

1. Disposición por irrigación y campos de riego

En determinadas ocasiones, cuando la composición de los líquidos residuales lo permiten, se puede disponer de ellos por irrigación sobre terrenos de cultivo de productos que no se consuman crudos. Para disponer de las aguas residuales de esta manera, se necesita un área de terreno bastante apreciable, que no se encuentre drenando directamente hacia cursos de agua que se puedan ver afectados. El terreno debe ser permeable y debe tener subdrenes de grava y arena.

En comunidades pequeñas en donde no existe sistema de recolección, se pueden disponer las aguas residuales por medio de los campos de riego. Los afluentes de las fosas sépticas y aún de los tanques Inhoff son dispuestas en tuberías de juntas abiertas, enterradas a poca profundidad para permitir el proceso aeróbico de descomposición bacteriana de la materia orgánica presente en estas y permite que el agua se infiltre a capas más profundas.

2. Disposición por dilución

Este método consiste en descargar las aguas residuales dentro de masas de agua

(aguas residuales) que por sus características, puedan recibir las aguas residuales sin causar problemas sanitarios o estéticos al medio ambiente que los rodea. Para esto, es necesario cumplir con una serie de normas que, entre otras cosas prohíbe que las aguas receptoras reciban descargas muy altas que le imparten olores ofensivos, o aguas residuales que contienen sólidos visibles, flotantes, sedimentables, aceites o depósitos de lodo. Para cumplir estas normas es necesario aplicar tratamientos correctivos a las aguas residuales, en la mayoría de los casos se trata de tratamientos primarios tales como: remoción de sólidos flotantes y otras materias suspendidas mediante el uso de rejillas, cámaras desarenadoras y sedimentadores primarios. En algunos casos es necesario usar la precipitación química. Cuando los cursos de las aguas receptoras son explotados para la pesca, crianza y cultivo de moluscos, con fines recreativos o bien como fuentes de abastecimiento de aguas, se debe de aplicar un tratamiento completo a las aguas residuales, incluyendo la desinfección.

La autodepuración de los cursos de agua es el proceso natural que tiende a estabilizar las aguas residuales una vez dispuestas en las masas de agua.

La descomposición de la materia orgánica, resultado de la acción bacteriana, se manifiesta desde el momento de la disposición de las aguas residuales y continua después de que éstas se diluyen dentro de las aguas receptoras o sean trasladadas dentro del curso receptor. Al principio, las substancia orgánicas, son transformadas por el proceso de putrefacción en: amoníaco, bióxido de carbono, anhídrido sulfuroso, etc. Después de ser oxidados pasan a nitratos, sulfatos, almidones, azúcares, etc.

La sedimentación natural, la acción de los rayos solares, la aireación y la acción bacteriana permiten que el proceso de autodepuración se verifique.

3. Condiciones sanitarias para aguas receptoras

Para determinar los tratamientos y condiciones previas para disponer de las aguas residuales en las masas de agua, es necesario conocer las condiciones mínimas recomendadas por las instituciones de salud pública. En la actualidad Guatemala no tiene una ley sobre el particular, por lo que autores como Gustavo Rivas Mijares y Francisco Unda Opazo recomiendan seguir los lineamientos de asociaciones internacionales acreditadas. Ellas, en general, establecen que: “ los cursos deben permanecer aptos para

la cría de peces, no contaminar los campos de ostras y no producir olores notables, desagradables”, (Unda Opazo, 1969,103) para lo cual fijan:

- El contenido de oxígeno disuelto que debe permanecer en el agua debe estar entre el 25% y el 35% de saturación.
- Otros lo limitan, indicando que las aguas residuales por descarga no deben de exceder de 4 ppm. de demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días.
- Las partes por millón mínimos, de oxígeno disuelto en el agua, para que soporte la vida de la mayoría de peces, es de 3 a 4 ppm lo que podría constituir un elemento de limitación.
- Además la turbiedad o alto PH, sustancias venenosas o sustancias suspendidas, pueden también ser limitadas, de acuerdo con sus efectos sobre los organismos vivientes que sea necesario preservar.
- The American Public Health Assosiation , sugiere que el índice coliforme de las aguas afectadas no sea superior a 50 – 100 cm³.
- Cuando se descarga en mares, donde el nivel de saturación de oxígeno es menor, implica una mayor dilución de las aguas residuales.

III. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Los tratamientos correctivos tienen como objetivo mejorar la calidad física, química y biológica del agua, para ajustarla a parámetros mínimos de calidad y poder utilizarla para consumo doméstico o industrial. Según sean las características del agua a tratar, las plantas de tratamiento de agua se componen de diferentes unidades, aunque en general se pueden presentar los siguientes casos:

- Aguas relativamente claras, con bajo color y contenido mineral normal. En estos casos podría ser suficiente filtrar el agua y aplicarle un tratamiento de desinfección.
- Aguas con turbiedad y color relativamente altos y contenido mineral normal. Para este caso se requiere unidades de mezcla, floculación y decantación, Además de las unidades de filtración y desinfección para asegurarnos que el agua cumpla con los requisitos mínimos de potabilidad establecidos en el capítulo anterior.
- Aguas con turbiedad y color altos, que además, presentan olores y sabores desagradables y un contenido mineral más alto que el permitido para uso de comunidades. En estos casos, adicionalmente a las unidades de mezcla, floculación decantación, filtración y desinfección se requiere aplicar procesos físicos (aeración) y químicos (ablandamiento) para eliminar los olores, sabores y excesos de minerales.

Pueden naturalmente presentarse combinaciones de los casos anteriores, que causan variantes a los tratamientos antes descritos.

Las unidades y etapas fundamentales de los procesos de tratamiento para obtener agua potable son las siguientes:

- A. Medidor de gasto
- B. Aeración
- C. Coagulación
- D. Sedimentación
- E. Filtración
- F. Ablandamiento
- G. Estabilización del agua
- H. Desinfección del agua

- I. Control de olor y sabor
- J. Fluoración
- K. Remoción de hierro y manganeso

A. Medidor de gasto

Es indispensable conocer el volumen (gasto) de agua que entra en la planta de tratamiento, ya que de éste depende la cantidad de coagulante que se le agregará el agua cruda para su tratamiento. Además, las pérdidas de agua a través de la planta se expresan en porcentaje del gasto de agua cruda que entra a la planta.

Existen muchas formas de medir el gasto o volumen de agua que entra a una planta de tratamiento, entre los medidores más utilizados están: el medidor de Venturi, los vertederos de pared delgada o los canales Parshal.

El canal o medidor Parshal es un sistema utilizado en canales abiertos, consiste en una estructura de concreto u otro material que produce el escurrimiento crítico. En este caso el gasto es directamente proporcional a la altura y se mide a través de una regla graduada en conexión a un flotador situado en una cámara adyacente.

Debido a que el medidor Parshal trabaja creando un salto hidráulico, este es utilizado no solo para medir el gasto, sino para mezclar el agua cruda con el producto químico que se le aplique.

B. Aeración

La aeración se practica en el tratamiento de agua por tres razones: Para introducir oxígeno al agua; para dejar que escapen los gases disueltos, como el bióxido de carbono y el ácido sulfhídrico; para eliminar las sustancias volátiles que causan olor y sabor. La introducción de oxígeno al agua ayuda a la eliminación del hierro y manganeso, lo hace precipitar como sales solubles. La eliminación de bióxido de carbono reduce la acción corrosiva de las aguas. Debido a la presencia de este gas en la atmósfera es muy difícil reducir su concentración debajo de 5 p.p.m. por aeración solamente (Unda Opazo). La efectividad para eliminar olores y sabores por aeración es muy poco efectiva, y se debe complementar con procesos de tratamiento más adecuados. La aeración se puede llevar a cabo por diferentes métodos, siendo el más eficaz el uso de aspersores por medio de los cuales el agua forma gotas muy pequeñas en la atmósfera. Otro método consiste en descargar el agua por medio de una tubería elevada, en una serie de artesas que contengan piedra triturada o carbón de las que caiga el agua a través de agujeros al fondo de éstas.

Hacer pasar aire comprimido por medio del agua a tratar puede ser otro método de aeración.

C. Coagulación

El objetivo de la coagulación es facilitar o hacer posible la sedimentación de partículas finamente divididas o en estado coloidal, mediante el agregado de agentes químicos. Existe una serie de factores que afectan la coagulación y entre ellos se pueden citar: la clase de coagulantes, cantidad de coagulante, características físicas del agua, características químicas del agua, tiempo de mezcla y floculación, violencia en la agitación, etc.

El proceso de coagulación está constituido por tres fases que incluyen operaciones mecánicas y químicas, siendo estas: agregado de agentes químicos (coagulantes); mezcla o difusión, etapa en la cual el agente químico (coagulante) se dispersa rápidamente en el agua cruda; floculación, etapa en la que las partículas finamente divididas o en estado coloidal, van aglomerándose para formar floculos hidratados de tamaños tales que puedan sedimentar bajo la fuerza de gravedad.

1. Agregado de agentes químicos

El color y la turbiedad del agua en estado natural son causados principalmente por las partículas conocidas como coloidales que tienen tamaños que varían de 1μ a 100μ ($1\text{ milimicrón } \mu = 10^{-6}\text{mm}$) debido a su tamaño estas partículas tienen velocidades de sedimentación demasiado pequeñas, por lo que se hace necesario agregar algún agente químico coagulante que acelere el proceso de sedimentación de dichas partículas. Los principales coagulantes utilizados en este proceso son sales de aluminio o hierro de los ácidos sulfúrico y clorhídrico

Alumbres: Hay cuatro alumbres que se emplean en el proceso de coagulación:

- 1) Sulfato de aluminio cristalizado (Filter Alum) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$
- 2) Sulfato de aluminio y potasio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, \text{K}_2\text{SO}_3, 24\text{H}_2\text{O}$.
- 3) Sulfato de aluminio y amonio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 24\text{H}_2\text{O}$.
- 4) Aluminato de sodio $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$.

Sales de hierro:

- 1) Sulfato ferroso (copperas), $\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$.
- 2) Cloruro férrico, FeCl_3 .

3) Sulfato férrico $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

4) Sulfato y cloruro férrico (copperas cloradas) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

La dosificación de coagulantes se realiza en función de la calidad del agua a tratar.

Existen dos sistemas de dosificación: en seco y solución.

Dosificación en seco. Los coagulantes en forma granulada se agregan directamente a un pequeño volumen de agua, que lo disuelve antes de inyectarlo al agua a tratar. La dosificación en seco puede ser volumétrica o gravimétrica. El sistema de dosificación en seco se usa con buenos resultados para alumbre, sulfato férrico, carbón activado en polvo, cal y ceniza de sosa; mientras que para el sulfato ferroso trae ciertas dificultades ya que este tiende a aglomerarse.

Dosificación en solución. Para utilizar este sistema de dosificación es necesario que los coagulantes sean disueltos previamente en tanques que están diseñados para un período de tiempo razonable. La concentración a utilizar es determinada por las especificaciones del equipo utilizado. Es necesario que estos dosificadores utilicen mecanismos agitadores para mantener la uniformidad de la mezcla.

Las características químicas del agua determinan qué coagulante es el más apto para obtener una coagulación satisfactoria en un tiempo mínimo y con una mínima cantidad de coagulante. En una planta de tratamiento es necesario determinar que coagulante utilizar y su dosis en función de las variaciones que pueda tener el agua a tratar.

2. Mezcla o difusión

Su objetivo principal es originar una agitación violenta del agua, a fin de producir la dispersión del coagulante. El tiempo requerido de agitación es corto alrededor de un minuto, siempre que la turbulencia sea suficiente. La velocidad mínima debe ser del orden de 1.50 m/seg. La agitación requerida se puede lograr utilizando bombas de agua cruda, canales con desviadores o tabiques, resalto hidráulico, estanques de flujo tangencial, estanques de agitación por aire, etc. De estos sistemas, el resalto hidráulico es la unidad más económica y con menos gastos de mantenimiento.

3. Floculación:

Después que el coagulante ha sido uniformemente distribuido en la masa de

agua, se forma un "microfloculo" que no sedimenta por acción de la gravedad. Mediante el acondicionamiento o agitación leve del agua que tiende a hacer que las partículas entren en contacto y se adhieran unas con otras se consigue aumentar el tamaño del microfloculo hasta formar un floculo susceptible a la sedimentación. Lo ideal para la formación del floculo es una agitación moderada continua decreciente, ya que a medida que el floculo crece se hace más frágil. La agitación necesaria para la formación del floculo, puede lograrse por métodos hidráulicos o mecánicos. El método hidráulico más común es el estanque con tabiques desviadores, en el que el agua fluye "rodeando los bordes" o "por arriba y por abajo" de los tabiques desviadores que han sido colocados de manera que se produzca el grado de turbulencia deseado.

De los métodos mecánicos, el más común consiste en un sistema de paletas accionadas por un motor, de manera que se puede regular la velocidad de rotación de las paletas para que se produzca el grado de agitación óptimo. Las paletas pueden girar sobre un eje horizontal o vertical, longitudinal o transversalmente a la dirección del flujo. A veces se colocan varias paletas en serie, haciendo girar a la primera paleta a mayor velocidad que las demás para con ello ir disminuyendo gradualmente la turbulencia del agua. La práctica ha demostrado que en unidades de floculación se obtienen buenos resultados cuando la velocidad media de flujo varía entre 0.45 y 0.15 m/seg, con periodos de floculación entre 15 y 45 minutos.

D. Sedimentación

La sedimentación se define como: "El proceso que permite que partículas en suspensión o estado coloidal precipiten al descender a través del agua por efectos de gravedad, cuando estas partículas poseen un peso específico mayor que el líquido que las contiene"(Unda Opazo,1963,115).

Cuando la sedimentación de las partículas en suspensión y en estado coloidal se produce solamente por la acción de la gravedad, la operación recibe el nombre de **Sedimentación simple**. Cuando al agua se le agregan productos químicos para favorecer el asentamiento de la materia finamente dividida o en estado coloidal el proceso de sedimentación recibe el nombre de **sedimentación por coagulación**. Cuando los productos químicos se

agregan para separar de la solución las impurezas disueltas, la operación se describe como precipitación química.

Según las propiedades del agua a tratar, los tanques de sedimentación se pueden diseñar para: la remoción del exceso de partículas que se asientan con facilidad, su finalidad es evitar daños en las líneas de conducción y otros equipos (predecantores); tanques que remuevan las partículas con tamaños y densidades apreciables (desarenadores); impurezas coaguladas (sedimentadores), y tanques que eliminen las impurezas precipitadas como la dureza y el hierro. A continuación se hará una pequeña descripción de cada una de estas unidades.

1. Predecantor

Cuando la turbidez del agua sobrepasa las 5000 p.p.m., se utilizan los predecantadores, que son estanques diseñados para que en un período de retención relativamente corto (generalmente de una hora y media a dos horas y media) se elimine un alto porcentaje de las partículas en solución (Unda Opazo). Estas unidades evitan el recargo de otras unidades de la planta, generalmente se colocan en el mismo sitio que la captación para evitar que las líneas de conducción se obstruyan, deterioren o desgasten. Cuando es necesario bombear el agua a los sitios de tratamiento los predecantores protegen los equipos de bombeo, que de otra manera se arruinarían de inmediato, debido al desgaste a que los someterían las partículas en solución.

2. Desarenador

Las aguas provenientes de fuentes superficiales, generalmente van cargadas de lodos y otras impurezas precipitables, provocadas por la erosión del terreno que recorre. Estas impurezas son eliminadas por los desarenadores que tienen como función remover partículas sólidas de ciertos tamaños (según diseño) y densidades apreciables. Partículas como las arenas requieren cortos períodos de retención ya que poseen altas velocidades de asentamiento y la velocidad horizontal a la que están sometidas en los desarenadores es demasiado pequeña que no influye. El desarenador, es generalmente de forma rectangular, está constituido por canales o estanques que permiten reducir la velocidad del agua para permitir la sedimentación de las partículas de mayor gravedad específica que la del agua, estos estanques se disponen de desagües para desalojar el

material decantado, ya sea de forma gravitacional o mecánica. Las paredes son lisas, con pendiente de fondo hacia un canal de drenaje.

3. Sedimentador

Después de pasar por el proceso de coagulación, el agua es llevada a un tanque a través de la cual fluye a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo, saliendo de éste un agua relativamente clara.

Al igual que los tanques desarenadores los tanques sedimentadores disponen de desagües para desalojar el material sedimentado, ya sea de forma gravitacional o mecánica.

Probablemente los factores de operación más importantes de un tanque de sedimentación son: que el escurrimiento se haga a una velocidad uniforme; que el agua al entrar en el tanque provoque la mínima turbulencia; el impedir corrientes directas entre la entrada y salida del tanque; que el afluente salga sin provocar disturbios para que no arrastre hacia afuera del tanque el material sedimentado; que el período de retención sea suficiente para que los floculos puedan sedimentar. El período de retención del agua en tanques de sedimentación bien diseñados puede ser de tres a seis horas con velocidades horizontales menores de 0.90 m/seg (Unda Opazo).

E. Filtración

La filtración se puede definir como “el proceso por el cual se separa la materia suspendida mediante el paso del agua a través de una capa porosa (generalmente arena) que detiene las partículas en suspensión” (Unda Opazo, 1963, 121).

La filtración para gastos de importancia, se efectúa en: filtros lentos y filtros rápidos, existen otros tipos de sistemas para gastos pequeños y usos industriales que no se discutirán en este trabajo.

1. Filtros lentos

Los filtros lentos se utilizan para el tratamiento de las aguas ligeramente turbias y por regla general sin coagulación previa. Estos filtros están formados por una capa de arena que varía entre 0.60 a 1 m de espesor, asentada sobre una capa de grava de 0.30 a 0.40 m de espesor. Bajo la capa de grava se encuentra un sistema de desagüe capaz de captar el agua filtrada, este sistema está en conexión con un sistema de control de entrada y salida del agua que mantiene constante la carga y regula el gasto de salida.

Completa el filtro un indicador de la pérdida de carga. La tasa de filtración es de 1.3 a 6.5 l/m²/min. Debido a su tasa de filtración los filtros lentos requieren de grandes superficies para atender una población.

A medida que el proceso de filtración se realiza se va formando en la parte superior del filtro una película semigelatinosa llamada "Schmutzdecke" (cubierta de suciedad), y los granos de arena de la capa superior se cubren de una mucilago de partículas finas de arcilla, coloides y microorganismos que no sedimentaron en el estanque correspondiente.

La retención de las partículas hace que el filtro se obstruya, por lo que es necesario someter la arena a un lavado ya sea retirándola del estanque o por medio de eyectores especiales. El período de trabajo de un filtro antes de la limpieza depende de: la tasa de filtración, turbiedad, granulometría de la arena y tipo de tratamiento previo que se le ha dado al agua.

2. Filtros rápidos

Para poder utilizar eficientemente los filtros rápidos es indispensable que al agua a tratar se les aplique primero los procesos de coagulación y sedimentación. Estos filtros están formados por una capa de arena de 0.60 a 0.65 m de espesor, soportada por grava de una altura de 0.30 a 0.40 m y de granulometría creciente hacia abajo, la cual tiene por objeto prevenir que la arena pase a través del sistema de drenaje durante el proceso de filtración.

Debajo de la grava se coloca un sistema de desagüe que recolecta lo filtrado o permite repartir el agua de lavado. Por sobre la arena se colocan las canaletas de lavado. La carga o altura de agua sobre la arena debe de mantenerse constante durante el proceso de filtración (1.20 m como mínimo).

Los filtros rápidos operan con una tasa de filtración que varía de 80 a 120 l/m²/min, y aún más, debido a la alta tasa de filtración, los filtros rápidos se obstruyen más rápido que los filtros lentos, por lo que es necesario lavar más a menudo el material filtrante. Esta operación se realiza haciendo escurrir el flujo en sentido inverso al normal; es decir: el agua limpia circula de abajo a arriba, provocando un movimiento de agitación y fricción de la arena, lo que desaloja las partículas adheridas a ella. El agua utilizada para el lavado se recolecta en las canaletas de lavado y se desvía al desagüe. El agua utilizada en el lavado del filtro proviene del "tanque de lavado", que se puede encontrar en una cota

más alta que le permita disponer de la presión necesaria para realizar el lavado. Cuando el tanque de lavado no se encuentra en una cota más alta se pueden usar bombas para obtener la cantidad de agua necesaria a suficiente presión para realizar el lavado del filtro.

F. Ablandamiento

Un alto contenido de los iones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el agua provoca la precipitación del jabón y la formación de compuestos incrustantes que dañan las tuberías, calderas y otros equipos que tengan contacto con el agua. El proceso mediante el que se eliminan los iones de calcio y magnesio se conoce como ablandamiento. Dos son los métodos más utilizados para el ablandamiento del agua, y son: el de precipitación y el de permutación iónica.

1. Método de precipitación

También conocido como el método de cal – sosa. Este proceso consiste en agregar al agua cruda cal viva (CaO), cal apagada (Ca(OH)_2) o sosa cáustica (Na(OH)). La cal reacciona con los bicarbonatos solubles de calcio y de magnesio, que son los que causan la “dureza de carbonatos”, formando carbonato de calcio hidróxido de magnesio que son insolubles. Mientras que la sosa reacciona con compuestos solubles no carbonatados de calcio y magnesio, que causan la “dureza de no carbonatos”, precipitando compuestos insolubles de calcio y magnesio, pero dejando en solución los compuestos de sodio que no consumen jabón.

Este proceso se aplica generalmente en conjunto con el proceso de clarificación, se acostumbra a dosificar los compuestos ablandadores junto con el coagulante.

2. Método de permutación iónica

Este proceso se basa en la habilidad de ciertos compuestos para intercambiar iones con otras sustancias disueltas en el agua. Cuando el agua dura pasa a través de un intercambiador de iones (zeolita), los iones de calcio y magnesio son reemplazados por iones de sodio en el agua. Una vez que la capacidad de la zeolita se ha agotado, se restaura tratándola con una solución de NaCl (sal común). El calcio y el magnesio se remueven como cloruros y la base de Na se regenera.

Las zeolitas se colocan en unidades de filtración, usualmente se prefieren filtros de presión ya que se pueden fabricar unidades estandarizadas, aunque se pueden utilizar filtros de arena gravitacionales con flujo hacia abajo o hacia arriba, siempre que se proporcionen las condiciones hidráulicas deseadas.

El espesor de la capa de zeolita varia de 0.60 a 1.80 m con gastos de 160 a 320 lt/min/m² en filtros con flujo ascendente y 120 a 200 li/min/m² en filtros con flujo descendente. Las unidades con flujo descendente deben de retrolavarse antes de regenerarse.

G. Estabilización del agua

La finalidad de este proceso es entregar al consumidor un agua que tienda a evitar incrustaciones o corrosión en las tuberías de las redes de distribución y sistemas afines.

Según el Manual de tratamiento de las aguas del Estado de Nueva York la corrosión no es más que “la disolución del hierro u otros materiales de las tuberías, por el agua”. El mecanismo por el cual se lleva a cabo la corrosión del hierro consiste reemplazar las moléculas de éste por iones de hidrógeno del agua y en la formación de hidróxido ferroso una substancia insoluble formada por iones de hidrógeno e iones de hierro. Estas acciones tienen lugar en la superficie del metal, y tanto la capa de hidrógeno como la de hidróxido ferroso actúan como protectoras del metal ya que no permiten que más iones de hidrógeno se pongan en contacto con el hierro.

Sin embargo, esta capa protectora es desprendida de la tubería por la acción erosionadora del agua en movimiento, o atacada por algunos elementos presentes en el agua como el oxígeno o el bióxido de carbono, este último desprende la capa de hidróxido ferroso (insoluble) combinándose con ella para conformar bicarbonato ferroso que es una substancia soluble. Mientras que el oxígeno removerá los iones de hidrógeno para combinarse con ellos y formar agua. Sin embargo el oxígeno juega un papel adicional, cuya naturaleza depende de que haya o no bióxido de carbono. En ausencia de este, el oxígeno convertirá el hidróxido ferroso en óxido férrico que es aún menos soluble y permanece en la superficie de metal actuando como una capa protectora.

La estabilización del agua puede llevarse a cabo por cualquiera de los siguientes procesos: 1) reducción de la concentración los iones de hidrógeno 2) reducción del

contenido de bióxido de carbono, y 3) manteniendo una capa protectora sobre la superficie de metal de la tubería.

1. Control de los iones de hidrógeno

Es imposible la eliminación por completo de los iones de hidrógeno, pero se pueden disminuir mediante la adición de cualquier sal básica como: la sosa cáusica, cal, sosa calcinada o los lechos de piedra caliza o mármol triturado.

La cal, la sosa calcinada y la sosa cáusica son las sustancias más eficientes para disminuir la concentración de los iones de hidrogeno. La cal es de bajo costo, forma una capa protectora; pero esta aumenta la dureza del agua lo que es indeseable. Mientras que la sosa cáusica es la más eficiente de las sustancias para disminuir la concentración de los iones de hidrógeno pero su costo es mayor y esta no produce la capa protectora. La sosa calcinada tiene costo y eficacia razonable, no dureza y no forma capa protectora.

