



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE QUIMICA

**ESTUDIO PRELIMINAR PARA SUBSTITUIR AGUA POTABLE POR
EFLUENTES DE TRATAMIENTO EN UN PROCESO DE FABRICACION
DE CELULOSA Y PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO**

**HECTOR JAVIER MARQUEZ PROA
INGENIERO QUIMICO**

1980

M-19149



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO :

PRESIDENTE : PROF. ADALBERTO TIRADO ARROYAVE.
VOCAL : PROF. MARIO GUEVARA VERA
SECRETARIO PROF. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ
1ER. SUPLENTE PROF. JORGE A. CASTAÑARES ALCALA
2DO. SUPLENTE PROF. ROBERTO ANDRADE CRUZ.

Sitio donde se desarrolló el tema:

LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL

Sustentante:


HECTOR JAVIER MARQUEZ PROA.

Asesor del Tema:


I.Q. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ.

" ESTUDIO PRELIMINAR PARA SUBSTITUIR AGUA POTABLE POR
EFLUENTES DE TRATAMIENTO EN UN PROCESO DE FABRICACION
DE CELULOSA Y PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO".

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

- 1.- EL PROBLEMA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA
DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO.
 - 1.1- Magnitud y proyección de necesidades.
 - 1.2- Importancia de la calidad.
 - 2.- ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE AGUA EN UN PROCESO DE FA-
BRICACION DE CELULOSA Y PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO.
 - 2.1- Selección de un proceso representativo.
 - 2.2- Descripción del proceso seleccionado.
 - 2.3- Requerimientos de cantidad y calidad del agua.
 - 2.4- Posibilidad del uso de efluentes de tratamiento.
 - 3.- TRATAMIENTO DE AGUAS.
 - 3.1- Tratamiento Biológico.
 - 3.2- Tratamiento Fisicoquímico
 - 3.3- Ejemplo de tratamiento de aguas negras para reusar-
las en fabricación de celulosa y papel.
 - 4.- EVALUACION ECONOMICA Y SOCIAL.
 - 4.1- Evaluación Económica.
 - 4.1.1- Proceso y equipo de tratamiento propuestos.
 - 4.1.2- Estimación de la inversión total de capital.
 - 4.1.3- Cálculo del periodo de recuperación de la inversión
 - 4.2- Evaluación Social.
 - 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

El agua es ahora y siempre el principal condicionante del crecimiento de toda cultura, y es su uso racional y conservación, la base de la supervivencia, por lo cuál las técnicas para su obtención, manejo y disposición se han desarrollado notablemente en la actual civilización industrial.

Este desarrollo es aún insuficiente en ciertos lugares del mundo, por ejemplo el Valle de México, problemático lugar que ocupa el 1% del territorio nacional y concentra el 20% de la población del país.

La industria, que también se ha centralizado en éste lugar, es uno de los mayores consumidores de agua, y el que más paga por obtenerla, debido a que en las tarifas de agua un mayor consumo significa un mayor costo.

A causa de la necesidad de captar cada vez más agua a mayor distancia, el costo del agua se ha incrementado cerca de 1500% en tan solo cinco años.

Un viejo refrán dice: "no hay agua más mala que la que no se tiene", y el Valle de México cuenta con una fuente inagotable de suministro de agua en los receptores de aguas negras que descargan al gran canal, y que es posible rehabilitar con fines utilitarios para reuso en la agricultura y algunas industrias.

La Dirección General de Distritos de Control de la Contaminación, contruye varias plantas de tratamiento de aguas negras para reuso agrícola e industrial, algunas de las cuales se encuentran en el Valle de México, con lo cuál se aliviará la demanda de agua en esta zona.

Debido a que en el Valle de México la mayoría de las fábricas son pequeñas y medianas industrias, el factor económico limita y condiciona el desarrollo de estudios de investigación para la construcción de instalaciones y equipo de tratamiento de agua.

Esta es una de las razones por las que el Gobierno Federal patrocina programas de investigación aplicada y desarrollo técnico, realiza estudios por medio de sus dependencias, entre los que podemos mencionar el realizado por la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación "Uso del agua y manejo del agua residual en la industria".

Con estos antecedentes, el presente trabajo no significa un esfuerzo aislado en los intentos para solucionar un grave problema que puede impedir el sano desarrollo económico y social del país, y es una contribución profesional para lograr un eficaz reuso del agua en el sector industrial de la celulosa y del papel, uno de los mayores consumidores de agua en el Valle de México.

Este trabajo parte del análisis de la magnitud y proyección del problema del abastecimiento de agua; utiliza como herramienta los criterios de la ingeniería química en el tratamiento de agua; propone la sustitución de agua fresca por efluentes de tratamiento de aguas negras; finalmente presenta la factibilidad económica de la sustitución de agua potable por efluentes de tratamiento en una fábrica integrada de celulosa y papel en el Valle de México.

I- EL PROBLEMA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO.

1.1- MAGNITUD Y PROYECCION DE NECESIDADES.

Las cantidades de agua empleadas por esta industria varían ampliamente y es necesario enfatizar que se tienen valores muy altos en consumo de agua por unidad de producto para la producción de celulosa y papel, (tabla No. 1).

Los índices de demanda y descarga de agua varían en las distintas plantas en función del proceso de fabricación, cantidad y grado de elaboración del producto y recirculación interna de agua.

Las industrias exclusivamente papeleras tienen índices de demanda de agua que varían entre 10 y 300 M³/Ton. En el caso de industrias no integradas que producen exclusivamente celulosa, tienen demandas de agua entre 15 y 200 M³/Ton.

La industria integrada es la que produce celulosa en cualquiera de sus variedades (mecánica, semiquímica o química), pueden contar o no con líneas de blanqueo y finalmente elaboran papel en cualquier variante de calidad