2. Control del bióxido de carbono

La efectividad del bióxido de carbono como agente corrosivo, se puede reducir por aeración hasta una concentración de 5 p.p.m (concentración del bióxido de carbono en el ambiente).

Más abajo de este límite el bióxido de carbono debe transformarse en bicarbonato o carbonato, que son sustancias sin propiedades corrosivas. Para efectuar este cambio es necesario agregar al agua alguna sustancia alcalina.

3. Recubrimientos protectores

Los recubrimientos de la tubería pueden ser químicos o físicos. Los químicos se logran agregando al agua cal o piedra caliza triturada, estos forman una película protectora de carbonato de calcio sobre la superficie de la tubería. El recubrimiento físicos de la tubería metálica se logra con compuestos de alquitrán, esmalte bituminoso u otra sustancia semejante que resultan ser muy eficaces para proteger la tubería contra la acción del agua y el suelo circundante.

H. Desinfección del agua

La desinfección permite la destrucción de todos los organismos patógenos, mediante la aplicación directa de medios químicos o físicos. En la actualidad, la cloración es el

método más utilizado para la desinfección del agua en plantas de tratamiento para consumo público, debido a su fácil aplicación, bajo costo, su efecto inofensivo para el hombre en las dosis utilizadas, facilidad para mantener un cloro residual en la red de distribución y efectiva acción. Según el punto de aplicación, se denomina:

- Cloración simple. Se define como la aplicación de cloro al agua de un servicio que no recibe otro tratamiento.
- Precloración. Se define como la aplicación de cloro al agua, anterior a cualquier otro proceso. Esto mejora la coagulación, retarda la descomposición de la materia orgánica retenida en los lodos, controla el crecimiento de algas y otros microorganismos en los tanques, elimina ciertos olores y sabores oxidando la materia orgánica y reduce el crecimiento biológico en los filtros.
- Poscloración. Es la aplicación de cloro al agua después de cualquier proceso. Generalmente se aplica después de la filtración, pero puede precederla.
- Recloración. Se aplica en cualquier punto del sistema de distribución previo al proceso de cloración, como: estanques de acumulación, estaciones de bombeo, etc. Se hace para asegurar la dosis de cloro residual apropiada.

I. Control de olor y sabor

Las causas de los olores, sabores y colores del agua se agrupan en dos grupos: naturales y originados por el hombre. El primer grupo incluye los causados por las algas, vegetación en descomposición, limo orgánico, materias orgánicas y minerales; y dentro de las segundas causas se agrupan aquellas derivadas de las aguas negras y residuos industriales. Hay dos métodos básicos para el control del olor: método preventivo y método correctivo.

1. Método preventivo

Este método consiste en tratar de evitar la formación de los olores y sabores, eliminando sus causantes, antes de que los produzcan. En el agua, las algas son la causa más frecuente. Éstas se pueden eliminar aplicando sulfato de cobre, CuSO_4 , a las aguas. Otro causante es la materia orgánica que se encuentra en el flujo del agua. Esta debe eliminarse antes de que empiece su proceso de descomposición, que produce

olores no deseables en el agua. Por otra parte, dentro del tratamiento preventivo han de considerarse los equipos de la planta. Los tanques de sedimentación deben limpiarse periódicamente para evitar la descomposición de los lodos. Al igual que los filtros donde se desarrollan crecimientos orgánicos que producen olor y sabor. El lavado periódico de los muros o paredes con una solución de sulfato de cobre al 5% ayuda a combatir a estos organismos.

2. Método correctivo

El tratamiento correctivo se realiza en la planta a través de los procesos tales como: la aeración, aplicación de coagulantes, desinfección con cloro etc. Dichos procesos han sido descritos anteriormente en el capítulo.

J. Fluoración

La fluoración consiste en agregar al abastecimiento de agua, en cantidades controladas, un compuesto que contenga el ion de flúor. Las Investigaciones epidemiológicas que se realizaron en Estados Unidos demostraron que, para evitar la formación de caries la dosis apropiada de flúor en el agua es de 1 a 1.5 p.p.m. sin notar síntomas de fluorosis.

Las sustancias que generalmente se utilizan para la fluoración son: fluoruro de sodio, el fluosilicato de sodio y el fluosilicato de amonio. Estos compuestos se aplican por medio de un dosificador seco. El ácido hidrofluosilícico se aplica por medio de unas bombas de solución que están diseñadas para soportar este servicio. Es importante aplicar el flúor en un punto en el que se pueda asegurar una mezcla completa. El punto de aplicación debe localizarse, de preferencia, en un lugar donde el tiempo de retención iguale la dosis y deje que el compuesto de flúor se disuelva completamente.

K. Eliminación de hierro y manganeso del agua

Las propiedades de los compuestos de hierro y manganeso en el agua varían según su formación, los iones de Fe y Mn se pueden presentar como: sales inorgánicas solubles u óxidos hidratados en estado coloidal. Los métodos para la eliminación del hierro y manganeso se basan en procesos que permiten elevar el PH u oxidar los compuestos para producir un precipitado que se elimina por coagulación, sedimentación y filtración. Dos

son los métodos generales para eliminar el hierro y manganeso del agua: proceso de ablandamiento con cal y proceso de oxidación.

1. Proceso de ablandamiento con cal

Este proceso requiere de un alto PH para poder precipitar el hierro y manganeso, por lo que este proceso se utiliza exclusivamente con aguas que necesitan ser ablandadas o estabilizadas.

2. Proceso de oxidación

En algunos casos basta con poner el agua en contacto con el oxígeno atmosférico, para que el Fe y Mn se oxiden y precipiten . En casos donde la precipitación natural no es suficiente se pueden utilizar los lechos de contacto . Los lechos de contacto tienen una profundidad de 1.80 a 3 m de espesor de material alcalino (coque, piedra caliza, huevillos, etc.) con cargas de 26 a 58 l/m²/min. Estos trabajan como filtros percoladores con flujo ascendente . La acumulación de Fe y Mn en la superficie de contacto se elimina por lavado similar al de los filtros rápidos.

IV. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las razones por las que se deben de tratar las aguas residuales se pueden resumir en tres puntos y son:

- **Consideraciones higiénicas:** Eliminar o reducir al máximo los organismos patógenos, a fin de evitar contaminaciones que puedan causar trastornos orgánicos a los individuos.
- **Consideraciones estéticas:** Eliminar todas aquellas sustancias que inciden negativamente en los aspectos estéticos y urbanísticos de los sectores donde escurren las aguas residuales.
- **Consideraciones económicas:** Las aguas residuales sin tratamiento pueden causar la desvalorización de las propiedades, perjudicar los servicios de agua para el consumo humano e industrial y afectar la calidad del agua de riego.

El tratamiento de las aguas residuales se puede dividir en dos: tratamiento primario y secundario, dichos tratamientos están compuestos de varias unidades.

A. Tratamiento Primario

El tratamiento primario tiene como objetivo remover los sólidos gruesos (palos, plásticos, botes, etc.) y los sólidos sedimentables (arenas, grava, semillas, etc.) por medio de procesos físicos, para evitar que estos interfieran en el tratamiento o que puedan dañar o tapar las bombas, tuberías, válvulas y boquillas.

El tratamiento primario incluye diferentes estructuras: rejas, tanques de flotación, desarenadores y sedimentadores primarios.

1. Rejas

Las rejas son estructuras formadas por barras de hierro que permite pasar papeles, excretas y material más fino, reteniendo, en cambio, materiales de mayor tamaño, tales como palos y plásticos. Para disminuir las pérdidas las rejas deben tener cierta inclinación con respecto a la vertical; asimismo los canales donde se colocan éstas deben ser diseñados para evitar la acumulación de arena y otros materiales pesados antes y

después de la reja. El canal, debe ser recto y perpendicular a la reja para procurar una distribución uniforme de los sólidos sobre la reja.

Las rejas pueden limpiarse a mano o mecánicamente. Las características de ambos tipos se comparan en la tabla 4.1. Cuando la planta es pequeña la limpieza se hace manualmente, y el material retenido por las rejas es enterrado a una profundidad no mayor de tres m para que exista la suficiente flora bacteriana que acelere el proceso de descomposición. Mientras que en plantas de importancia disponen de sistemas mecánicos de limpieza, que trituran el material retenido por las rejas, para luego devolverlo al flujo.

Tabla 4.1

Comparación de rejas según su forma de limpieza

| Concepto | Limpieza Manual | Limpieza Mecánica |
|---|------------------------|--------------------------|
| Tamaño de la barra: | | |
| Anchura, en cm | 0.6-1.5 | 0.6-1.5 |
| Profundidad, en cm | 2.5-7.5 | 2.5-7.5 |
| Separación, en cm | 2.5-5 | 1.6-7.5 |
| Inclinación respecto a la vertical en ° | 30-45 | 0-30 |
| Velocidad de aproximación en m/seg | 0.3-0.6 | 0.6-0.9 |
| Pérdida de carga admisible en cm | 15 | 15 |

(Metcalf y Eddy)

2. Desarenadores

El objetivo de los desarenadores es remover de las aguas residuales las partículas con peso específico o velocidad de sedimentación mayor que la de los sólidos orgánicos putrescibles (arena, gravilla, cenizas, café, semillas de fruta, etc.), para proteger los equipos mecánicos de la abrasión; reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías y canales y reducir la frecuencia de limpieza de los digestores debido a la acumulación de materias pétreas en tales unidades. Generalmente, estos se utilizan cuando hay sistemas combinados de alcantarillados o descargas industriales que contengan este tipo de materiales. Los desarenadores se diseñan para que tengan un

período de retención de 1 a 1.5 minutos, con una velocidad del orden de 0.30 m/seg, para evitar que la materia orgánica se deposite, (Unda Opazo).

Existen dos tipos de desarenadores: de flujo horizontal y aireados. En el primero de ellos, el flujo atraviesa el desarenador en dirección horizontal, controlando la velocidad y el período de retención mediante las dimensiones del desarenador o con el uso de vertederos. El tipo aireado consiste en un tanque aireado con flujo espiral, en el que la velocidad y el período de retención se controlan por la cantidad de aire que se suministra al tanque. Es necesario que la velocidad en el desarenador sea constante, a pesar de las variaciones del flujo. De lo contrario habrá arrastre de arena a las horas de mayor gasto, y se depositara un exceso de materia orgánica para el gasto mínimo.

3. Tanques separadores de grasas

Un tanque separador de grasas consiste en un depósito en donde el agua residual fluye a bajas velocidades permitiendo que las sustancias ligeras (aceites, jabones, grasas, pedazos de madera y corcho, residuos vegetales y pieles de frutas) asciendan y permanezcan en la superficie hasta que éstas sean eliminadas, a través de mecanismos especiales, o por medio de un barrido realizado con una cortina de agua; mientras que el líquido sale del depósito en forma continua, a través de una abertura situada por debajo de unos muros o deflectores muy profundos.

Esta operación se puede realizar por separado en un tanque especial o combinarse con la sedimentación primaria, lo que depende del proceso y la naturaleza del agua residual.

La mayoría de separadores de grasas son rectangulares o circulares y están provistos de un período de retención de 1 a 15 minutos. La salida, que está sumergida, se halla situada en el lado opuesto a la entrada y a una cota inferior a ésta para facilitar la flotación y eliminar cualquier sólido que pueda sedimentar.

4. Preairación

Según, Metcalf y Eddy (1981,203) los objetivos de la preairación antes de la sedimentación primaria son: “ mejorar su tratabilidad, procurar la separación de grasas, control de olores, eliminación de arenas y floculación; conseguir una distribución uniforme de los sólidos suspendidos y flotantes para su entrada a las unidades de tratamiento; y aumentar la eliminación de DBO₅”.

En la práctica, la preairación se realiza en tanques desarenadores aireados, que suelen tener una profundidad de 4.5 m y las necesidades de aire de 0.6 a 2.4 m³/m³ de agua residual. Con períodos de retención que oscilan entre 10 y 45 minutos.

5. Floculación

Aunque no se emplea frecuentemente en el tratamiento del agua residual, la floculación puede utilizarse cuando se desea aumentar la eliminación de sólidos suspendidos y DBO₅ en los tanques de sedimentación primaria. La agitación necesaria para la formación del floculo, se puede lograr ya sea con métodos hidráulicos o mecánicos. Metcalf y Eddy aconsejan que el período de retención del agua residual en los tanques de floculación sea de 45 minutos.

6. Sedimentador primario

Los tanques de sedimentación primaria tienen como función, eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotantes de los líquidos, lo que implica una reducción del contenido de sólidos suspendidos, menor turbidez y un efluente de menor carga para el tratamiento biológico aerobico. Los tanques de sedimentación primaria se pueden clasificar según su forma (rectangular o circular) y método de limpieza. Según el sistema de limpieza los tanques de sedimentación primaria pueden clasificarse en

Tanques de limpieza manual. Generalmente son rectangulares, con pendientes de 1 a 2%. En estos tanques los lodos se acumulan hasta que se nota el desprendimiento de gases, cuando esto sucede los lodos se extraen por bombas, gravedad o presión hidrostática.

Tanques de remoción de lodos por presión hidrostática. Tanques con fondo en forma de tolva, la cual permite extraer los lodos por presión hidrostática sin necesidad de vaciar el tanque. Pueden ser circulares o cuadrados.

Tanques de limpieza mecánica Pueden ser circulares o cuadrados con pendientes alrededor del 8%. La limpieza se efectúa con raspadores unidos a brazos giratorios, cadenas sin fin o a puentes giratorios que se mueven a una velocidad máxima de 0.60 m/min.

Existen otros tipos de tanques de sedimentación como los tanques de limpieza por tubería móvil o tanques de doble estructura, estos tanques son de usos poco frecuentes.

Unda Opazo recomienda un período de retención de las aguas residuales en los tanques de sedimentación primaria es del orden de dos horas, en donde se deben de remover por lo menos el 90% de los sólidos sedimentables. La reducción de los sólidos suspendidos oscila entre 50 y 70 %, y la reducción del DBO₅ no debe bajar de 30%. La materia sedimentada es conducida al digestor de lodos.

B. Tratamiento secundario

Los microorganismos ejercen una función fundamental en el tratamiento secundario, ya que ellos son los responsables de la floculación, de la oxidación de la materia orgánica finamente dividida, en estado coloidal y en solución, y además de la reducción de las bacterias patógenas contenidas por las aguas residuales. Este proceso se conoce también como tratamiento biológico. Hay diferentes unidades para hacer posible este proceso. La elección depende de las condiciones locales, disponibilidad de fondos, resultados esperados, etc. Las diferentes unidades de tratamiento biológico aerobio son:

1. Áreas de riego

En este proceso se utilizan las aguas residuales para irrigar campos de cultivo. En el riego por inundación, el agua residual escurre a través del terreno. Parte se infiltra en el terreno o se evapora, y después si es necesario, el resto se recoge a través de un sistema de drenaje. En ocasiones por razones sanitarias no se permite el contacto entre el agua residual y los cultivos, por lo que se trazan zanjas adyacentes a los cultivos y se inundan. Este método tiene riesgos y no es aconsejable, debe de prohibirse su uso en zonas donde se cultivan hortalizas o productos que se pueden consumir crudos, Tampoco se debe de utilizar en terrenos que fluyan hacia cursos de agua que puedan contaminar.

2. Filtros intermitentes de arena

Los filtros intermitentes de arena están constituidos por cámaras que constan de una capa de arena de 0.75 a 0.90 m de espesor, descansando sobre una cama de grava (1/4" a 1/8") de 0.15 a 0.40 m de altura, sobre las que se aplican las aguas residuales en forma intermitente. El sistema de drenaje del filtro está constituido por

tubos de 4" mínimo de diámetro, perforados con pendiente tal que se produzca el mismo caudal en la entrada y en la salida del filtro.

Los filtros intermitentes de arena pueden tolerar hasta cuatro dosis de agua residual por día, pero es necesario que entre cada dosis se permita que el filtro se airee, para que se desarrolle el proceso de floculación y oxidación de la materia orgánica de forma aerobia. La práctica aconseja inundar el filtro hasta una profundidad de 2.5 a 10 cm sobre la superficie de arena, por un período de siete a veinte minutos.

Los filtros intermitentes de arena se emplean para pequeñas comunidades, escuelas rurales, hospitales, etc., y sólo se usa para tratar afluentes de fosas sépticas y tanques Imhoff.

Se puede esperar que en buenas condiciones los filtros intermitentes de arena tienen un rendimiento del orden de 90% de D.B.O. y sólidos suspendidos, y sobre un 95% de bacterias (Unda Opazo).

3. Filtros percoladores

El material de los filtros percoladores debe permitir un buen escurrimiento y una buena aeración. Comúnmente se utiliza piedra triturada, antracita, coque, ladrillo quebrado, cerámica, u otros. La aeración del filtro permite mantener la vida de los microorganismos que degradan la materia orgánica. En un filtro bien diseñado se consigue ventilación natural satisfactoria por la diferencia de temperatura entre el aire y las aguas residuales. Estás previa sedimentación, se distribuyen sobre el filtro por tuberías perforada, colocadas en la parte superior del filtro, de tal manera que el agua es distribuida uniformemente, para obtener una misma carga hidráulica por unidad de superficie del filtro. El líquido escurre a través del filtro percolador, donde la materia orgánica presente en el agua residual, es degradada por una población de microorganismos, mientras que corrientes de aire, proveen el oxígeno necesario. El efluente del filtro percolador, debe de pasar a un sedimentador (sedimentador secundario), en el que se sedimenta la capa biológica que se desprende del medio filtrante. El sedimentador secundario da un efluente libre de sólidos y clarificado, que puede ya ser descargado al cuerpo receptor.

Los filtros percoladores se clasifican en filtros bajos y profundos. Estos se operan en etapas separadas, con recirculación o sin ella y con tasa de aplicación lenta o rápida. La altura de los filtros profundos varía de 1.50 a 3 m y se emplean para unidades independientes (una etapa) con cargas de 756 l/m²/día a 2268 l/m²/día (tasa lenta) y 5670 l/m²/día a 22680 l/m²/día (tasa alta). En caso de etapas múltiples o recirculación, generalmente se usan filtros bajos de 0.90 a 1.50 m de altura, (Unda Opazo, 1969, 153).

Los filtros percoladores de tasa lenta, precedidos y seguidos de tanques de sedimentación, tienen los siguientes rendimientos medios: de 80 a 95% de D.B.O, 70% a 92% de sólidos suspendidos, y 90 a 95% de bacterias. Mientras que filtros de tasa rápida, con recirculación de efluente, han removido de 69 a 85% de D.B.O. y entre 69 a 88% de sólidos en suspensión, (Unda Opazo, 1969, 154).

4. Lagunas de estabilización

Unda Opazo (1969, 159) describe las lagunas de oxidación como “estanques bajos excavados en el terreno que tienen el propósito de purificar las aguas residuales sedimentadas u otros residuos en condiciones climáticas que favorecen el desarrollo de algas, calor y luz solar.”

El proceso se basa en la simbiosis entre las bacterias saprofitas y las algas. La descomposición bacteriana de la materia orgánica desprende grandes cantidades de CO₂, esto hace que proliferen las algas que a su vez desprenden oxígeno, que oxida la materia orgánica. Estas lagunas de oxidación son relativamente bajas 0.60 a 1.20 m. Para aguas residuales sin sedimentar se pueden utilizar lagunas más profundas.

C. Tratamiento de los lodos

De los sólidos extraídos de las aguas residuales (arena, basura y lodos); los lodos, son sin duda a los que se les aplica un tratamiento más completo debido a sus características, que dependen de varios factores como: el tipo de sistema de recolección de aguas residuales (separado o unitario), la cantidad y características de los residuos industriales que se vacían en las redes colectoras y del tipo de tratamiento que reciben las aguas residuales.

En general el tratamiento de los lodos se divide en: digestión y secado de lodos. En el proceso de digestión, la materia orgánica que compone los lodos es descompuesta en productos más estables (fósforo, nitrógeno, potasio, ácidos orgánicos, etc.) que facilitan su disposición. Mientras que en el proceso de secado, el agua remanente en los lodos es evaporada, dejando el lodo seco que se puede utilizar como fertilizante.

1. Digestión de lodos

En su libro Sewage Treatment, Imhoff y Fair (Fair y Geyer, 1979, 168) describen tres etapas en el proceso de digestión de lodos frescos y son:

Fermentación ácida. Esta primera etapa de digestión es de corta duración (alrededor de 2 semanas a una temperatura promedio de 16° C), se caracteriza por la producción de ácidos y olores putrefactos.

En esta etapa los productos atacados por las bacterias son los azúcares, almidones (carbohidratos o hidratos de carbono), los compuestos solubles nitrogenados y las grasas. Los productos de descomposición son ácidos orgánicos, anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y carbonatos ácidos. El pH se encuentra por debajo de seis.

Regresión o período ácido. En esta etapa que dura alrededor de tres meses son atacados los ácidos orgánicos y compuestos nitrogenados, con formación de compuestos de amonio, bicarbonatos y pequeñas cantidades de hidrógeno y CO₂. Los olores son muy penetrantes y el pH se mantiene debajo de seis, pero sube lentamente hasta 6.6 y aún 6.8.

Fermentación alcalina. En esta etapa son atacados los compuestos más resistentes, tales como los nitrogenados, proteínas, aminoácidos y lignocelulosa. Los productos principales de descomposición son: amoníaco, sales de ácidos orgánicos, CO₂, H₂S, y CH₄. Los gases contienen alta proporción de metano, alrededor del 60% de volumen. El pH pasa de 7 y aun valores de 7.4.

Los períodos de fermentación y regresión ácida (período de maduración), se desarrollan solo en los lodos frescos. Si se ha establecido la fermentación alcalina, los lodos son ricos en enzimas y con una flora bacteriana característica de este estado, lo que incide en el período de digestión de los lodos frescos agregados. Los ácidos generados en el período de maduración no son suficientes para bajar el pH y particularmente se elimina el

prolongado período de regresión ácida, circunstancia que reduce apreciablemente el tiempo total de digestión.

Entre los principales factores que influyen en el proceso de digestión se encuentran:

Temperatura. Es uno de los factores de mayor importancia, ya que a mayor temperatura, menor es el tiempo de digestión de los lodos. Según la temperatura la digestión de los lodos puede ser mesofílica o termofílica. La digestión mesofílica se desarrolla a temperaturas de 20° C a 40° C y tiene un período de digestión de 25 días, mientras que la digestión termofílica se lleva a cabo a temperaturas de 50° C a 57° C con un período de digestión de 15 días. En algunos casos es necesario recurrir a fuentes externas de calor para mantener la temperatura apropiada de los lodos.

Siembra. La mezcla de los lodos frescos y digeridos constituye la siembra de los lodos. El objetivo de la siembra de los lodos es que se establezca rápidamente la fermentación alcalina indispensable para reducir el tiempo de digestión. Para una buena operación, los lodos frescos deben inyectarse diariamente y a una tasa constante tendente a mantener siempre la reacción alcalina.

Agitación La agitación mejora la mezcla de lodos digeridos y frescos, reduce las zonas ácidas y disminuye el espesor de la costra de la superficie. **pH** El pH es un factor que desempeña un papel funcional en la digestión. Debe subir a 7 una vez establecida la fermentación alcalina.

La digestión de la materia orgánica se lleva a cabo en diversos tipos de estanques, que se clasifican como sigue: fosa séptica, estanque de doble altura o pozo Imhoff, estanque de digestión separada y estanques separados para la digestión por etapas. En las plantas de tratamiento se usan solo los 2 últimos, que a continuación describiremos.

a. Estanque de digestión separada

Estos estanques generalmente tienen forma circular, con pendientes de fondo que pueden variar de 1:1 a 4:1. En el caso de que se utilicen sistemas mecánicos de recolección de lodos, el fondo puede ser bastante plano. Se recomienda que la profundidad de los estanques no sea menor a 6 m para favorecer el proceso de digestión. Los lodos frescos se inyectan por una entrada situada a media profundidad, a fin de mezclarlos con los lodos digeridos o en digestión. Generalmente los estanques se

encuentran cubiertos con recolectores de gas, además de contar con un sistema de calefacción, formado por serpentinas sumergidas en el estanque de digestión, que tiene por objetivo calentar los lodos a fin de acelerar la digestión. La energía utilizada en algunas de las plantas proviene del metano que se forma en la digestión.

b. Estanques separados para digestión por etapas

En este caso la digestión de los lodos se realiza en varios estanques colocados en serie. El primero, equipado con colector de gas, sistemas de calefacción y a veces con mecanismos de agitación de lodos. En éste se mantiene el lodo por un corto período (1 ó 2 semanas) a temperaturas mesofílicas. En el segundo estanque, los lodos continúan digiriéndose a una tasa más lenta, sin calefacción, pero equipado con un sistema recolector de gas. Como resultado, se obtiene un líquido sobrenadante bastante claro que se extrae sin dificultad. El tercer estanque, es utilizado para compensar fluctuaciones.

2. Secado de lodos

Los lodos una vez digeridos, deben someterse a un proceso de secados para eliminar el exceso de agua que contienen. El secado de los lodos puede ser primario o secundario. El secado primario es el que solo emplea la energía solar, mientras que el secado secundario utiliza una fuente de calor externa.

a. Secado primario:

El secado primario se puede realizar por cualquiera de estos dos métodos: patios de secado o filtro de lodos.

Patios de secado. Los patios de secado están constituidos por una capa porosa de alrededor de 0.30 m de espesor, asentada sobre una capa de piedra triturada que varia entre 0.15 o 0.10 m de espesor. Bajo la capa de piedra triturada se encuentra un sistema de desagüe, que capta el líquido drenado por medio de una parrilla de tubos de 4" a 6" de diámetro.

En plantas de pequeña y mediana magnitud, los patios de lodos han dado buen resultado con lodos bien digeridos. Reduciendo el contenido de humedad hasta en un 60%, sin causar malos olores o desarrollo de moscas. En plantas pequeñas, los patios de secado se

construyen con un ancho que varía de 6 a 10 m. El largo común es menor a 30 m. La pendiente superficial del orden de 0.5%. Los lodos provenientes del digestor se hacen escurrir por la cancha hasta conseguir un espesor de 0.20 a 0.30 m.

En los patios de secado de lodos, los sólidos son arrastrados hacia la superficie, debido a la presencia de gases retenidos, dejando un agua relativamente clara, que se filtra o evapora por lo que los lodos se van depositando lentamente sobre el fondo de los patios.

Al secarse los lodos, la superficie se va agrietando y los gases se escapan; los lodos pueden utilizarse como: acondicionador del suelo, fertilizante (contiene nitrógeno, fósforo y potasio).

Filtro de lodos En los filtros de lodos, los de vacío son los más usados para reducir el contenido de agua. El medio filtrante es un material de algodón, nailon o lana soportada por una malla de alambre. La duración de la tela varía apreciablemente. La tela filtrante forma parte de un tambor rotatorio separado en varias celdas, en las cuales se puede producir el vacío. El cilindro gira semisumergido (15 a 20%) a una velocidad periférica del orden de 30 m/min., en el canal a través de los cuales escurre el lodo.

Se crea un vacío en la celda sumergida (12" a 26" de Hg) para adherir a la tela una capa de sólidos de espesor suficiente (1/16" a 1/4"). Los sólidos son removidos del tambor mediante un raspador y transportados para su disposición final. El líquido que pasa al interior del tambor se vierte en las aguas receptoras.

b. Secado Secundario

El secado secundario de los lodos se realiza por medio de hornos incineradores de lodos.

Hornos incineradores. Los hornos incineradores operan a temperaturas alrededor de los 1500 ° C. En las plantas de tratamiento de aguas negras generalmente se utilizan los hornos secadores rotatorios. Hay varios tipos y su elección depende del costo y condiciones locales. Para el secado se emplea además la pulverización de lodos dentro de torres con circulación de gases calientes, de manera que el agua se evapora y los sólidos se depositan en el fondo de la estructura. Para poder vender los lodos como abono, su humedad debe ser como máximo 10%. Los lodos frescos no deben ser utilizados como abono por sus olores, contenido de grasas, semillas y especialmente por los organismos patógenos.

V. ACUEDUCTO NACIONAL XAYA-PIXCAYA

La escasez de agua potable en la ciudad de Guatemala, obligó a las autoridades a buscar fuentes de agua que cubrieran la demanda de la población. Fue por eso que en el año 1961, el Ministerio de Defensa puso en marcha el proyecto del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá, cuyo objetivo era incrementar los caudales de agua potable de la Ciudad de Guatemala, de la Antigua Guatemala y de otras 16 poblaciones más del Valle de la Antigua, mediante el uso de las aguas de los ríos Xayá y Pixcayá, además de otros ríos menores.

A continuación se realizara una breve descripción del proyecto, sus alcances, etapas y su situación actual. Algunos datos de la información aquí presentada se sustrajeron del "Informe de Preinversión de la primera etapa" realizado por el Servicio de Ingenieros del Ejército.

A. Poblaciones a servir

El Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá ha sido diseñado para servir a 18 núcleos de población en los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez. Estos núcleos incluyen Cabeceras Departamentales, Cabeceras de Municipios y algunas Aldeas de los mismos. En la tabla 5.1 aparecen las poblaciones consideradas en la planeación del acueducto Xayá-Pixcayá.

B. Captaciones

El proyecto del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá tiene previsto la captación de los siguientes ríos:

Río Pixcayá Este río pertenece a la cuenca Atlántica como afluente del río Motagua. Su captación se realizara al noroeste de la población de Chimaltenango, recurriendo a dos presas escalonadas en el río a fin de crear embalses capaces de almacenar los volúmenes necesarios para la regularización anual del caudal total del río.

Río Xayá La captación del río Xayá, que pertenece a la cuenca del Pacífico, se realizara un poco abajo del punto donde la carretera Patzicía-Patzún cruza el río Xaya, contemplándose la formación de un embalse regulador.

Tabla 5.1

Poblaciones consideradas en la planeación del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá

| Área | Cabecera de Municipio | Aldeas de Municipio | Población en el censo de 1964 | |
|--|---|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | | | Población | Total en el Depto. |
| Departamento de Guatemala | 1. Ciudad de Guatemala * (Área Metropolitana) | Santa Rosita | 567,745 | 586,199 |
| | | Acatán | | |
| | | Los Guajitos | | |
| | | El Rindeo | | |
| | | Sabana Arriba | | |
| | | Las Vacas | | |
| | | Rodriguitos | | |
| | | Jocotales ** | 14,125 | |
| | | Ciudad Real ** | 3,140 | |
| | | Castañas ** | 1,189 | |
| | | 1a. Villa Nueva *** | 6,062 | |
| | 1b. Ramírez (Bárcenas) *** | 1,261 | | |
| | 1c. Najeriza *** | 223 | | |
| | 1d. San José *** | 3,215 | | |
| | 1e. El Tabloncito *** | 185 | | |
| Departamento de Sacatepéquez | 2. Antigua Guatemala **** (Área Metropolitana) | Santa Ana | 17,882 | 42,927 |
| | | San Bartolomé Becerra | | |
| | | San Cristóbal el Bajo | | |
| | | San Felipe de Jesús | | |
| | | Sta. Inés del Monte Pulciann | | |
| | | Sta. Isabel | | |
| | | 3. San Juan Obispo | 1,148 | |
| | | 4. San Juan Gascón | 117 | |
| | | 5. San Pedro las Huertas | 929 | |
| | | 6. Sta. Catarina Bobadilla | 235 | |
| | | 7. Alotenango | 4,718 | |
| | | 8. Ciudad Vieja | 5,721 | |
| | | 9. San Lorenzo el Cubo | 964 | |
| | | 10. Jocotenango | 1,653 | |
| | | 11. Pastores | 2,176 | |
| | | 12. San Lorenzo el Tejar | 713 | |
| | | 13. San Luis las Carretas | 282 | |
| | | 14. San Antonio Aguas Calientes | 2,708 | |
| 15. San Andrés Ceballos | 273 | | | |
| 16. Santiago Zamora | 267 | | | |
| 17. Santa Catarina Barahona | 916 | | | |
| 18. San Miguel Dueñas | 2,225 | | | |
| TOTAL DE POBLACION (1964) CONSIDERADA EN LA PLANEACION ***** | | | 629,126 | |

* Además Cabecera del Departamento de Guatemala y Capital de la República de Guatemala.

** Son Aldeas de otros municipios pero forman ya parte del Área Metropolitana de Guatemala.

*** Estas cifras (10,946 Hab) no consideradas en el estudio de incremento de población, pues serán absorbidas por el área metropolitana de Guatemala dentro de la tasa de crecimiento de 5% anual determinado para esta área.

**** Además Cabecera del Departamento de Sacatepéquez.

***** El total incluyendo toda la población es 640,072 Hab.

Río Itzapa Pertenece a la cuenca del Pacífico, su captación se realizará creando un embalse regulador en un punto un poco a arriba de su confluencia con la Quebrada del Rastro de Chimaltenango.

Río Parramos Este río también pertenece a la cuenca del Pacífico. Su captación se realizará por un embalse regulador en el punto donde se reúnen los afluentes Negro y Panaj. A este embalse se le agregaran las aguas del riachuelo Pasigüán.

Río Coyolá Perteneciente a la cuenca Atlántica, el río Coyolá se captará en un punto situado aproximadamente a un kilómetro aguas arriba de su confluencia con el Río Pixcayá, por medio de una presa que desviara los caudales requeridos hacia el embalse situado en el río Pixcayá.

C. Conducción

El Proyecto total contempla efectuar la conducción por un acueducto de gravedad cuyo trazo se basa en reunir las aguas de los ríos Pixcayá y Xayá en un punto situada en el valle del río Guacalate al sur de Chimaltenango, de donde serán conducidas siguiendo la cuenca de este río hasta las poblaciones del valle de la Antigua; a continuación cruza por un túnel el macizo montañoso que separa este valle del de Guatemala y faldeando las montañas al poniente de lo capital, llega hasta el sitio de la planta de purificación cerco de Mixco.

Las aguas captadas del río Pixcayá serán conducidas al punto de unión al sur de Chimaltenango por un túnel; y los aguas del río Xayá, captadas más altas, a través de una línea que incluye túneles y conducción superficial. En este tramo se podría aprovechar una caída en el trazo para la instalación de una hidroeléctrica. La conducción del Xayá hasta el valle del río Guacalate presenta dos alternativas, ambas haciendo la conducción previamente a la cuenca del río Pixcayá, de donde serían encauzadas al acueducto por el túnel de Chimaltenango. La primera de estas alternativas es limitarse a conducir el agua hasta el río Balanyá que es afluente del Pixcayá aguas arriba de la captación, con lo que se reduce la distancia del acueducto a construir pero se pierde la posibilidad de instalar la hidroeléctrica y sería necesario obras de protección en el río Balanyá para no erosionar excesivamente su cauce con el caudal incrementado. La segunda alternativa sería hacer la

conducción de las aguas del Xayá al punto de captación del Pixcayá, donde se podría instalar la hidroeléctrica con la caída existente.

Los caudales de los ríos menores considerados en el Proyecto serían introducidas al acueducto por medio de cortas conexiones entre el punto de captación y la línea de conducción, a excepción del río Coleyá que sería introducido al embalse del Río Pixcayá.

La conducción será básicamente hecha por canales superficiales de tipo cerrado, recurriéndose a sifones a presión, de tubería de acero, para cruzar las depresiones mayores que no es práctico bordear; y a túneles. De estos últimos se tienen dos categorías según la necesidad de ellos para el desarrollo del acueducto. Los primeros que, en general, son túneles largos, son obligados para el desarrollo, tales como el túnel de Las Cañas entre el valle de Guatemala y el de la Antigua; el túnel de Chimaltenango entre el río Pixcayá y el Guacalate; el túnel Patzicía entre el río Xayá y el Balanyá; y el de Zaragoza entre el Balanyá y la cuenca del río Guacalate. La segunda categoría es la de túneles menores que se utilizan en el trazo cuando su empleo permite una conducción más económica que el bordeo por canal.

D. Plantas de purificación

En el Proyecto total se contempla la construcción de dos plantas de purificación principales y una tercera auxiliar. De las principales una estará destinada a abastecer a la ciudad de Guatemala y situada cerca de la población de Mixco a suficiente altura para surtir por gravedad a toda la extensión del desarrollo probable del área metropolitana de Guatemala. La otra servirá el área metropolitana de la Antigua y las poblaciones menores en este valle y estará situada al norte de la ciudad de Antigua, también a conveniente altura para proporcionar servicio por gravedad. La planta auxiliar estaría destinada a servir al área sur de crecimiento de la ciudad de Guatemala y su conveniencia tendrá que ser determinada en el futuro conforme al desarrollo urbano.

Las plantas de purificación serán del tipo de filtración rápida con facilidades para cloración y fluoración.

E. Redes de distribución

Se contempla la ampliación y mejora de las redes de distribución existentes en las poblaciones para mantener un servicio con capacidad y presión adecuada en todas las áreas a servir. En lo posible, las líneas y depósitos ya existentes serán utilizados como parte de las redes proyectadas. Para el caso de la ciudades de Guatemala y la Antigua los abastecimientos existentes continuarán en funciones y se deben incluir en el diseño de las redes.

F. Plantas hidroeléctricas

Sin que sean parte fundamental del Proyecto de introducción de nuevos caudales o las poblaciones, en el acueducto existe la posibilidad de instalación de varias hidroeléctricas impulsadas por los caudales a conducirse.

La mayor de estas posibilidades está en la conducción de los aguas del río Xayá hacia el valle del río Guacalate con una caída de unos 200 metros. Las otras hidroeléctricas posibles son basadas en utilizar la altura de los embalses de almacenamiento en los ríos Pixcayá y Xayá.

Otro aspecto de las hidroeléctricas en el presente Proyecto lo constituye la actual planta para Chimaltenango que es accionado por las aguas del río Pixcayá a unos 12 kms aguas abajo de la captación y que resultará afectada por lo disminución del caudal a utilizarse para agua potable.

G. Etapas

Dado el costo del acueducto y a fin de reducir los gastos de financiación, se tiene programada la construcción total de los obras por etapas. Para la fijación de éstas, se compararon los caudales que se obtendrán de cada una de las fuentes contempladas con la curva de demanda de agua y se estudiaron las obras que debían efectuarse en cada etapa tomando en cuenta sus posibilidades prácticas de construcción y su obligatoriedad dentro del concepto de realización total del Proyecto. Se tomó en cuenta también que las obras a construirse fueran definitivas y utilizables a toda capacidad en el futuro desarrollo. Se determinaron así las partes del total de la obra a construirse como primera etapa y se establecieron las posibilidades para las próximas.

Según lo expuesto anteriormente, las principales obras en cada etapa serán las siguientes:

Primera etapa Captación mínima del río Pixcayá, Línea de Conducción hasta la ciudad de Guatemala, una Planta de Purificación y parte de la Red de Distribución en Guatemala.

Segunda etapa Captación del río Xayá, presa para embalse del río Xayá, conducción desde la captación hasta el acueducto del Pixcayá en el valle del río Guacalate, planta de Purificación para el valle de Antigua y Red de Distribución en la Antigua. Además ampliación de la planta de Purificación y extensión de la Red de Distribución de Guatemala.

Tercera etapa Presas para embalse en el río Pixcayá, Hidroeléctrica en la conducción del Xayá, construcción del segundo conducto entre el punto de unión de las aguas del Xayá y Pixcayá y la Planta de Purificación en Guatemala; tercera ampliación de la Planta de Purificación de Guatemala (o la alternativa de construir otra cerca de Villa Nueva) incluyendo la completación de la Red de Distribución de la Capital y extensión de la Red de Distribución en el valle de Antigua para incluir las poblaciones menores.

Cuarta etapa Captación, y embalses de los ríos menores y sus conexiones al acueducto.

H. Estado Actual de construcción del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá

En la actualidad, el Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá se encuentra operando y le proporciona agua a la ciudad de Guatemala, aunque su construcción nunca se finalizó, ya que el área en que se encuentra el acueducto es de alto riesgo sísmico, por lo cual las entidades bancarias que facilitarían el préstamo al estado de Guatemala decidieron no avalar la construcción de las etapas restantes.

De las cuatro etapas planificadas para dicho proyecto se finalizó sólo la primera etapa, mientras que de la segunda se construyó la captación y conducción del río Xayá hasta el acueducto de Pixcayá en el valle del río Guacalate.

Es de observar que la línea de conducción con todos sus túneles y sifones se construyó para transportar el caudal total del proyecto 1,730 lts/seg (caudal máximo estimado) aún que en la primera etapa el caudal estimado era de 650 lts/seg.

VI. PLANTA LO DE COY

Parte del agua que suple a la ciudad de Guatemala proviene de los ríos Xayá y Pixcayá. Esta es transportada por un acueducto compuesto de canales, túneles y sifones con un largo de 52.7 kilómetros a la planta Lo de Coy ubicada en Mixco.

De acuerdo a los exámenes realizados por Córdón y Mérida, Ings, las agua de los ríos Xayá y Pixcayá son relativamente suaves (tienen poca dureza), de alcalinidad moderada, un PH un poco mayor de 7.5, turbidez y color variable, contenido de hierro un poco alto en la época lluviosa, y contenido de flúor natural alrededor de 0.15 miligramos por litro.

Con base a estas características la planta de tratamiento Lo de Coy se diseño para dar al agua un tratamiento de sedimentación con coagulantes para remover turbidez y color, seguido de filtración rápida como tratamiento de afinación y cloración continua.

A continuación se describirán todos y cada uno de los procesos de la planta de Lo de Coy, dicha descripción se substrajo del documento “**Planta Lo de Coy, Acueducto Nacional Xayá Pixcayá**” editado por el Ing. Hugo Romeo Masaya, con la contribución de los Ings. Octavio Córdón y Luis Felipe Mérida.

A. Canal de entrada

El agua procedente del acueducto ingresa a la Planta por la Caja de Entrada, provista de una reja para retener los objetos que el agua arrastre. En el fondo se ha colocado una válvula de lodos mediante la cual se retirarán las sustancias sedimentadas. Existe en esta caja un vertedero para evacuar el exceso de agua hacia una derivación que rodea la planta y descarga en una quebrada vecina.

De esta caja, el agua pasa al Canal de Entrada, en el que, sucesivamente se añaden al agua, cloro, cal hidratada, sulfato de aluminio y silicofluoruro de sodio. El cloro cumple con el cometido de controlar los olores, evitar crecimientos de organismos, tanto en los sedimentadores como en los filtros. El objetivo de la adición de cal hidratada es ajustar la alcalinidad del agua, con el fin de facilitar las reacciones químicas posteriores.

El sulfato de aluminio tiene por misión producir la coagulación (es decir, el floculo) para que pueda realizarse una sedimentación rápida y eficiente en la fase que sigue.

El silicofluoruro se añade al agua para inhibir y prevenir la caries dental en la población infantil que consume el agua. Adelante de los puntos de aplicación de las sustancias químicas, se ha construido un medidor Parshall de caudales; este dispositivo, aparte de su misión directa, produce agitación en el agua que pasa por él, contribuyendo a una mezcla adecuada de las sustancias. Finalmente, el canal de entrada desemboca en un canal repartidor de agua cruda que surte a los tanques floculadores.

B. Dosificadores

La planta Lo de Coy cuenta con cuatro dosificadores de sustancias en polvo que son utilizados de la siguiente manera: dos unidades para sulfato de aluminio, una unidad para cal hidratada, y una unidad para silicofluoruro de sodio. Los dosificadores tienen la función de medir las sustancias según las dosificaciones fijadas, y, luego hacerlas llegar a tanques de dilución. En cada uno de esos, tanques se aplica agitación suficiente para hidratar la sustancia en polvo y mezclarla con el agua en la concentración deseada. De cada uno de estos tanques, las sustancias diluidas son llevadas hasta el punto de aplicación por tuberías que descargan en la masa de agua por medio de eductores (bombas accionadas por agua a presión).

Para la aplicación del cloro se han instalado cuatro cloradores en los que se mide y controla el flujo de cloro; la presión disminuye a valores por debajo de la atmosférica en los cloradores y el gas se conduce a los puntos de aplicación mediante tuberías al vacío. En los puntos de aplicación el cloro pasa a través de un eductor, se disuelve en agua, y se le aplica presión suficiente para que entre a la masa de agua.

En todos los puntos de aplicación, para medir los flujos que pasan por los eductores, se instalaron orificios con rotámetros. Los rotámetros son dispositivos con pocas partes móviles, lo cual garantiza una operación confiable.

C. Floculadores

Del canal repartidor de agua cruda, el agua fluye a los tres floculadores. Los floculadores son del tipo hidráulico de vuelta en punta, en los cuales se produce la turbulencia necesaria para que la mezcla se realice con la lentitud apropiada. Cada uno de los floculadores está dividido en cuatro diferentes tramos en los que los espaciamentos

de las pantallas son diferentes. En el primer tramo, las pantallas están muy próximas; en el último, están muy separadas. De manera que la turbulencia disminuye al final del floculador, con el fin de preparar las condiciones para que el agua ingrese a los sedimentadores con poca agitación.

Cada uno de los floculadores tiene un período de retención de 25 minutos para el caudal de diseño de 960 litros por segundo; al quedar fuera de servicio uno de ellos, el período de retención para el mismo caudal es de 19 minutos.

D. Sedimentadores:

Los sedimentadores son cuatro tanques de concreto que miden 15.90 metros de ancho por 57.80 metros de largo, con una profundidad útil de 4 metros. A la entrada de cada uno de ellos se construyeron dos paredes de concreto con agujeros para que el caudal que ingresa se reparta uniformemente a todo lo ancho.

En el fondo de los sedimentadores hay válvulas para extraer los lodos acumulados, cada tres o cuatro meses. Para esta operación, el tanque debe vaciarse totalmente a través de la válvula de lodos. Luego, se lavará el tanque con agua a presión. El agua de lavado se tomará de otro sedimentador.

Cada sedimentador ha sido diseñado para una carga superficial de 22.5 metros cúbicos por metro cuadrado por día, y un período de retención de 4.25 horas, para el caudal medio de diseño. En caso de que uno de los sedimentadores quede fuera de servicio, los valores suben a 30 y 3.2 respectivamente.

Cuando los sedimentadores están operando, el agua sale de ellos a través de una serie de orificios sumergidos que descargan en canaletas recolectoras. En cada sedimentador hay cuatro de estas canaletas construidas en la parte superior del sedimentador. Este arreglo tiene la doble ventaja de que se retira del sedimentador el agua que, por estar arriba, está más limpia; y además, permite la operación de los filtros a un régimen de nivel constante. Las canaletas recolectoras desaguan en el canal de agua sedimentada.

El que los filtros operen con régimen de nivel constante representa la ventaja de que los cambios o fluctuaciones del caudal que pasa por ellos, quedan inmediatamente absorbidos por el cuerpo de agua que hay en los sedimentadores, dada su enorme área superficial.

E. Filtros

De los sedimentadores, el agua fluye a las instalaciones de filtración. Estas instalaciones consisten en: canales auxiliares de entrada, filtros, colector de agua filtrada y galería de mandos. Aguas arriba, los filtros están conectados con los tanques de sedimentación (como vagos comunicantes) y tienen el mismo nivel que ellos; aguas abajo, los filtros descargan sobre un vertedero de cresta fija, hacia el colector de agua filtrada. Tanto en la entrada a los filtros como en el colector de agua filtrada, se harán aplicaciones de cloro; en el primer punto, con el fin de mejorar la operación de filtrado, reducir y regular la carga bacteriana y controlar la formación de bolas de lodo; en el segundo punto, para desinfección antes del almacenamiento.

Los filtros son del tipo rápido por gravedad, y han sido diseñados para operar de acuerdo al principio de tasa declinante, lo que permite fijar, luego de cada lavado, la tasa de filtración; ésta disminuye a medida que el filtro se atasca. Estos consisten en materiales granulares colocados sobre un fondo falso perforado. Sobre este fondo falso se coloca una capa de 8 centímetros de grava (grano de 13 a 25 mm); sobre ella, descansa una segunda capa de 8 centímetros de grava (grano de 6 a 13 mm); encima, se coloca una tercera capa de 15 centímetros de grava (grano de 1 a 6 mm). Sobre la grava se coloca una capa de arena de 25 centímetros de espesor; la arena tiene un tamaño efectivo de 0.4 mm; y, finalmente, sobre la arena, se coloca un lecho filtrante de antracita, de 50 centímetros de espesor, cuyo tamaño efectivo es 1.1 mm

Se han dispuesto seis filtros, cada uno con un área de filtración de 78 metros cuadrados. La tasa de filtración para las seis unidades, es de 176 metros cúbicos por metro cuadrado y por día. En caso de que uno de los seis esté fuera de servicio, como ocurre cuando se limpia, la tasa de filtración se eleva a 212 metros cúbicos por metro cuadrado por día. Como consecuencia de esto último, el nivel del agua en los filtros restantes necesariamente tiende a subir porque reciben un caudal mayor.

- Para lavar un filtro, el operador tendrá que interrumpir el flujo de agua procedente de los sedimentadores; luego, tendrá que abrir la válvula de lavado de la cual se obtiene agua que pasa a través del lecho filtrante, pero en sentido contrario al de filtración ("retrolavado"). El lecho filtrante resulta expandido en esta operación.

Si hay agua suficiente en los filtros que no se lavan, el agua de lavado se tomará de ellos. Pero si no es suficiente, la apertura de la válvula de lavado hará que disminuya el nivel en los colectores de agua filtrada; esto accionará el arrancador de una de las bombas de lavado, la cual suplirá el déficit, tomando agua del tanque de agua clara.

- Para cada filtro hay una consola de control, desde la cual se gobiernan las válvulas que regulan el flujo; estas válvulas son operadas por presión hidráulica y están sumergidas.
- El caudal combinado producido por los filtros se mide en el Parshail de agua filtrada.

F. Lavado – sistema de recuperación

El agua usada en el retrolavado de los filtros se lleva por gravedad hasta el sistema de recuperación de agua el cual consiste en dos tanques cilíndricos de concreto; el agua entra a uno de ellos y luego de un período razonable de sedimentación, es bombeada hacia el canal de entrada de agua cruda de la planta, de donde circula de nuevo por todo el proceso.

Periódicamente se retiran los lodos sedimentados, mediante una válvula. Los dos tanques están interconectados, y sobre la conexión se han instalado las bombas que envían el agua al canal de entrada. El volumen útil de cada tanque es de 612 metros cúbicos, con un diámetro de 14 metros y una profundidad de 4 metros.

También se obtiene agua cuando se lavan los sedimentos, pero esta no se recupera, sino que se evacua por las válvulas que tienen esos tanques en el fondo, y se conduce a un colector fuera de la planta. La operación de lavado de los sedimentadores se efectúa cada tres o cuatro meses, o cuando el operador lo juzgue necesario.

G. Tanque de aguas claras

El agua procedente de los filtros, recibe una dosis de cloro de 3 a 5 p.p.m (COGUANOR-NGO 29 001-4.4) antes de ingresar al Tanque de Aguas Claras. Este tanque tiene un volumen de almacenamiento de 25,000 metros cúbicos, y está construido a un nivel tal que recibe el agua filtrada por gravedad, y puede alimentar los tanques de

almacenamiento que han sido proyectados en la ciudad, y también alimentar la red de distribución, por gravedad.

El tanque está totalmente techado con una losa de concreto, con el fin de mantener la calidad del agua tratada.

la salida del tanque se instaló un punto de control y en él existe un medidor magnético especial que registra los caudales que salen de la planta. Para no interrumpir el abasto a la ciudad en los casos en que sea necesario dejar este tanque fuera de servicio, se instaló una tubería de acero de un diámetro de 30" ("Bypass") que rodea al tanque. Mediante esta tubería se conduce el agua a la ciudad sin que pase por el tanque y la planta sigue funcionando.

H. Control de caudales y niveles

Con el propósito de disponer de información de los diferentes caudales a lo largo del proceso, hay en la planta varios puntos de control. El primero está situado sobre el canal de entrada, en el que se construyó un medidor Parshall para aforar el caudal de aguas crudas que ingresa al sistema. Este medidor trabaja dentro de un intervalo de 3,000 a 100 litros por segundo. El segundo está situado en el ingreso a los floculadores, ya que cada floculador dispone de un medidor Parshall secundario, cuyo intervalo de medición es de 1,000 a 100 litros por segundo. El tercer punto está situado en el ingreso a los filtros, y consiste en un indicador de nivel con alarma. El cuarto punto está localizado en el canal de agua filtrada, y consiste en un medidor Parshall con indicador de nivel. Este medidor tiene un intervalo de trabajo de 3,000 a 100 litros por segundo. El quinto punto está situado en la tubería que sale del tanque de Aguas Claras hacia la distribución en la ciudad. Consiste en un medidor magnético de 20 pulgadas de diámetro que registra el caudal a la salida de la planta.

Las señales obtenidas en los puntos de medición se transmiten a dos puntos importantes: al Edificio de Operaciones, y al Edificio de Administración.

I. Control de calidad

En el edificio de administración se instaló un laboratorio químico-bacteriológico que fue diseñado y equipado para efectuar todos los análisis químicos y bacteriológicos

rutinarios que se necesitan para el control de la planta, a manera de reajustar la dosificación de sustancias químicas para conservar uniforme la calidad del agua.

VII. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE COMALAPA

Las aguas del río Pixcayá son las receptoras de las aguas residuales de la población de Comalapa. Para proteger las aguas del río Pixcayá se construyó una planta de tratamiento, cuyo objetivo es tratar las aguas servidas de toda la población, para reducir la carga de contaminantes que se vierten en el río Pixcayá, ya que éste es usado para abastecimiento de la ciudad capital de Guatemala.

La planta de tratamiento de aguas servidas de Comalapa utiliza un proceso biológico (filtros percoladores en serie) para tratar las aguas residuales.

A continuación se describirán todas las unidades que conforman la planta de tratamiento de Comalapa.

A. Localización del municipio

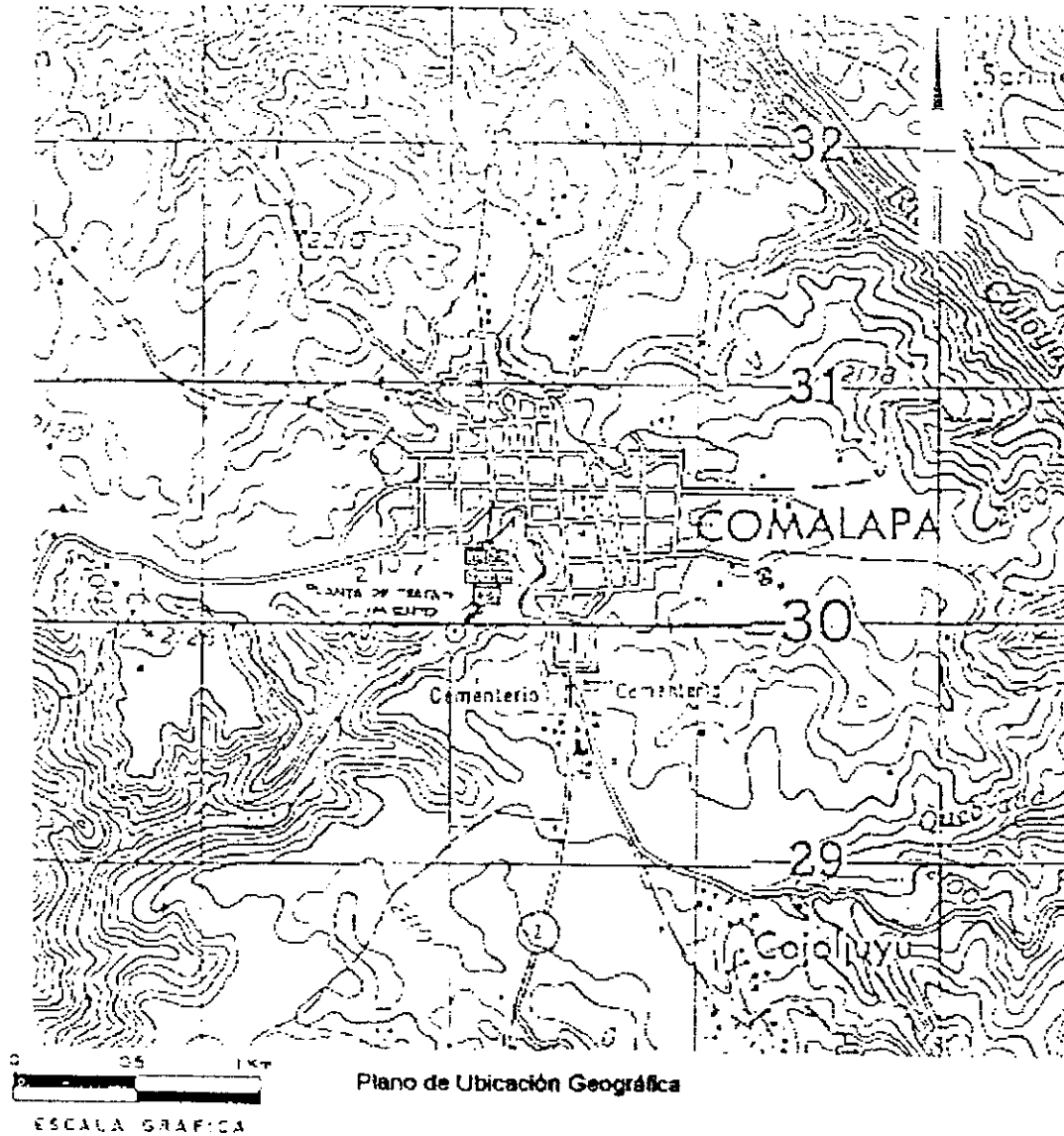
El municipio de Comalapa se ubica en el altiplano central de la República de Guatemala en jurisdicción del departamento de Chimaltenango. Tiene una extensión de 76 km² y una altura sobre el nivel del mar de 2,038 metros. Comalapa colinda al norte con San José Poaquil y San Martín Jilotepeque, al este San Martín Jilotepeque, al sur Zaragoza, Santa Cruz Balanyá y Chimaltenango, al oeste Tecpán Guatemala, Santa Apolonia, San José Poaquil y Santa Cruz Balanyá.

Según los datos proporcionados por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el promedio anual de precipitación en Comalapa es de 1,000 milímetros, su temperatura máxima es de 20° C, una mínima de 10° C y una media de 15° C.

La mayor actividad de Comalapa es la agricultura, produciendo principalmente maíz frijol, trigo y diversos clases de frutas propias de ese clima, tales como manzana, ciruelas, peras, membrillo, etc. También existen varias cooperativas de telares típicos, que tienen gran demanda entre los turistas que visitan el lugar. Productos de barro también son elaborados.

De acuerdo con los datos proporcionados por la municipalidad de Comalapa al Ingeniero Eduardo Dieguez, en 1996, la cabecera departamental de Comalapa contaba con 14,701

habitantes de los que 11,244 tenían servicio de alcantarillado, lo que representa el 76.5% de la población.



(Dieguez,1996)

B. Descripción de la planta

1. Canal de rejjas

El agua residual de Comalapa ingresa a la planta de tratamiento por un canal de entrada de 0.40 x 0.40 metros, provisto de una válvula que al ser accionada puede desviar el agua residual hacia el río, sin pasar por la planta de tratamiento (bypass). El

canal también está provisto de una reja hecha de hembras de hierro de ½" de espesor por una pulgada de ancho y 80 cm de largo con una inclinación de 60°.

2. Pantalla difusora

Ubicada dentro de la parte central del sedimentador primario, consiste en una estructura de sección circular de 3.56 metros de diámetro.

3. Sedimentador primario

Consiste en un tronco de cono Invertido de 7.26 metros de diámetro mayor y 0.30 metros de diámetro menor con una profundidad de 7.55 metros. El agua cruda entra por la pantalla difusora, fluye verticalmente hacia abajo y egresa el agua por la periferia decantando en el canal de 0.40 metros de ancho colocado alrededor del sedimentador. El lodo se evacua mediante la operación de la válvula de compuerta de 6" por medio de la tubería de 6" de PVC que llega hasta el fondo del sedimentador. El lodo es conducido al digestor.

4. Filtro percolador

El sistema consta de las siguientes unidades para su operación:

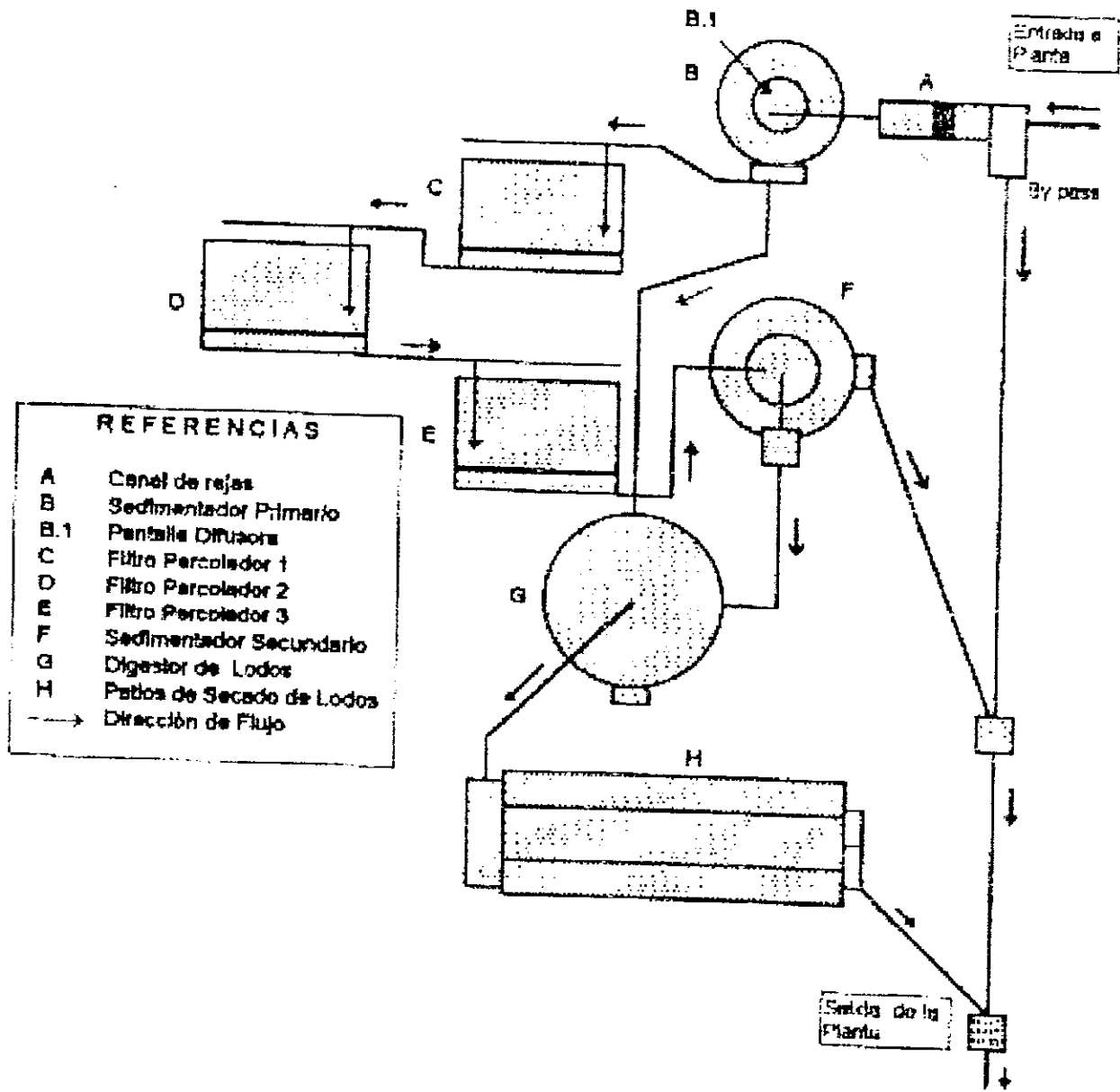
a. Sistema de distribución del agua residual

El sistema de distribución del agua residual está colocado en la parte superior del

filtro y su función es distribuir el agua residual lo más uniforme posible, en la planta se emplean como distribuidores 24 tubos de HG de 2" de diámetro distribuidos proporcionalmente sobre la parte superior del filtro cuya dimensión superficial es de 6.5 x 12 metros.

b. Sistema filtrante

La granulometría de los filtros está descrita en la tabla 7.1, en donde la granulometría (A) tiene una profundidad de 0.50 metros, en la parte superior, luego tiene la granulometría (B) con una profundidad de 2 metros y finalmente la (A) con una profundidad de 0.65 metros, dando una profundidad total para el medio filtrante de 3.15 metros. El material filtrante es roca de origen volcánico.



(Dieguez, 1996)

Tabla 7.1
Granulometría de los filtros

| Filtro No. | Granulometría | |
|------------|---------------|--------|
| | A | B |
| 1 | 5" | 4" |
| 2 | 4" | 3" |
| 3 | 3" | 2 1/2" |

La ventilación en los filtros de la Planta, se logra mediante el recolector secundario (medio tubo de 0 16", perforado), que permite la circulación del aire al medio filtrante.

c. Sistema Recolector

El sistema recolector, recibe el agua residual filtrada y los sólidos desprendidos del medio filtrante, pasando luego a través de un canal de 0.40 metros de ancho ubicada en la parte baja del lecho filtrante a la siguiente unidad.

5. Sedimentador Secundario

Consiste en un tronco de cono invertido, de 10 metros de diámetro mayor y 0.30 metros de diámetro menor con una profundidad de 9.00 metros. El agua cruda entra por un separador de grasas (similar al del sedimentador primario), fluye verticalmente hacia abajo y egresa el agua por la periferia decantando en el canal de 0.40 metros de ancho colocado alrededor del sedimentador.

Los lodos sedimentados son transportados por gravedad mediante la apertura de una válvula al digestor en una tubería de 6" de PVC.

6. Digestor

Su estructura consiste en un tronco de cono invertido con las siguientes

- dimensiones: 13 m de diámetro mayor y 0.50 m de diámetro menor, altura de 10.50 m, con una capacidad de 480 metros cúbicos. Se caracteriza porque el digestor está destapado; no se utiliza calentamiento y reacción exotérmica a 29°C, (Dieguez, 1996,47).

7. Patios de secado de lodos

Constituidos por una capa superior de arena pómez y otra de grava de manera que el agua puede Infiltrarse con facilidad. Tienen una extensión total de 489 metros cuadrados.

VIII. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentarán los datos que ayudaron a llegar a las conclusiones de este trabajo.

A. Consumo de agua en Comalapa

1. Caudal de agua potable y aguas residuales de Comalapa

De acuerdo con los cálculos realizados por el Ingeniero Eduardo Gaspar Dieguez González (1996, 59), se tiene la siguiente información:

Cabecera municipal de Comalapa 14,701 habitantes

Conexiones domiciliarias 1,874 (Acueductos y Alcantarillados)

Población servida con alcantarillado 1,874 viviendas x 6 hab/vivienda = 11,244 habitantes.

Representa el 76.5 % de cobertura para toda la población.

Dotación por habitante día 150 l/h/d

Se asume que el 70 % del caudal de agua potable se convierte en aguas residuales

El caudal medio de agua potable que se estima surte a la población de Comalapa es:

$$Q_m = 14,701 \times 0.765 \times 150 / 86400 = 19.52 \text{ l/seg.}$$

Se estima que el caudal promedio de aguas servidas que se genera en la población de Comalapa es como sigue: $11,244 \times (150 \times 0.70) / 86400 = 13.66 \text{ l/seg.}$

2. Variación horaria

Para fines de este estudio, es necesario conocer el consumo de agua de la población a las distintas horas del día. El consumo de agua en las poblaciones no ocurre de forma uniforme, sino que varía en las diferentes horas del día, ya que el usuario usa el agua cuando la necesita y en las cantidades necesarias.

Esto implica que a determinadas horas al día el consumo de agua de la población es mayor que el promedio, y que en las noches generalmente el consumo es menor que el promedio, llegando a ser casi nulo. La variación horaria en el consumo del agua de cada población es dictado por una serie de condiciones tales como: el modo de vida del lugar, costumbres, clima, horas de trabajo, etc.

En el caso de Comalapa, no fue posible encontrar la información sobre los consumos de agua de la población pero, afortunadamente, se lograron obtener de la tesis del Ingeniero Víctor Manuel Castillo Hernández (1979,31-46) las tablas de consumo de agua de las siguientes poblaciones: Santiago Sacatepéquez, Ciudad Vieja y Momostenango. Con las que Comalapa comparte similares condiciones.

Dichas tablas servirán de base para obtener un promedio de la variación horaria en el consumo de agua de las tres poblaciones que se asumirá como la variación horaria en el consumo de agua de Comalapa (tabla 8.1), con el que podremos construir la tabla de consumos acumulados (tabla 8.2) y así obtener las curvas de variación horaria (gráfica 8.1) y de consumo acumulado (gráfica 8.2).

Tabla 8.1

Variación Horaria en Porcentaje del Consumo Medio

| Hora Del Día | Santiago Sacatepequez | Ciudad Vieja | Momostenango | % de variación horaria en el consumo de Comalapa |
|---------------|-----------------------|--------------|--------------|--|
| 0:00 - 1:00 | 2.00 | 24.10 | 87.50 | 37.87 |
| 1:00 - 2:00 | 4.00 | 23.26 | 76.50 | 34.59 |
| 2:00 - 3:00 | 2.00 | 31.54 | 61.50 | 31.68 |
| 3:00 - 4:00 | 3.00 | 40.39 | 51.50 | 31.63 |
| 4:00 - 5:00 | 18.00 | 58.85 | 54.50 | 43.78 |
| 5:00 - 6:00 | 28.00 | 115.58 | 73.00 | 72.19 |
| 6:00 - 7:00 | 136.00 | 132.00 | 150.50 | 139.50 |
| 7:00 - 8:00 | 122.00 | 182.00 | 138.50 | 147.50 |
| 8:00 - 9:00 | 184.00 | 246.00 | 142.00 | 190.67 |
| 9:00 - 10:00 | 202.00 | 276.00 | 145.50 | 207.83 |
| 10:00 - 11:00 | 188.00 | 242.00 | 144.50 | 191.50 |
| 11:00 - 12:00 | 170.00 | 193.00 | 139.50 | 167.50 |
| 12:00 - 13:00 | 133.00 | 146.00 | 122.00 | 133.67 |
| 13:00 - 14:00 | 133.00 | 170.00 | 127.00 | 143.33 |
| 14:00 - 15:00 | 133.00 | 184.00 | 129.00 | 167.00 |
| 15:00 - 16:00 | 198.00 | 168.00 | 141.00 | 169.00 |
| 16:00 - 17:00 | 220.00 | 131.00 | 139.50 | 163.50 |
| 17:00 - 18:00 | 231.00 | 92.00 | 125.00 | 149.33 |
| 18:00 - 19:00 | 104.00 | 88.40 | 79.00 | 90.47 |
| 19:00 - 20:00 | 33.00 | 75.78 | 92.00 | 66.93 |
| 20:00 - 21:00 | 16.00 | 58.60 | 71.00 | 48.53 |
| 21:00 - 22:00 | 4.00 | 45.08 | 67.50 | 38.86 |
| 22:00 - 23:00 | 20.00 | 33.11 | 78.50 | 43.87 |
| 23:00 - 24:00 | 6.00 | 26.90 | 82.50 | 38.47 |

Fuente: (Castillo V.M. 1979)

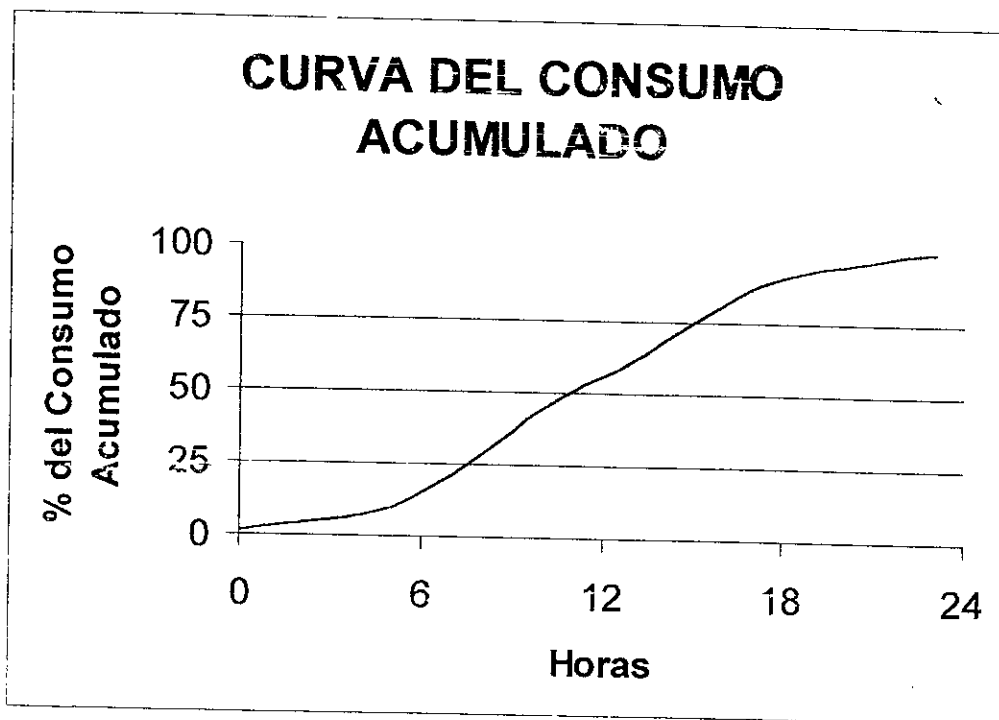
Tabla 8.2

Tabla de Consumos Acumulados de la Población de Coahuila

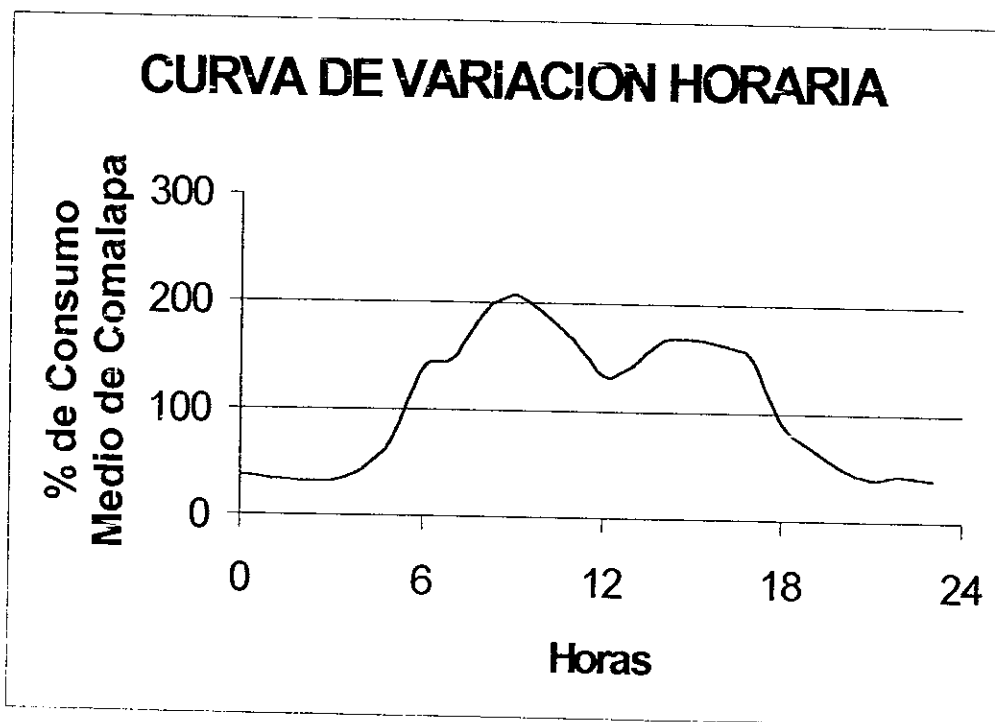
| Hora del Día | % del Consumo Medio | Consumo (lt) | Consumo Acumulado (lt) | Consumo Acumulado en % del día medio |
|---------------|---------------------|--------------|------------------------|--------------------------------------|
| 0:00 - 1:00 | 37.87 | 26609.66 | 26609.66 | 1.49 |
| 1:00 - 2:00 | 34.59 | 24304.74 | 50914.41 | 2.84 |
| 2:00 - 3:00 | 31.68 | 22262.17 | 73176.58 | 4.08 |
| 3:00 - 4:00 | 31.63 | 22227.03 | 95403.61 | 5.33 |
| 4:00 - 5:00 | 43.78 | 30767.42 | 126171.03 | 7.04 |
| 5:00 - 6:00 | 72.19 | 50731.70 | 176902.73 | 9.88 |
| 6:00 - 7:00 | 139.50 | 98029.44 | 274932.17 | 15.35 |
| 7:00 - 8:00 | 147.50 | 103651.20 | 378583.37 | 21.13 |
| 8:00 - 9:00 | 190.67 | 133935.28 | 512518.65 | 28.61 |
| 9:00 - 10:00 | 207.83 | 146048.64 | 658567.29 | 36.77 |
| 10:00 - 11:00 | 191.50 | 134570.88 | 793138.17 | 44.28 |
| 11:00 - 12:00 | 167.50 | 117705.60 | 910843.77 | 50.85 |
| 12:00 - 13:00 | 133.67 | 93930.24 | 1004774.01 | 56.09 |
| 13:00 - 14:00 | 143.33 | 100723.20 | 1105497.21 | 61.72 |
| 14:00 - 15:00 | 167.00 | 117354.24 | 1222851.45 | 68.27 |
| 15:00 - 16:00 | 169.00 | 118759.68 | 1341611.13 | 74.90 |
| 16:00 - 17:00 | 163.50 | 114894.72 | 1456505.85 | 81.31 |
| 17:00 - 18:00 | 149.33 | 104939.52 | 1561445.37 | 87.17 |
| 18:00 - 19:00 | 90.47 | 63572.74 | 1625018.11 | 90.72 |
| 19:00 - 20:00 | 66.93 | 47030.71 | 1672048.82 | 93.34 |
| 20:00 - 21:00 | 48.53 | 34105.34 | 1706154.16 | 95.25 |
| 21:00 - 22:00 | 38.86 | 27307.70 | 1733461.86 | 96.77 |
| 22:00 - 23:00 | 43.87 | 30828.33 | 1764290.19 | 98.49 |
| 23:00 - 24:00 | 38.47 | 27031.30 | 1791321.48 | 100.00 |

$Q_m = 19.52$ l/seg.

Gráfica 8.1



Gráfica 8.2



3. Caudal de aguas servidas por hora que se generará en Comalapa

Debido a que la red de drenajes y alcantarillados de Comalapa es pequeña, se asume que el agua utilizada en el pueblo tarda una hora en llegar a la planta de tratamiento de Comalapa. Con esta concepción y conociendo el caudal estimado de aguas servidas y los hábitos de consumo de agua de Comalapa, nos es fácil obtener el caudal de aguas residuales por hora al día (tabla 8.3).

Tabla del efluente acumulado en la población de Comalapa

Tabla 8.3

| Hora Del Día | Variación del efluente en % del día medio | Efluente (lt) | Efluente Acumulado (lt) | Efluente Acumulado en % del día medio |
|---------------|---|---------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 0:00 - 1:00 | 38.47 | 18641.02 | 18641.02 | 1.51 |
| 1:00 - 2:00 | 37.87 | 18348.67 | 36989.70 | 2.99 |
| 2:00 - 3:00 | 34.59 | 16759.32 | 53749.01 | 4.35 |
| 3:00 - 4:00 | 31.68 | 15350.86 | 69099.87 | 5.59 |
| 4:00 - 5:00 | 31.63 | 15326.63 | 84426.50 | 6.83 |
| 5:00 - 6:00 | 43.78 | 21215.65 | 105642.16 | 8.55 |
| 6:00 - 7:00 | 72.19 | 34982.00 | 140624.16 | 11.38 |
| 7:00 - 8:00 | 139.50 | 67596.12 | 208220.28 | 16.86 |
| 8:00 - 9:00 | 147.50 | 71472.60 | 279692.88 | 22.64 |
| 9:00 - 10:00 | 190.67 | 92389.44 | 372082.32 | 30.12 |
| 10:00 - 11:00 | 207.83 | 100707.72 | 472790.04 | 38.28 |
| 11:00 - 12:00 | 191.50 | 92793.24 | 565583.28 | 45.79 |
| 12:00 - 13:00 | 167.50 | 81163.80 | 646747.08 | 52.36 |
| 13:00 - 14:00 | 133.67 | 64769.52 | 711516.60 | 57.60 |
| 14:00 - 15:00 | 143.33 | 69453.60 | 780970.20 | 63.22 |
| 15:00 - 16:00 | 167.00 | 80921.52 | 861891.72 | 69.78 |
| 16:00 - 17:00 | 169.00 | 81890.64 | 943782.36 | 76.40 |
| 17:00 - 18:00 | 163.50 | 79225.56 | 1023007.92 | 82.82 |
| 18:00 - 19:00 | 149.33 | 72360.96 | 1095368.88 | 88.68 |
| 19:00 - 20:00 | 90.47 | 43836.53 | 1139205.41 | 92.23 |
| 20:00 - 21:00 | 66.93 | 32429.99 | 1171635.39 | 94.85 |
| 21:00 - 22:00 | 48.53 | 23517.31 | 1195152.70 | 96.75 |
| 22:00 - 23:00 | 38.86 | 18830.00 | 1213982.70 | 98.28 |
| 23:00 - 24:00 | 43.87 | 21257.65 | 1235240.35 | 100.00 |

Q_m efluente = 13.66 l/seg

B. Parámetros de contaminación

En los inviernos de 1998 y 1999, la planta de aguas residuales de Comalapa sufrió daños debido al derrumbe de una pared sobre el sedimentador secundario, lo que obligó a detener su funcionamiento. Debido a ello, fue imposible tomar las muestras de agua necesarias para este trabajo. Por lo que se usaron los datos más recientes que se tienen sobre la planta, siendo estos los obtenidos del muestreo realizado por el Ingeniero Eduardo Gaspar Dieguez González del Instituto de Fomento Municipal (INFOM) entre los meses de mayo y agosto de 1996 (tabla 8.4).

Índices de Contaminación Resultados del muestreo en la planta de Comalapa

Tabla 8.4

| | Sólidos Disueltos mg/l | Sólidos Sedimentables mg/l | Oxígeno Disuelto mg/l | DBO ₅ Mg/l | DQC mg/l | pH |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|------|
| Entrada de la planta | 327 | 7 | 1.2 | 99 | 749 | 6.64 |
| Salida de la planta | 255 | 0.93 | 5 | 22 | 200.5 | 7.21 |

(Dieguez, 1996, 62)

Los resultados de DBO₅ y DQO de la tabla 8.4 no son los esperados para esta población, pues esta no tiene industrias que sean capaces de arrojar estos valores.

En su trabajo el Ingeniero Dieguez cree que una toxina en las aguas servidas interfiere con el análisis. Dicha toxina provendría de algunos colorantes que se utilizan para teñir la tela que se utiliza en la confección de los trajes típicos que se fabrican en la región.

C. Características de las aguas residuales de la población de Comalapa

Conociendo el caudal de las aguas servidas a distintas horas del día y las características de contaminación de las aguas que salen del pueblo, podemos saber la carga de contaminación de las aguas residuales de Comalapa a las distintas horas del día (tabla 8.5).

Variación en los índices de contaminación

Tabla 3.5

| Hora Del Día | Efluente M3 | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg |
|---------------|-------------|----------------------|--------------------------|
| 0:00 - 1:00 | 18.639 | 6095.09 | 130.48 |
| 1:00 - 2:00 | 18.349 | 6000.02 | 128.44 |
| 2:00 - 3:00 | 16.759 | 5480.3 | 117.32 |
| 3:00 - 4:00 | 15.351 | 5019.73 | 107.46 |
| 4:00 - 5:00 | 15.327 | 5011.81 | 107.29 |
| 5:00 - 6:00 | 21.216 | 6937.52 | 148.51 |
| 6:00 - 7:00 | 34.982 | 11439.11 | 244.87 |
| 7:00 - 8:00 | 67.596 | 22103.93 | 473.17 |
| 8:00 - 9:00 | 71.473 | 23371.54 | 500.31 |
| 9:00 - 10:00 | 92.389 | 30211.35 | 646.73 |
| 10:00 - 11:00 | 100.708 | 32931.42 | 704.95 |
| 11:00 - 12:00 | 92.793 | 30343.39 | 649.55 |
| 12:00 - 13:00 | 81.164 | 26540.56 | 568.15 |
| 13:00 - 14:00 | 64.77 | 21179.63 | 453.39 |
| 14:00 - 15:00 | 69.454 | 22711.33 | 486.18 |
| 15:00 - 16:00 | 80.922 | 26461.34 | 566.45 |
| 16:00 - 17:00 | 81.891 | 26778.24 | 573.23 |
| 17:00 - 18:00 | 79.226 | 25906.76 | 554.58 |
| 18:00 - 19:00 | 72.361 | 23662.03 | 506.53 |
| 19:00 - 20:00 | 43.837 | 14334.54 | 306.86 |
| 20:00 - 21:00 | 32.43 | 10604.61 | 227.01 |
| 21:00 - 22:00 | 23.517 | 7690.16 | 164.62 |
| 22:00 - 23:00 | 18.83 | 6157.41 | 131.81 |
| 23:00 - 24:00 | 21.258 | 6951.25 | 148.8 |

Tabla 8.5a

| Oxígeno Disuelto mg/lit | DBO ₅ mg/lit | DQO mg/lit |
|-------------------------|-------------------------|------------|
| 1.2 | 99 | 749 |

Los valores de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) se acostumbran manejar en miligramos por litro mg/lit (tabla 8.5a). Debido a que los valores obtenidos en el muestreo realizado por el Ingeniero Dieguez son valores medios se mantienen constantes a través del día.

Es de hacer notar que el oxígeno disuelto es un índice del grado de contaminación presente en las aguas residuales y no un contaminante.

D. Características de las aguas tratadas en la planta de Comalapa

Según las observaciones hechas por el Ingeniero Eduardo Dieguez a la planta de tratamiento de aguas servidas solo ingresa el 63 % (9.3 l/seg) del agua que viene de la línea de descarga (13.46 l/seg), y además, se tiene que tomar en cuenta que la planta de tratamiento de aguas servidas solo trabaja 8 horas diarias (horario de oficina). Es por ello que las únicas aguas que reciben tratamiento son las que entran a la planta de 7: 00 a.m. a 4 p.m. En las tablas 8.6 y 8.6a se puede observar la carga de contaminación que tienen las aguas que entran a la planta, mientras, que en las tablas 8.7 y 8.7a se puede observar la que contienen las aguas luego de haber sido tratadas.

Carga de contaminante del agua al entrar a la planta

Tabla 8.6

| Hora Del Día | Efluente m ³ | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg |
|---------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| 7:00 - 8:00 | 46.7 | 15,272.40 | 326.93 |
| 8:00 - 9:00 | 49.38 | 16,148.24 | 345.68 |
| 9:00 - 10:00 | 63.84 | 20,874.11 | 446.85 |
| 10:00 - 11:00 | 69.58 | 22,753.51 | 487.08 |
| 11:00 - 12:00 | 64.11 | 20,965.34 | 448.8 |
| 12:00 - 13:00 | 56.08 | 18,337.83 | 392.55 |
| 13:00 - 14:00 | 44.75 | 14,633.77 | 313.26 |
| 14:00 - 15:00 | 47.99 | 15,692.08 | 335.92 |
| 15:00 - 16:00 | 55.91 | 18,283.09 | 391.38 |

Tabla 8.6a

| DBO5 mg/lit | DQO mg/lit |
|-------------|------------|
| 99 | 749 |

Carga de contaminante del agua al salir de la planta

Tabla 8.7

| Hora Del Día | Efluente m ³ | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg |
|---------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| 7:00 - 8:00 | 46.7 | 11,909.67 | 43.44 |
| 8:00 - 9:00 | 49.38 | 12,592.67 | 45.93 |
| 9:00 - 10:00 | 63.84 | 16,277.98 | 59.37 |
| 10:00 - 11:00 | 69.58 | 17,743.56 | 64.71 |
| 11:00 - 12:00 | 64.11 | 16,349.12 | 59.63 |
| 12:00 - 13:00 | 56.08 | 14,300.15 | 52.15 |
| 13:00 - 14:00 | 44.75 | 11,411.66 | 41.62 |
| 14:00 - 15:00 | 47.99 | 12,236.94 | 44.63 |
| 15:00 - 16:00 | 55.91 | 14,257.46 | 52 |

Tabla 8.7a

| DBO5 mg/lt | DQO mg/lt |
|------------|-----------|
| 22 | 200.5 |

De las tablas anteriores podemos obtener la tabla de eficiencia de la planta para remover la carga de contaminación del flujo de aguas servidas que entran a la planta de tratamiento (tabla 8.8).

Tabla de eficiencia para remover la carga de contaminación

Tabla 8.8

| | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg | Oxígeno Disuelto mg/lt | DBO5 mg/lt | DQO mg/lt |
|-----------------|----------------------|--------------------------|------------------------|------------|-----------|
| Entran | 162,960.38 | 3,488.45 | 1.2 | 99.0 | 749.0 |
| Removido | 35,881.19 | 3,024.98 | -5.0 | 22.0 | 200.5 |
| Salen | 127,079.20 | 463.47 | 3.8 | 77.0 | 548.5 |
| % de eficiencia | 22.02 | 86.71 | -316.67 * | 77.78 | 73.23 |

(Q_{efluente} = 9.3 l/seg)

* El signo negativo en los valores del oxígeno disuelto de las tablas, indican la recuperación de oxígeno en las aguas residuales.

En la tabla 8.9 se observa la cantidad de sólidos disueltos y sólidos sedimentables que podría eliminar la planta de tratamiento si trabajara las 24 horas del día con el mismo porcentaje de eficiencia.

Resultados que pueden esperarse con funcionamiento continuo de la planta

Tabla 8.9

| | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg |
|-----------------|----------------------|--------------------------|
| Entran | 279,085.03 | 5,974.30 |
| % de eficiencia | 22.02 | 86.71 |
| Removido | 61,449.92 | 5,180.57 |
| Salen | 217,635.12 | 793.73 |

$(Q_{\text{efluente}} = 9.3 \text{ l/seg})$

En las tablas 8.10 y 8.11 se pueden observar los valores de remoción de sólidos y la eficiencia tomando en cuenta el flujo total de aguas servidas que sale del pueblo de Comalapa (13.66 l/seg).

Eficiencia que podría esperarse si la planta tratara el flujo total de aguas servidas que salen de Comalapa (8 horas)

Tabla 8.10

| | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg |
|--|----------------------|--------------------------|
| Total de sólidos de Comalapa | 403,923.07 | 8,646.67 |
| Sólidos eliminados por la planta (8 horas) | 35,881.19 | 3,024.98 |
| Total de sólidos vertidos en el Río | 368,041.88 | 5,621.69 |
| % de eficiencia | 8.88 | 34.98 |

$(Q_{\text{efluente}} = 13.66 \text{ l/seg})$

Eficiencia que podría esperarse si la planta tratara el flujo total de aguas servidas que salen de Comalapa (24 horas)

Tabla 8.11

| | Sólidos Disueltos kg | Sólidos Sedimentables kg |
|---|-----------------------------|---------------------------------|
| Total de sólidos de Comalapa | 403,923.07 | 8,646.67 |
| Sólidos eliminados por la planta (24 horas) | 61,449.92 | 5,180.57 |
| Total de sólidos vertidos en el Río | 342,473.15 | 3,466.10 |
| % de eficiencia | 15.21 | 59.91 |

($Q_{\text{efluente}} = 13.66 \text{ lt/seg}$)

E. Costo de rehabilitación de la planta de aguas servidas de Comalapa

Para el correcto funcionamiento de la planta de aguas servidas de Comalapa es necesaria la rehabilitación de algunas de sus unidades, así como la construcción de unas nuevas.

El Ingeniero Eduardo Gaspar Dieguez González en su estudio especial indica que es necesaria la construcción y rehabilitación de las siguiente unidades: Canal de rejas y desarenador, sedimentador primario y secundario, rehabilitación de filtros y la tubería de interconexión.

A esto hay que agregar el costo de la construcción de un muro para evitar mas derrumbes sobre el sedimentador secundario, la tabla 8.12 resume los costos de dichos trabajos.

Costos de rehabilitación de la planta de aguas servidas de Comalapa

Tabla 8.12

| Actividad | Monto |
|------------------------------------|--------------------|
| Canal de rejas + desarenador | Q6,905.53 |
| Sedimentador primario y secundario | Q75,671.24 |
| Rehabilitación de filtros | Q31,765.20 |
| Tubería de interconexión | Q164.24 |
| Muro sobre sedimentador secundario | Q10,000.00 |
| Total de rehabilitación | Q124,506.21 |

F. Características de la aguas tratadas por la planta Lo De Coy

Para poder describir satisfactoriamente las características de las agua tratadas en la planta Lo De Coy, es necesario realizar una serie de exámenes a las aguas de los rios que

abastecen a la planta, incluso luego de realizar dichos exámenes se debe de tomar en cuenta que las características del agua van a variar dependiendo de la época del año (época seca o lluviosa).

La firma de ingenieros CORDÓN Y MÉDIRA, INGS., realizó una serie de exámenes a las aguas de los ríos obteniendo lo siguiente:

El agua que abastecen a la planta Lo De Coy es relativamente suave (tienen poca dureza), la alcalinidad es moderada, un pH de 7.5, turbidez y color variable, contenido de hierro un poco alto en la época lluviosa y contenido de flúor natural de alrededor de 0,15 miligramos por litro, (reporte de la Planta Lo de Coy, CORDÓN Y MÉRIDA, INGS).

Las características arriba descritas puede que hallan sufrido cambios debido al mal manejo que se le ha dado a las cuencas de los ríos Xayá y Pixcayá, uno de los factores que más problemas puede causar es la deforestación de la región que causa que los niveles de turbidez del agua aumenten.

La Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala es la encargada de operar la planta de tratamiento de Lo De Coy.

Para asegurarse de que el agua que está distribuyendo es potable, EMPAGUA realiza muestreos continuos en todas sus plantas de tratamiento y los envía para ser analizados a el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en donde llevando a cabo los análisis químicos, físicos y bacteriológicos necesarios para determinar si el agua cumple con las normas de calidad COGUANOR NGO 29001 anteriormente descritas en este trabajo.

Las tablas presentadas en el apéndice son un ejemplo de los reportes realizados por el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala a las aguas que ingresan a la planta Lo De Coy, en ellas se observan que las aguas que ingresan a la planta no son bacteriológicamente potables, que sus niveles de nitritos, olor y color son altos (fuera de lo normal), los valores de turbiedad e hierro se encuentran entre los valores máximos permisibles, mientras que resto de parámetros se encuentran en los límites máximos aceptables de normalidad.

G. Costo de operación de la planta Lo De Coy

En la tabla 8.13 se encuentran los costos de operación de la planta Lo De Coy que fueron proporcionados por Enipagua

Costo y Gastos de operación de la Planta Lo De Coy en el año 1999

Tabla 8.13

| Concepto | Costo en Quetzales |
|---|--------------------|
| Costos Directos de Operación y Mantenimiento | |
| Energía Eléctrica | 212,713.10 |
| Depreciaciones y Amortizaciones | 5,095,852.03 |
| Sueldos y Salarios | 1,047,691.24 |
| Químicos | 3,209,659.82 |
| Combustibles, Lubricantes y Mant. | 8,525.49 |
| Mantenimiento | 109,854.20 |
| Otros | |
| SUBTOTALES | 9,684,295.88 |
| Gastos de Administración | |
| Sueldos y Salarios | 17,742,882.41 |
| Prestaciones laborales | 1,125,138.48 |
| Combustibles, Lubricantes y Mant. | 474,400.85 |
| Depreciaciones y Amortizaciones | 2,780,825.35 |
| Arrendamientos | 510,241.27 |
| Papelería y Útiles | 163,214.81 |
| Gastos Financieros | 1,509,110.97 |
| Otros | 30,687,292.41 |
| SUBTOTALES | 54,993,106.55 |
| TOTALES | 64,677,402.43 |
| COSTO POR METRO CUBICO | 1.54 |

IX. CONCLUSIONES

- A. El control de calidad que se les práctica a el agua potable y las aguas servidas, se hace con diferentes fines; por lo tanto, los parámetros para su control son también diferentes y por ello no se pueden comparar.
- B. La evaluación de los resultados obtenidos de los muestreos realizados en la planta de Comalapa, demuestra que la planta sí está removiendo la materia orgánica presente, ya que los valores medios mostraron una eficiencia de 77.78% en la remoción de DBO₅ y una recuperación de oxígeno disuelto de 316,67%.
- C. El mejoramiento y funcionamiento continuo (24 horas) de la planta de Comalapa, no afecta la calidad del agua que llega a la planta Lo De Coy, ya que la carga de contaminantes es muy baja y el proceso de auto depuración de las aguas reduce la carga de contaminantes a límites aceptables antes de que lleguen a la planta Lo De Coy.
- D. El mantenimiento de la planta de tratamiento de Comalapa es muy precario lo que hace que las unidades que la conforman sufran deterioro y daños que alteran su capacidad de diseño y sus rendimientos.
- E. La falta de supervisión en la ejecución de obras auxiliares da como resultado el deterioro de las unidades de la planta.
- F. La falta de información reciente sobre el funcionamiento de la planta, obliga a utilizar información obsoleta por lo que el estudio puede que no se adapte a la realidad actual.
- G. La descarga de la planta de Comalapa se encuentra dentro de las normas internacionales acreditadas, por lo que no se provocan condiciones que pongan en peligro la salud pública o perjudiquen el medio ambiente.

X. RECOMENDACIONES

- A. Es necesario realizar un estudio sobre las cuencas de los ríos Xayá y Pixcayá, tomando en cuenta todos los fuentes de contaminación que se encuentran en ellas para poder elaborar un plan de manejo de las cuencas que nos permita revertir el daño causado y asegurarnos el uso continuo de sus recursos.
- B. Efectuar análisis a las aguas residuales de Comalapa para poder determinar la toxina que alteró los resultados obtenidos de DBO₅ y DQO en las muestras y su procedencia.
- C. Al rehabilitarse la planta de Comalapa, sería conveniente que se realicen muestreos y aforos a fin de evaluar la eficiencia de la planta y tener datos comparativos de análisis.
- D. Darle capacitación al personal que opera la planta de Comalapa con el fin de hacerla funcionar de manera más eficiente.
- E. Desarrollar una programación adecuada para darle mantenimiento constante a las unidades.
- F. Revisar el estudio de ampliación de la planta de Comalapa hecho por el Ingeniero Dieguez, y evaluar si todavía cumple con las necesidades del pueblo y llevar a cabo la ampliación de la planta.

XI. BIBLIOGRAFIA

- Castillo Hernández, V, 1979, Recomendaciones para la determinación de volúmenes de almacenamiento para tanques de distribución de sistemas de agua potable para poblaciones de la República de Guatemala, Tesis para optar al título de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad Mariano Galvez, Guatemala, 159pp.
- Cordón y Merida Ings, Planta Lo de Coy, Acueducto nacional Xayá-Pixcayá, Folleto sin datos de publicación, Editado por el Ing. Hugo Romec Masaya, 20pp.
- Departamento de sanidad del Estado de Nueva York, 1979, Manual de tratamiento de aguas, Editorial Limusa s.a de c.v., México, 89pp.
- Dieguez González, E, 1996, Evaluación y propuesta de mejoramiento para la planta de tratamiento de aguas residuales de la población del Municipio de San Juan Comalapa, Chimaltenango, Estudio especial para optar al título de Maestro (Magister Scientifcae) en Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 35pp,
- Fair G, Geyer J, y Okun, D, 1979, Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, Tomo II, Editorial Limusa s.a. de c.v., México, 764pp.
- Lopera Posada, T, 1997, Plan preliminar de manejo integral de la microcuenca del río Pinúla con énfasis en el recurso hídrico, Tesis para optar al título de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 125pp.
- Metcalf y Eddy, 1981, Tratamiento y depuración de las aguas residuales, Editorial Labor s.a., México, 837pp.
- Oficina del proyecto Xayá – Pixcayá, 1965, Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá. Primera etapa Informe de previsión, Volumen I, Ministerio de la Defensa Nacional, Guatemala. 180pp.

Prado de León, B, 1985 Evaluación de remoción de materia orgánica de la planta de aguas servidas de la población de Comalapa, Tesis para optar al título de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 61pp.

Rivas Mijares, G, 1966, Abastecimiento de agua y alcantarillados (acueductos y cloacas), editorial Nuevas Gráficas s.a., España, 493pp.

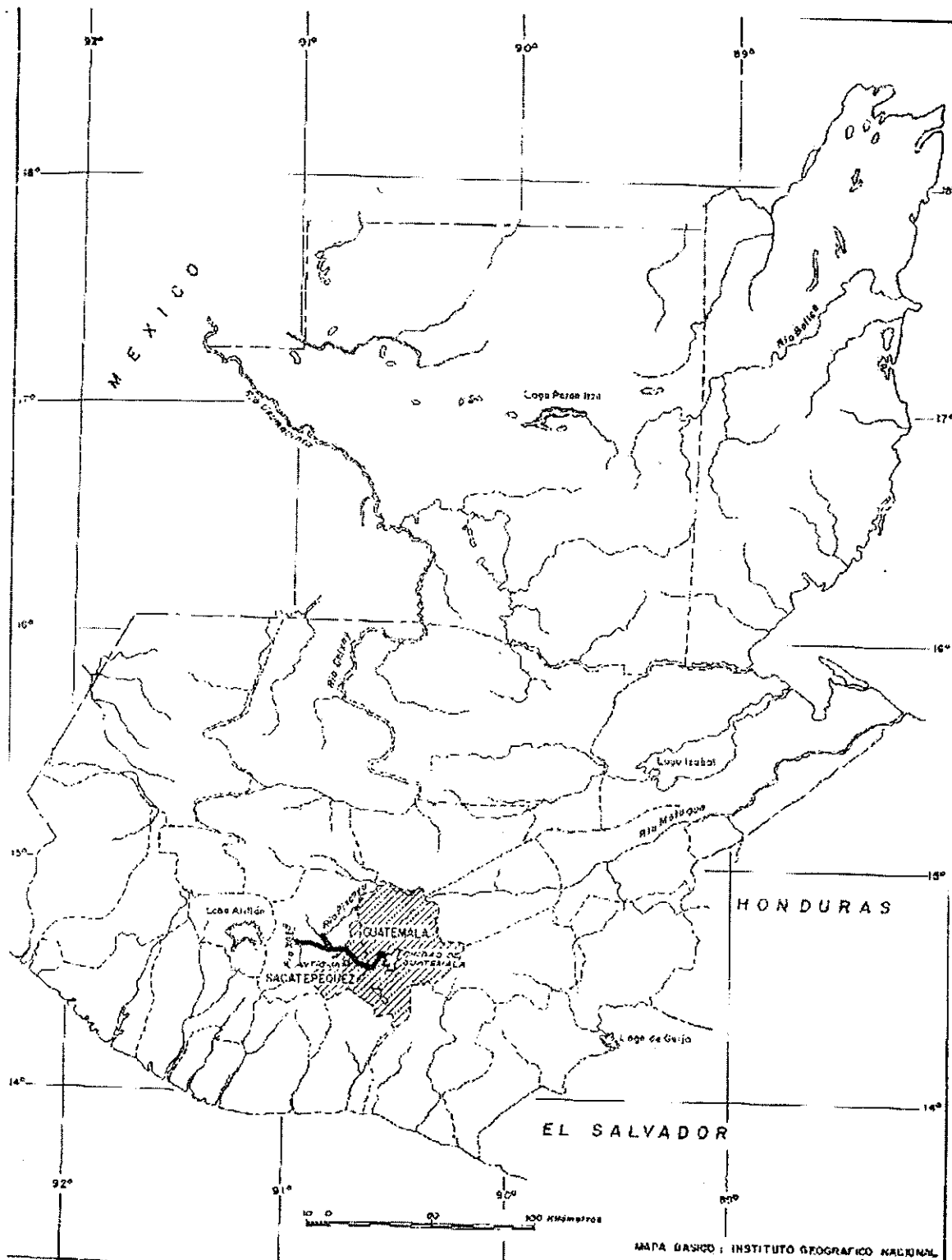
_____, 1963, Tratamiento de potabilización de las aguas, Editorial Nuevas Gráficas s.a, España, 301pp.

Unda Opazo, F, 1969, Sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. Editorial Hispanoamericana, México, 870pp.

APÉNDICES

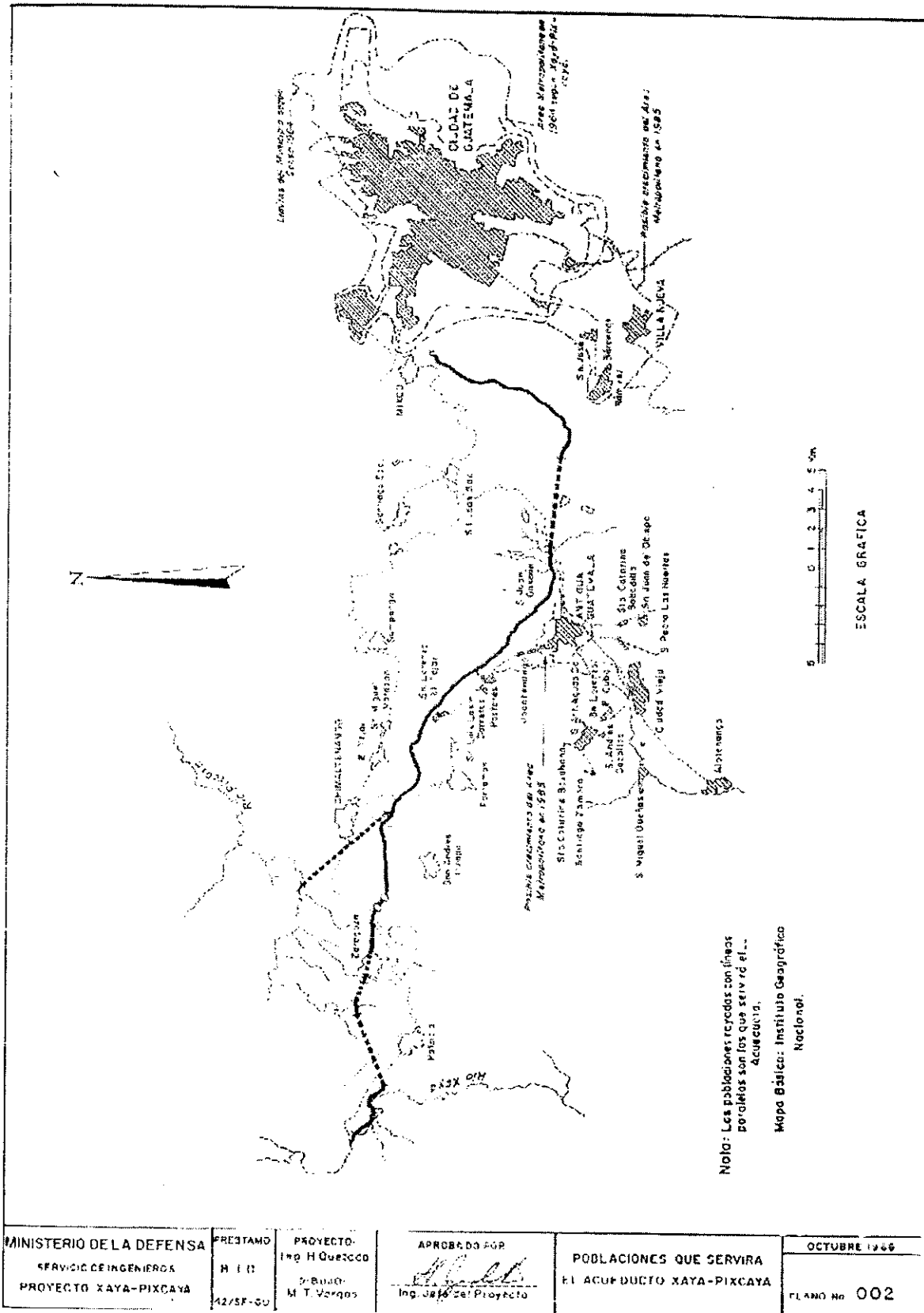
MAPAS

0

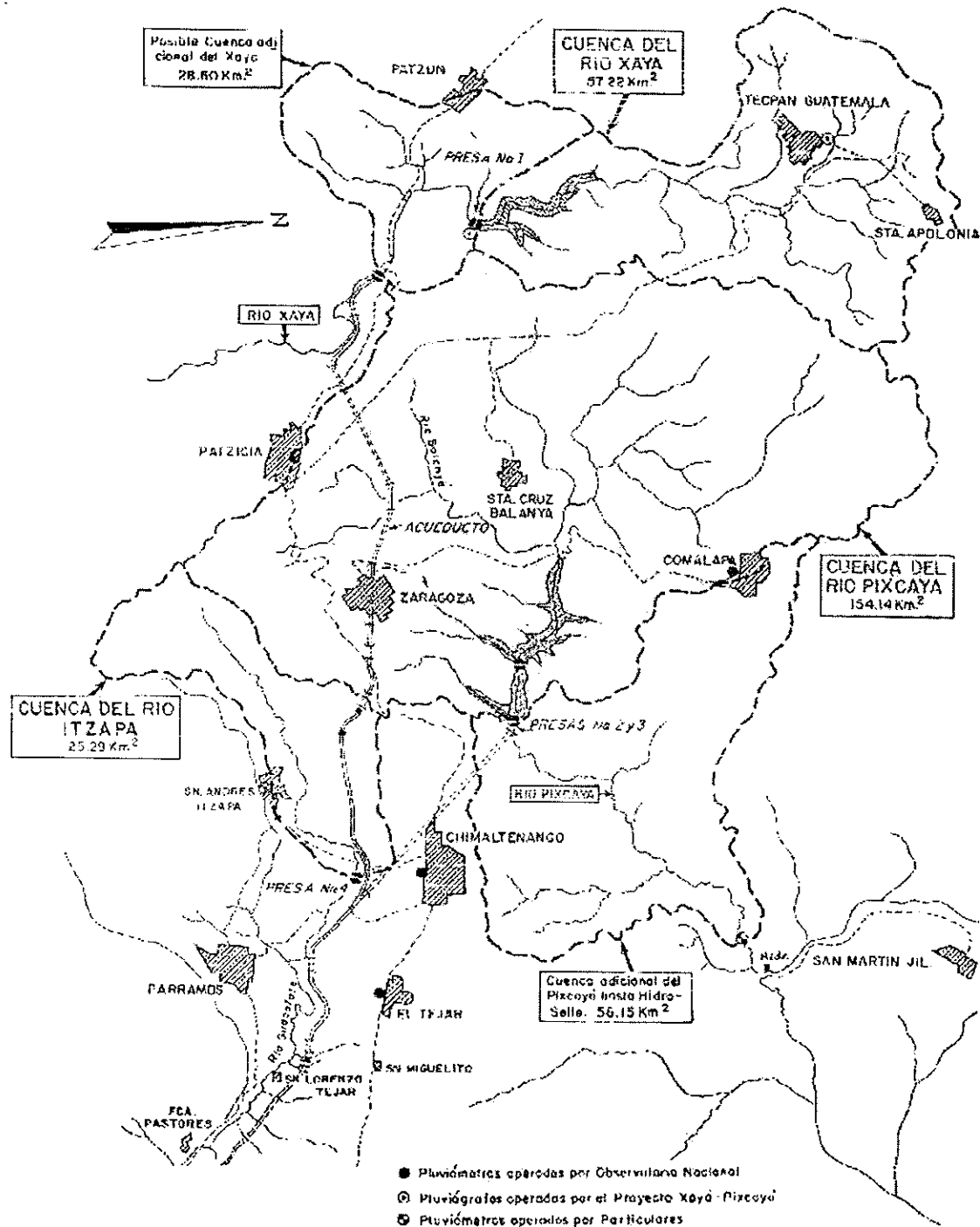


| | | | | | |
|--|--|---|---|---|------------------------------|
| MINISTERIO DE LA DEFENSA SERVICIO DE INGENIEROS PROYECTO XAYA - PIXCAYA | PAFATAMO E. I. D. #2/5F-GU | PREPARADO POR Ing. H. Quiroz DIBUJO: M.T. Vargas | APROBADO POR: Ing. Jefe del Proyecto | LOCALIZACION DEL PROYECTO EN EL AREA DE LA REPUBLICA | OCTUBRE 1986 PLANO No 001 |
| | MAPA BASICO: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL | | | | |

Mapa No.1 Localización del Acueducto Nacional Xaya – Pixcaya en el área de la Republica de Guatemala



Mapa No. 2 Poblaciones que servirá el Acueducto Nacional Xaya - Pixcayá

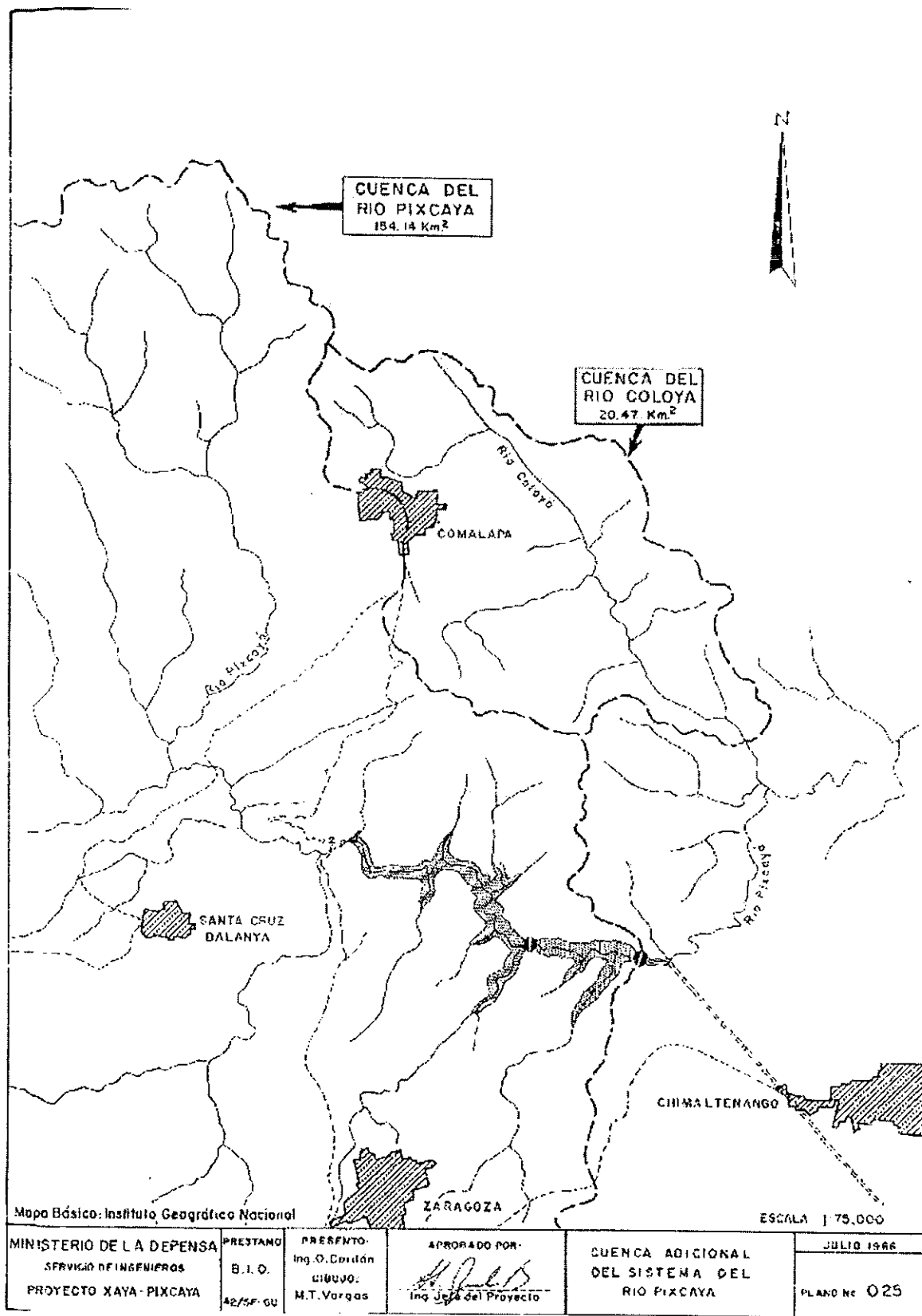


Mapa Básico, Instituto Geográfico Nacional

ESCALA 1:150,000

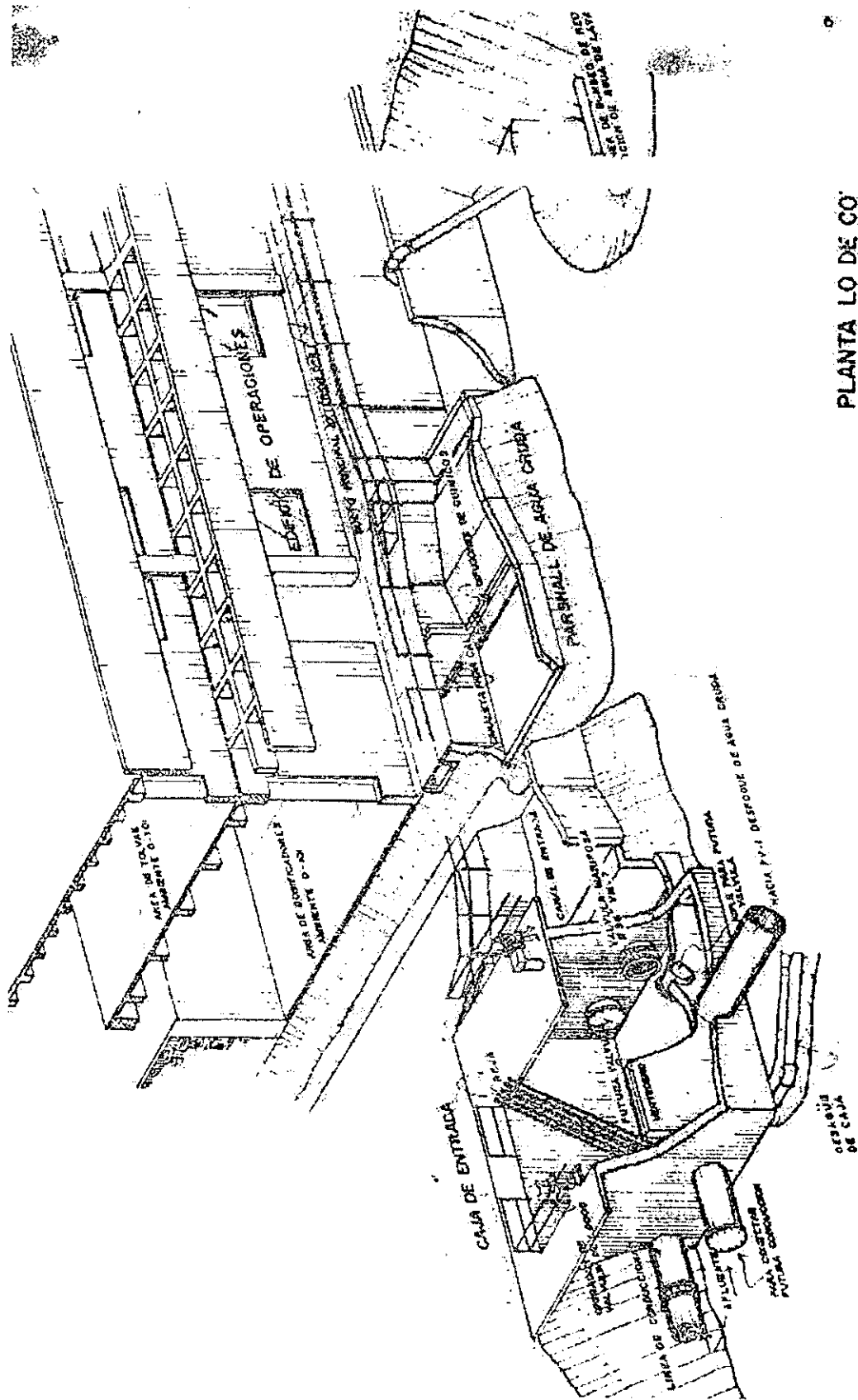
| | | | | | |
|---|------------------------|-------------------------------|---|--|---------------|
| MINISTERIO DE LA DEFENSA SERVICIO DE INGENIEROS PROYECTO XAYA-PIXCAYA | PRESENTADO D. I. D. | PRESENTADO Ing. D. Córdoba | APROBADO POR: <i>[Signature]</i> Ing. Jefe del Proyecto | CUENCAS DE LOS RIOS DEL PROYECTO ESTACIONES PLUVIOMETRICAS | MAYO 1966 |
| | 42/58-00 | DISEÑADO M. T. Vargas | | | PLANO No. 018 |

Mapa No. 4 Cuencas de los Ríos del Acueducto Nacional Xaya - Pixcaya

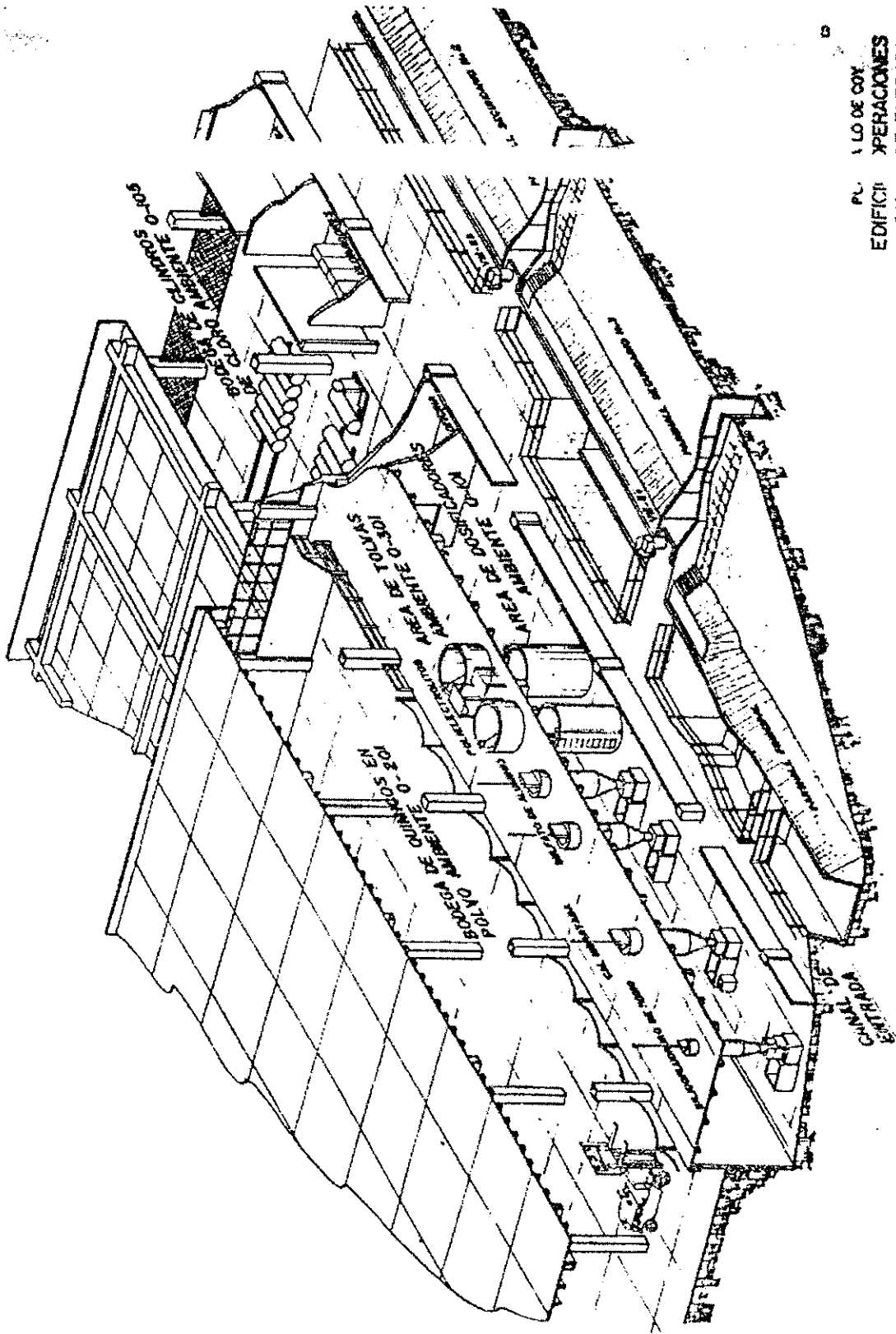


Mapa No. 5 Cuenca Adicional del sistema del Río Pixcayá

ISOMÉTRICAS DE LA PLANTA
LO DE COY

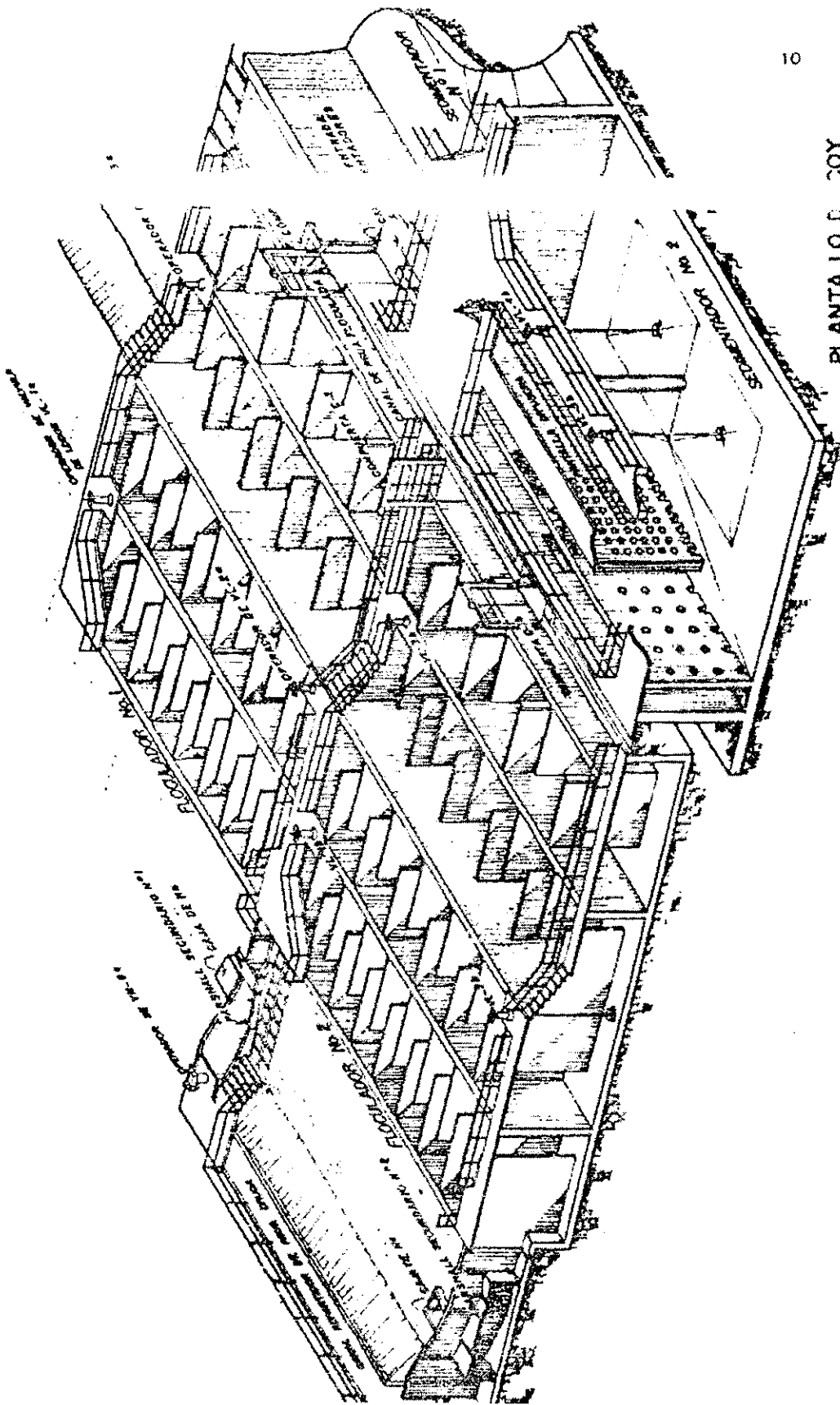


PLANTA LO DE CO
 ISOMETRICA
 CAJA Y CANAL DE EN RADA

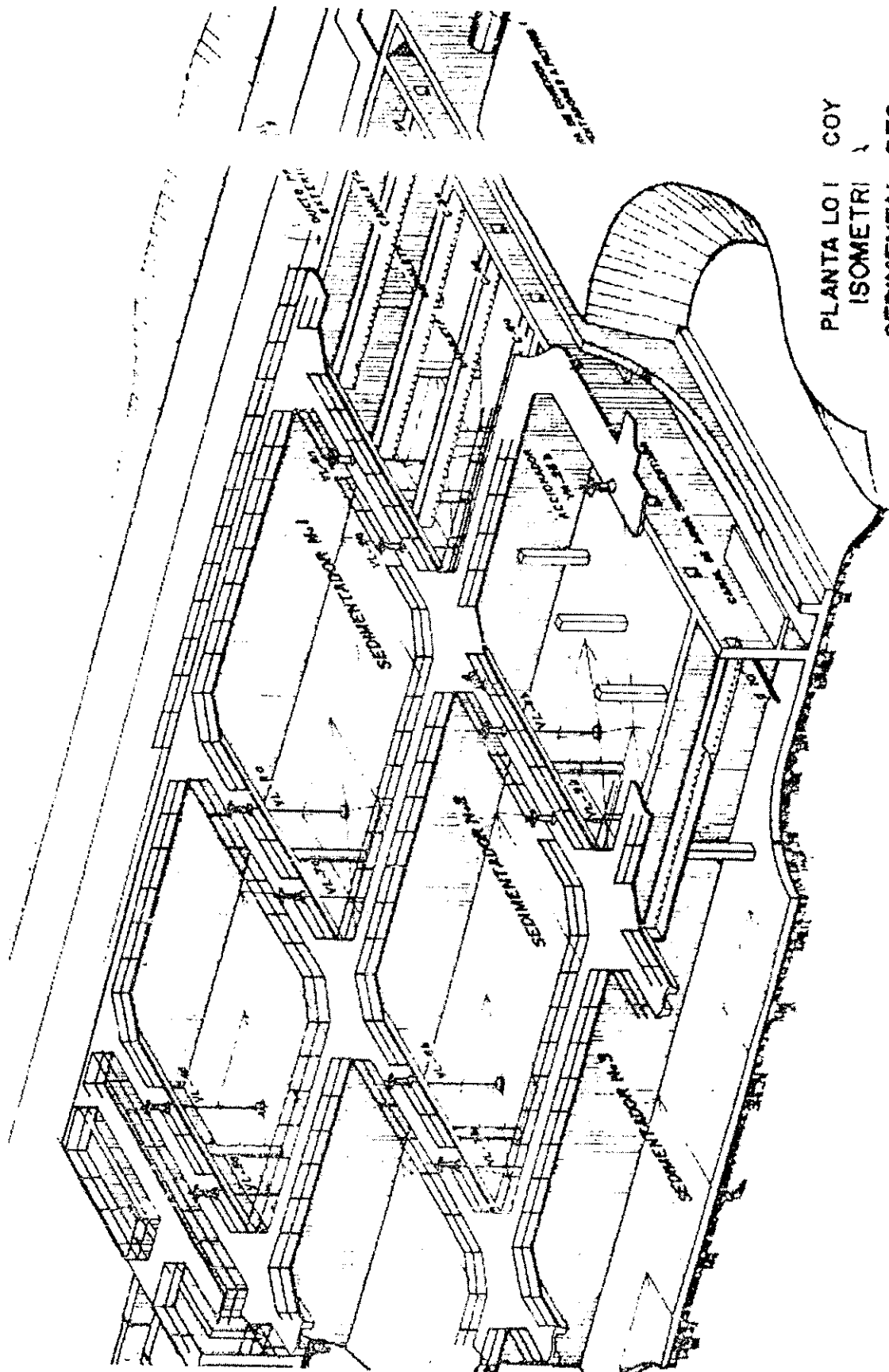


PL. 1 LO DE COY
 EDIFICIO OPERACIONES
 CANAL DE ENTRADA

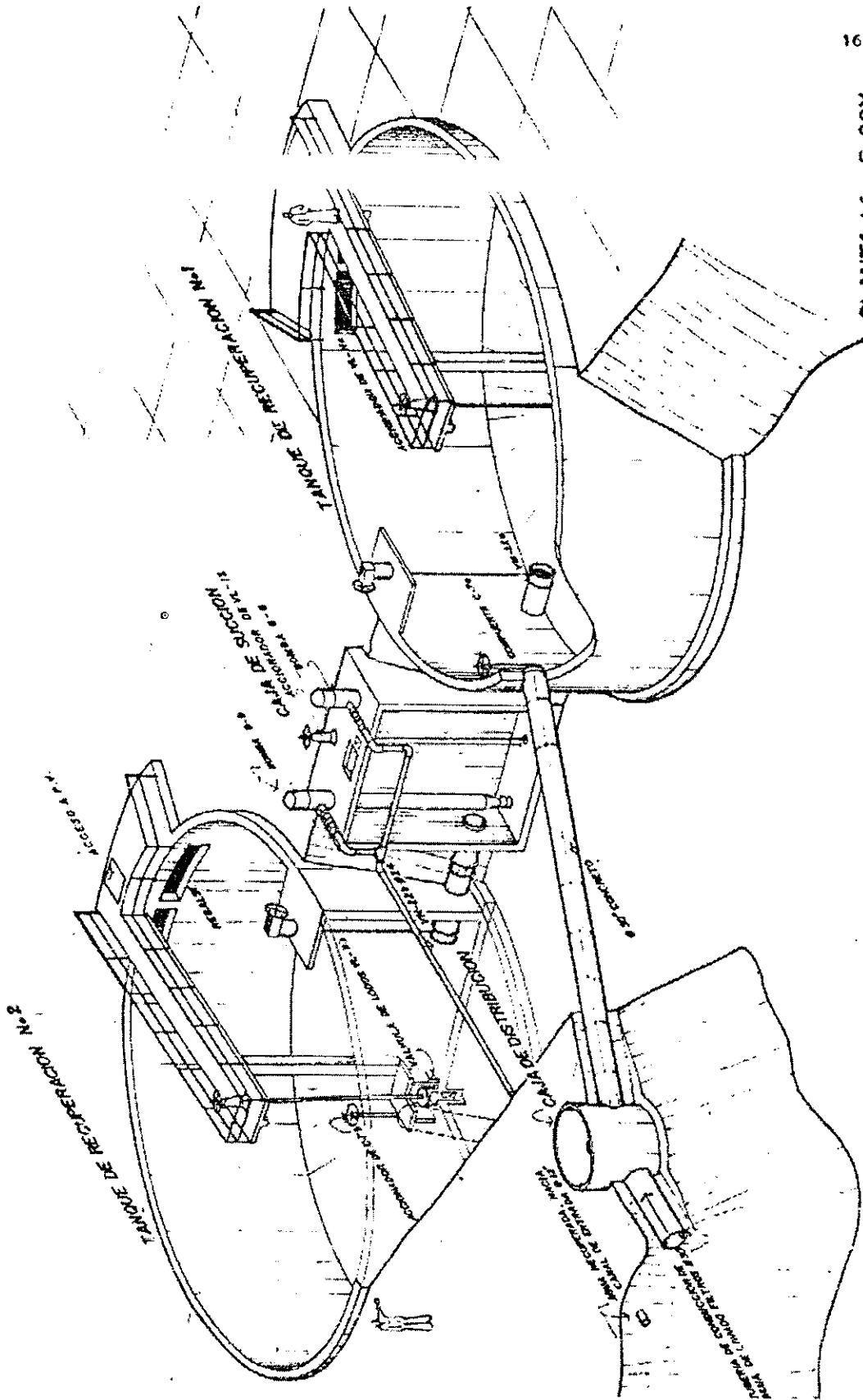




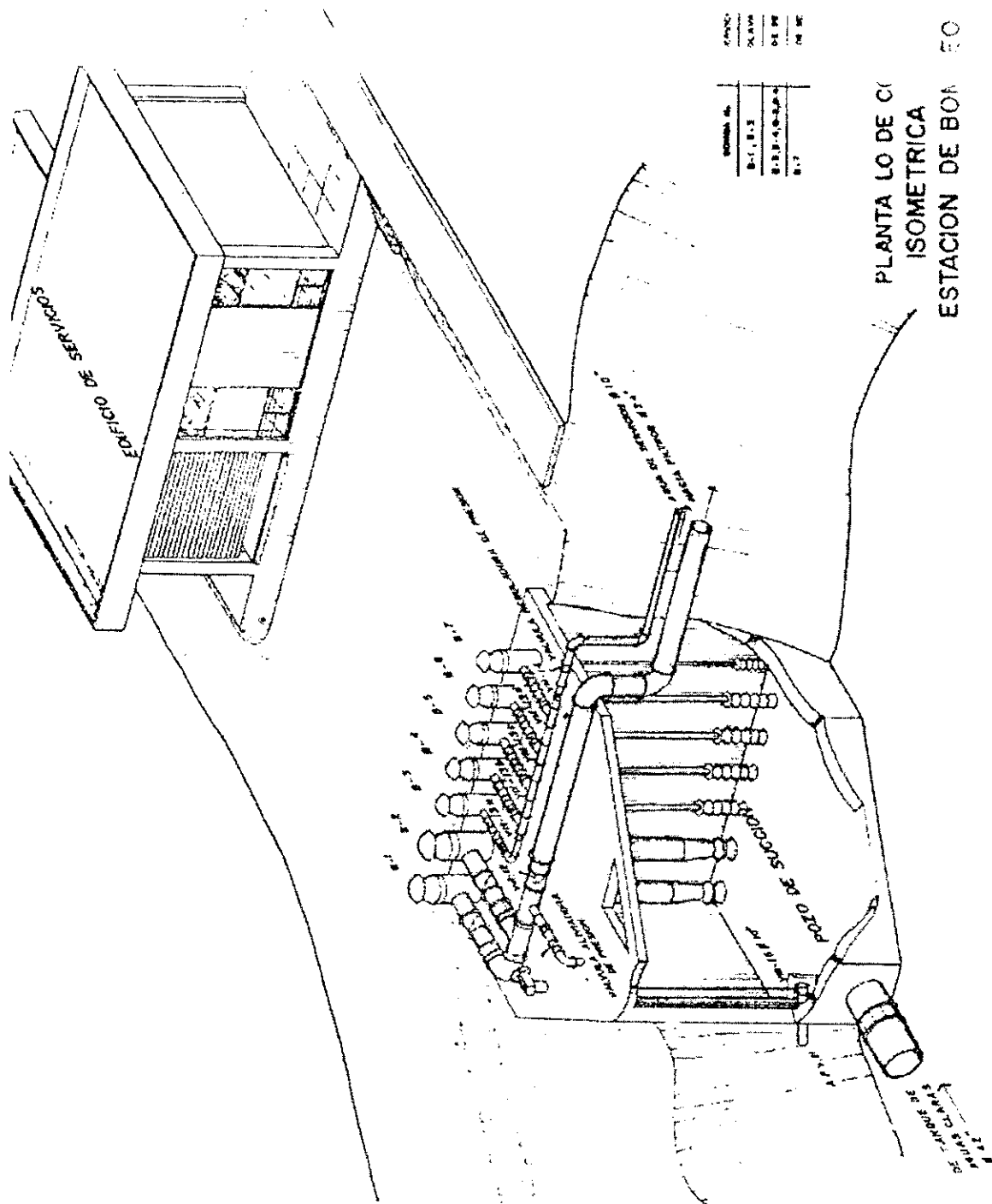
PLANTA LÓDICOY
ISOMETRICK
DE FLOCULACIONES



PLANTA LO I COY
ISOMETRI
SEDMENTAI RES



PLANTA LC E COY 6
 ISOMETRICA
 SISTEMA REFRIGERACION

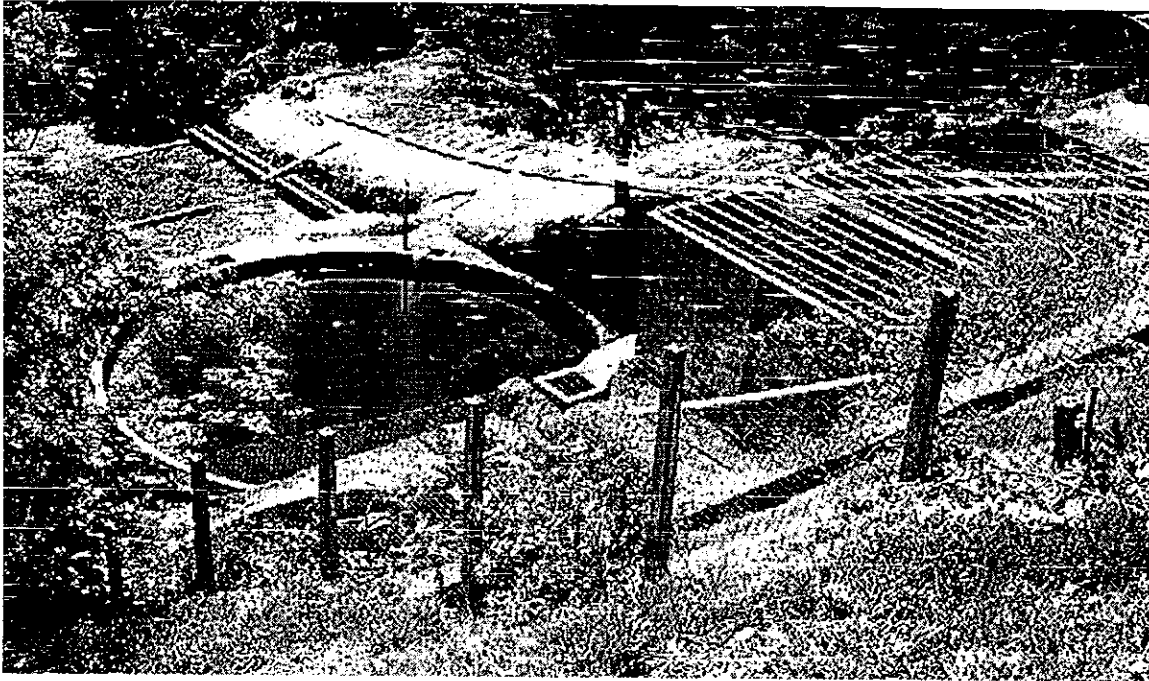


| | |
|-----------|----------|
| NÚMERO DE | CANTIDAD |
| B.1.1 | 1 |
| B.1.2 | 1 |
| B.1.3 | 1 |
| B.1.4 | 1 |
| B.1.5 | 1 |
| B.1.6 | 1 |
| B.1.7 | 1 |

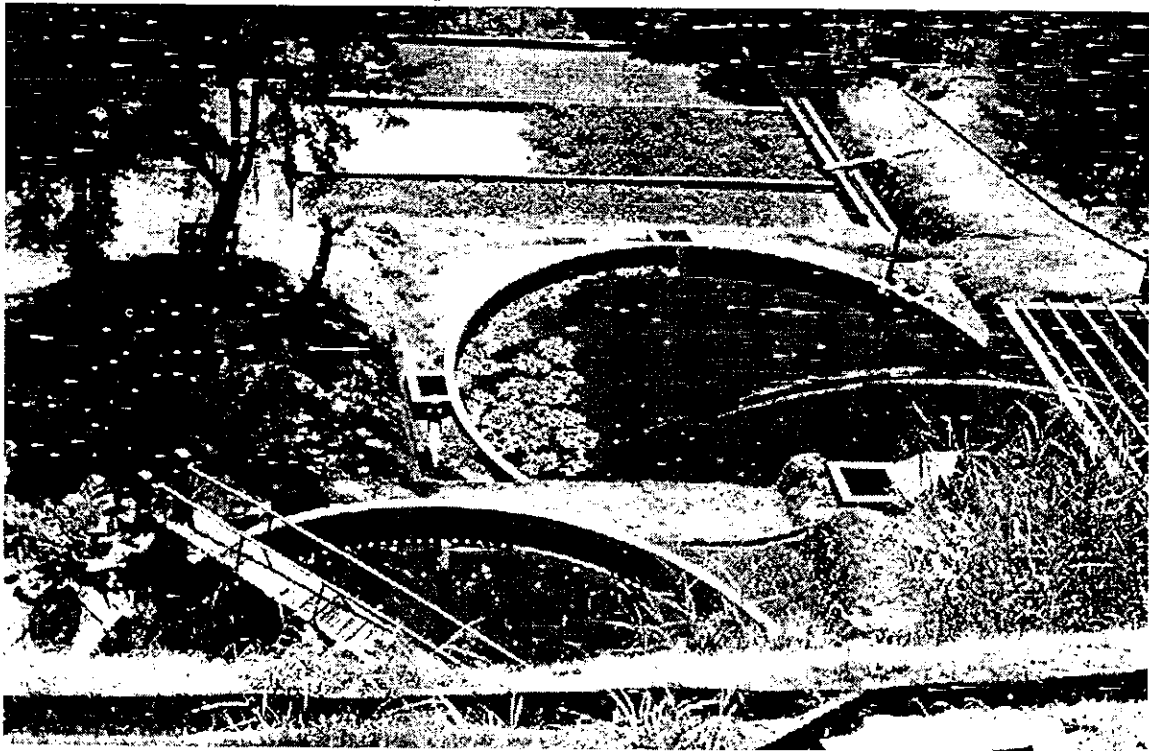
PLANTA LO DE C
 ISOMETRICA
 ESTACION DE BOMBEO

**FOTOGRAFÍAS DE LA PLANTA
DE AGUAS SERVIDAS DE
COMALAPA**

PLANTA DE AGUAS SERVIDAS DE COMALAPA

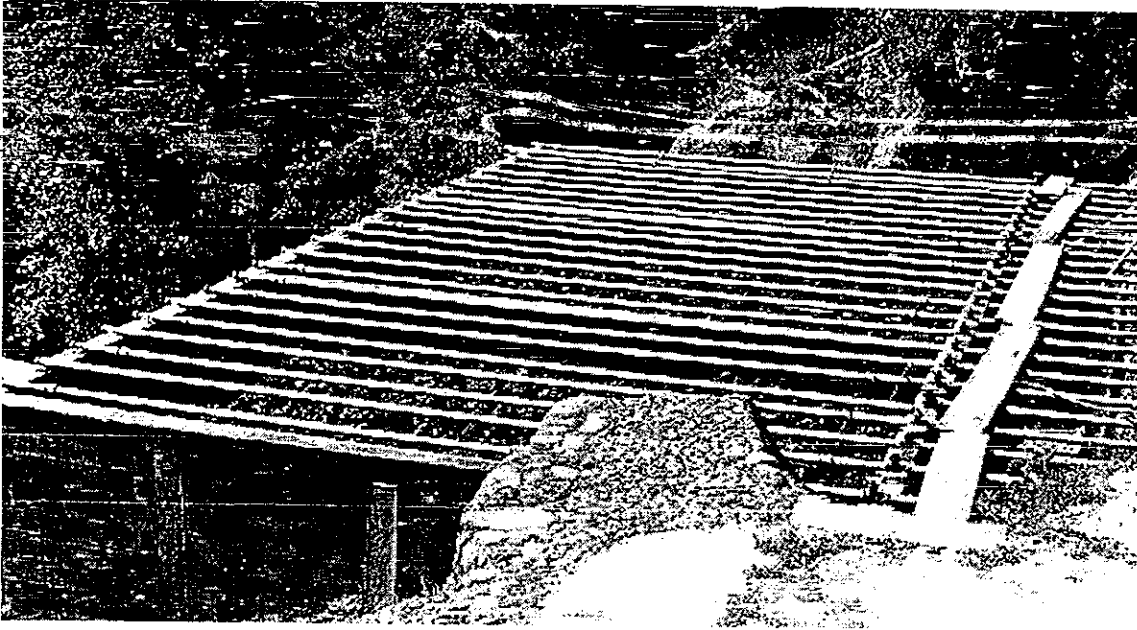


FOTOGRAFIA No. 1

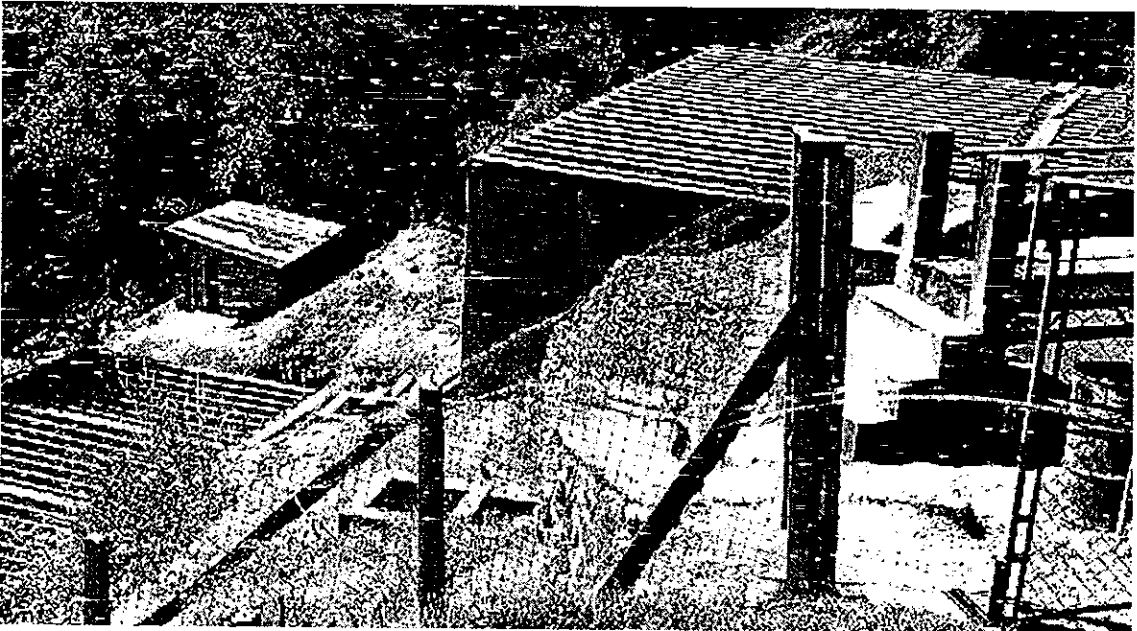


FOTOGRAFIA No.2

FILTROS PERCOLADORES



FOTOGRAFIA No.3

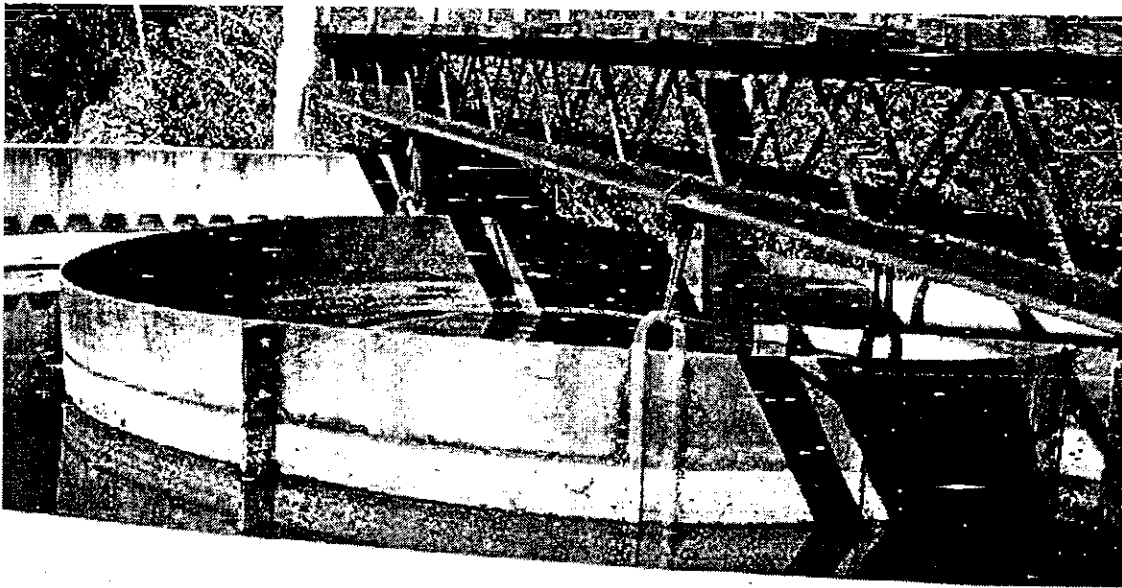


FOTOGRAFIA No. 4



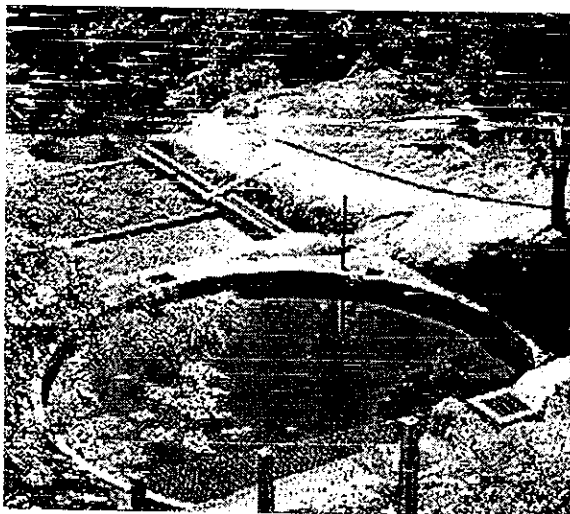
FOTOGRAFIA No. 5

**SEDIMENTADOR PRIMARIO Y
PANTALLA DIFUSORA**

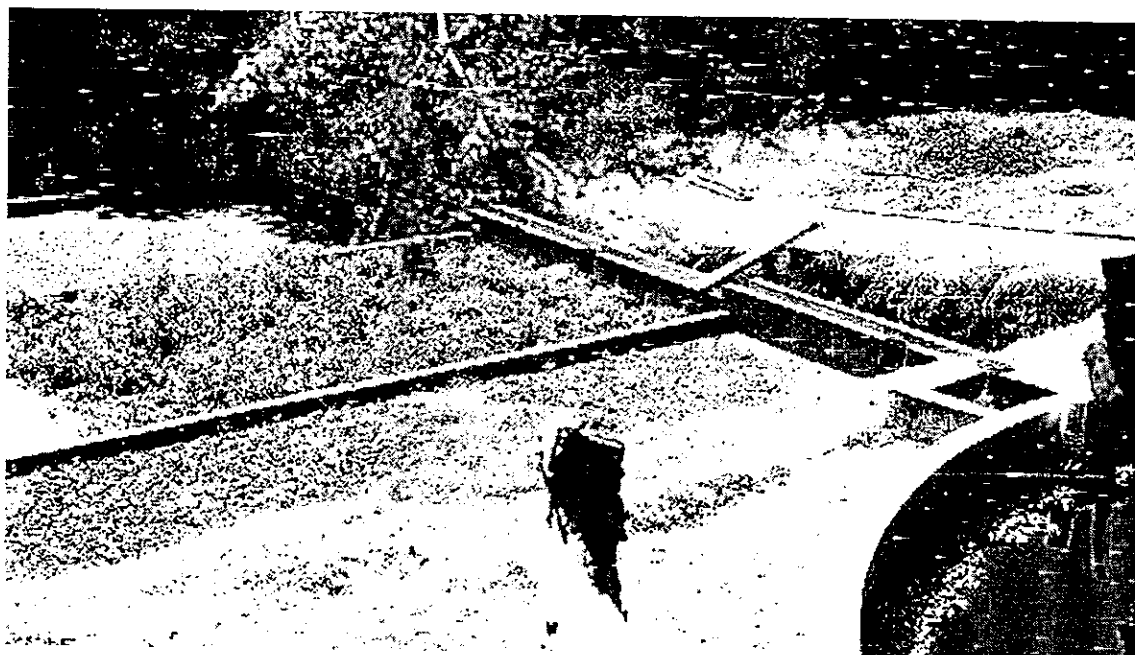


FOTOGRAFIA No.6

DIGESTOR DE LODOS Y PATIOS DE SECADO

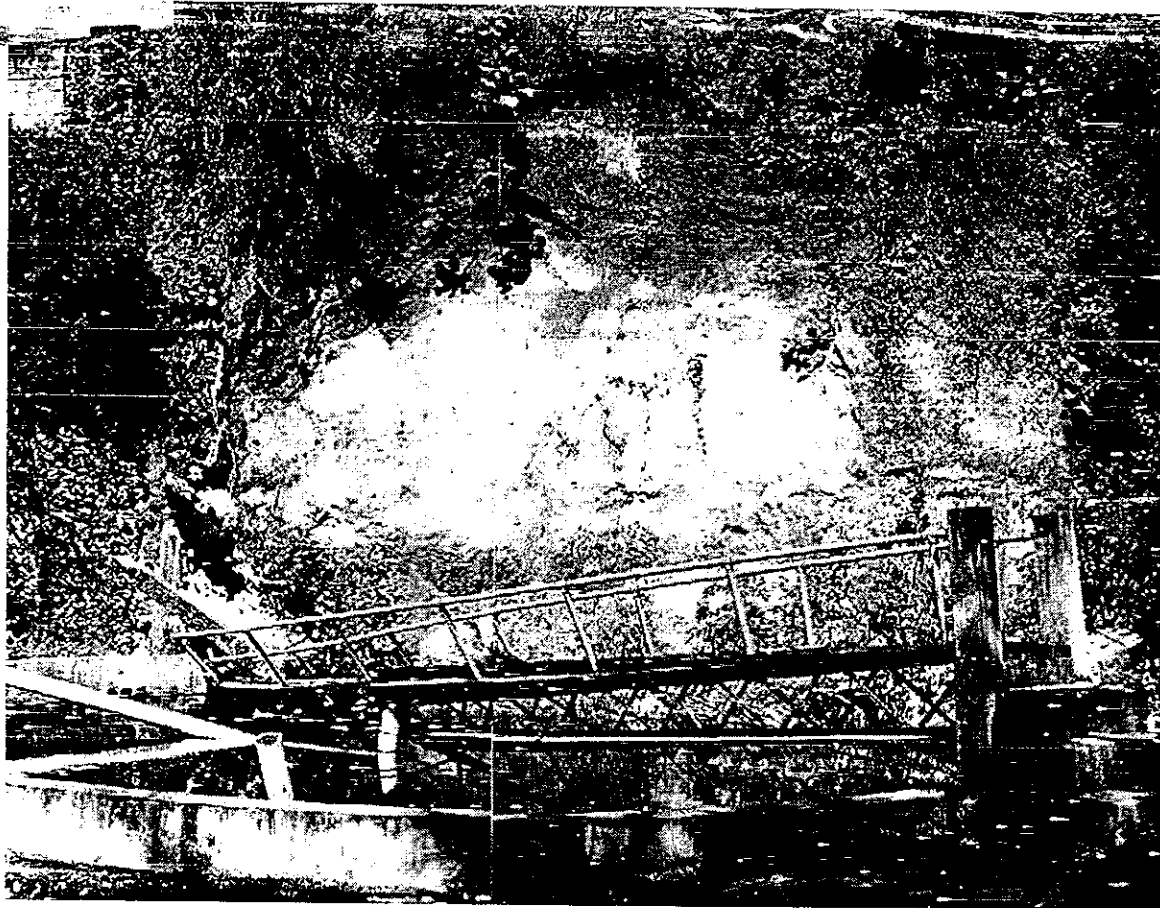


FOTOGRAFIA No. 7

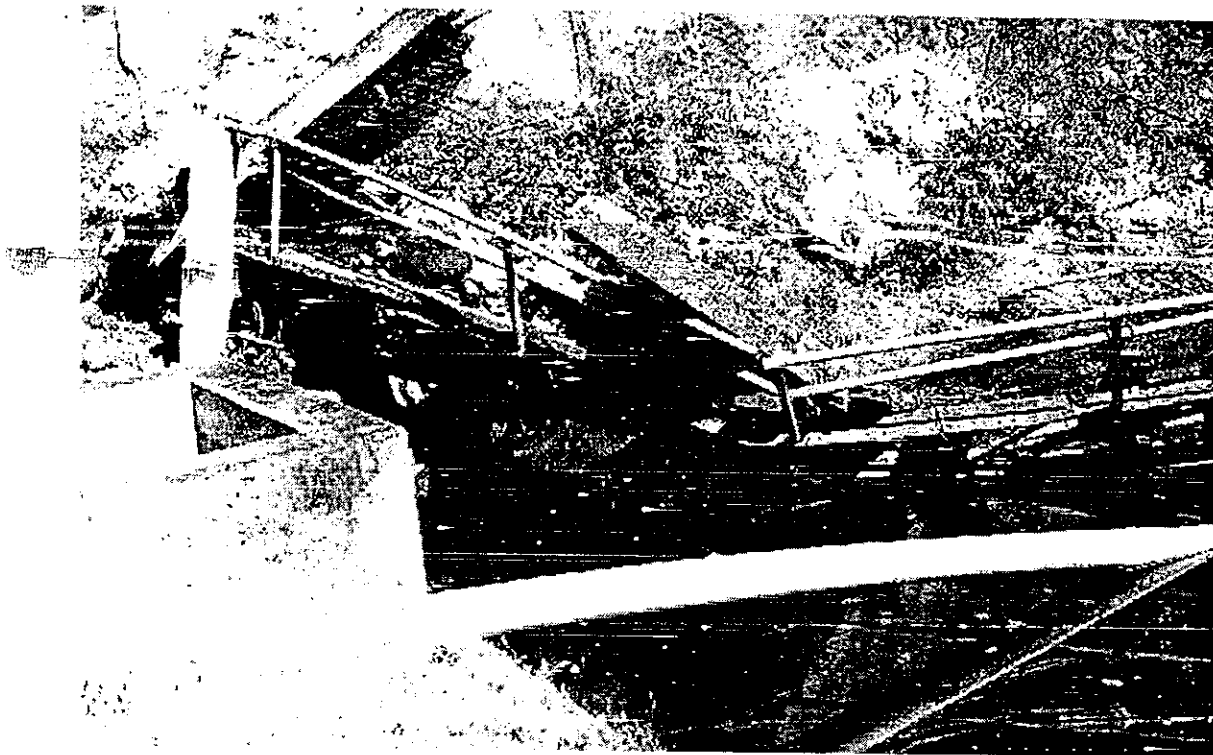


FOTOGRAFIA No. 8

**DAÑOS CAUSADOS A SEDIMENTADOR SECUNDARIO POR
DERRUMBE DE MURO**

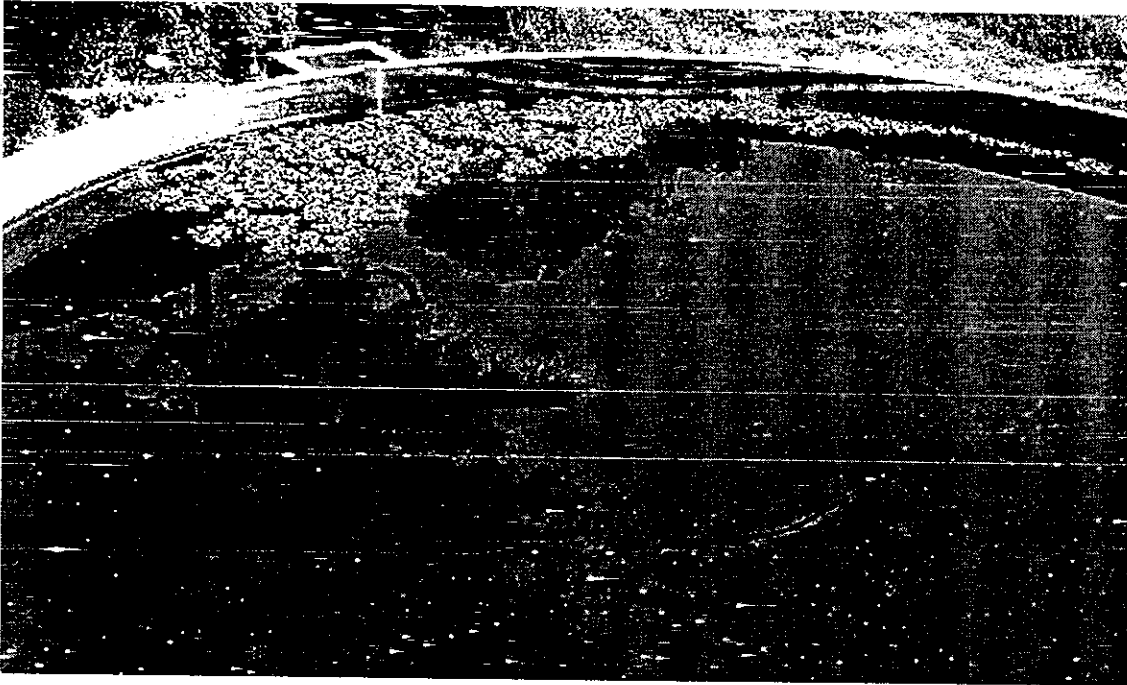


FOTOGRAFIA No. 9



FOTOGRAFIA No. 10

**PROLIFERACIÓN DE ALGAS DEBIDO A LA FALTA
DE ACTIVIDAD EN LA PLANTA**



FOTOGRAFIA No. 11

**EXÁMENES QUÍMICO SANITARIO
Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA
QUE INGRESA A LA PLANTA
LO DE COY**



LABORATORIO DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA SANITARIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 13



FACULTAD DE INGENIERIA - USAG

C.T. No. 12735 **EXAMEN QUIMICO SANITARIO** INF. No. 19457

| | |
|-----------------------------------|--|
| MUESTRA DE: Agua | FECHA Y HORA DE RECOLECCION: 2000-04-07: 13 h 10 min |
| RECOLECTADA POR: Francisco Santos | FECHA DE INICIO DEL EXAMEN: 2000-04-07 |
| LUGAR: planta nro de coy | CONDICIONES DE TRANSPORTE: en refrigeración |
| FUENTE: caudal de entrada | |
| MIXCO - Guatemala | |

RESULTADOS

| | | |
|--------------------------|---------------------|--|
| 1. ASPECTO: lig. turbia | 4. OLORES: A Tierra | 7. TEMPERATURA: 18,00 °C (EN EL MOMENTO DE RECOLECCION) |
| 2. COLOR: 70,00 unidades | 5. SABOR: ----- | 8. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA: 186,00 μ mhos/cm |
| 3. TURBIEDAD: 12,00 MPN | 6. pH: 7,60 | |

| SUSTANCIAS | mg/L | SUSTANCIAS | mg/L | SUSTANCIAS | mg/L |
|-----------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------|--------|
| 1 AMONIACO NH3 | 0,073 | 8 CLORUROS CL ⁻ | 8,50 | 11 SOLIDOS TOTALES | 129,00 |
| 2 NITRITOS NO2 ⁻ | 0,012 | 7 FLUORUROS F ⁻ | 0,14 | 12 SOLIDOS VOLATILES | 49,00 |
| 3 NITRATOS NO3 ⁻ | 8,360 | 8 SULFATOS | 2,00 | 13 SOLIDOS FIJOS | 80,00 |
| 4 CLORO RESIDUAL | ----- | 9 HIERRO TOTAL Fe | 0,60 | 14 SOLIDOS EN SUSPENSION | 16,00 |
| 5 MANGANESO Mn | 0,000 | 10 DUREZA TOTAL | 64,00 | 15 SOLIDOS DISUELTOS | 102,00 |

ALCALINIDAD (CLASIFICACION)

| HIDROXIDOS | CARBONATOS | DICARBONATOS | ALCALINIDAD TOTAL |
|------------|------------|--------------|-------------------|
| 0,00 | 0,00 | 90,00 | 90,00 |

OTRAS DETERMINACIONES: detergentes, 0,11 mg/l

TECNICA "STANDARD METHODS" DE LA APHA - AWWA - WPCF 18 TH EDITION 1985 NORMA COGUANOR NCO 4 010 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA

OBSERVACIONES desde el punto de vista fisico quimico sanitario olor a tierra, color, nitritos altos (fuera de norma); turbiedad, hierro en límites máximos permisibles, las demás determinaciones en límites máximos aceptables de normalidad. según norma COGUANOR NCO 29001.-

Guatemala, 2000-04-18.-

[Signature]
JESÚS DE LA CRUZ
INGENIERO EN QUIMICA Y MICROBIOLOGIA
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 13, GUATEMALA

ZENON MUCH SANTOS
Ing. Químico Col. No. 420
M. Sc. Ing. Sanitaria



EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

| |
|-------|
| PROV. |
| REF. |

D. de T. No. 12735
 Fecha: 2000-04-18

BALANCE DE LOS PRINCIPALES ANIONES Y CATIONES
 Muestra No. 19457

Conductividad Eléctrica 186,00 Micromhos a 25 °C

| ANIONES | | | CATIONES | | |
|-------------|-------|---------|----------|-------|---------|
| | mg/l. | me/l. | | mg/l. | me/l. |
| CLORUROS | 08,50 | 0,23978 | CALCIO | 13,63 | 0,68011 |
| CARBONATOS | 00,00 | 0,00000 | MAGNESIO | 07,30 | 0,60050 |
| BICARBONATO | 90,00 | 1,47510 | SODIO | 14,90 | 0,64815 |
| SULFATOS | 2,00 | 0,04166 | POTASIO | 04,10 | 0,10484 |
| TOTAL | | 1,75654 | | | 2,03363 |
| | | | | | |

Observaciones: El balance de aniones y cationes se expresa en me/l.

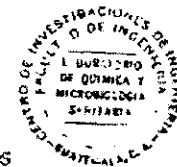
INDICE DE SATURACION

| pH Laboratorio | pH Saturación | Indice de Saturación |
|----------------|---------------|----------------------|
| 07,60 | 08,20 | - 0,90 |

MODERADAMENTE
 DUREZA

CLASIFICACION DE LA DUREZA

| DUREZA TOTAL | DUREZA CARBON | DUREZA NO CARBON |
|--------------|---------------|------------------|
| 64,00 | 64,00 | 00,00 |



Zenón Much Santos
 ZENÓN MUCH SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria



LABORATORIO DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA SANITARIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
CIUDAD UNIVERSITARIA ZONA 12



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC

EMPAGUA

OT No. 12735 **EXAMEN BACTERIOLOGICO** INF. No. A-149861

INTERCADO: Ingeniero Otto José Osdy Polanco
director de op. y mantenimiento

MUESTRA RECOLECTADA POR: Francisco Santos

MUESTRA RECOLECTADA EN: caudal de entrada

MUNICIPIO: Mixco

DEPARTAMENTO: Guatemala

PROYECTO: control calidad del agua

DEPENDENCIA: EMPAGUA

FECHA Y HORA DE RECOLECCION: 2000-04-07; 13 h 10 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA A LAB: 2000-04-07; 14 h 30 min

CONDICIONES DE TRANSPORTE: en refrigeración

SABOR: -----

ASPECTO: lig. turbia

OLOR: a tierra

SUSTANCIAS EN SUSPENSION: lig. cantidad

CLORO RESIDUAL: -----

NUMERACION TOTAL DE GERMENES

a) SIEMBRA EN AGAR NUTRITIVO, INCUBACION A 35° C

| CANTIDAD SEMBRADA | 1.0 cm ³ | 0.1 cm ³ | 0.01 cm ³ |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| NUMERO DE COLONIAS DESARROLLADAS | ----- | ----- | ----- |

b) SIEMBRA EN AGAR NUTRITIVO, INCUBACION A 20° C

| CANTIDAD SEMBRADA | 1.0 cm ³ | 0.1 cm ³ | 0.01 cm ³ |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| NUMERO DE COLONIAS DESARROLLADAS | ----- | ----- | ----- |

RESULTADO: NUMERO DE BACTERIAS POR cm³

INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)

| PRUEBAS NORMALES | PRUEBA PRESUNTIVA | PRUEBA CONFIRMATIVA | |
|---|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | FORMACION DE GAS | |
| CANTIDAD SEMBRADA | FORMACION DE GAS - 35° C | TOTAL 35° C | FECAL 44.5° C |
| 10.0 cm ³ | | | |
| 1.0 cm ³ | + + + + + | + + + + + | + + + + + |
| 0.1 cm ³ | + + + + + | + + + + + | + + + + + |
| 0.01 cm ³ | + + + + + | + + + + + | + + + + + |
| 0.001 cm ³ | | | |
| RESULTADO: NUMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES/100 cm ³ | | más de 16x10 ³ | más de 16x10 ³ |

TECNICA "STANDARDMETHODS" DE LA APHA - A.W.W.A. - W.P.C.F. NORMA COGUANOR N004 CIO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

CONCLUSION bacteriológicamente el agua NO es potable, según norma COGUANOR N00 29001.

GUATEMALA: 2000-04-18,-

JEFE DE LABORATORIO

ZENON MUCH SANTOS
Ing. Químico Col. No. 101
M. Sc. Ing. Sanitaria

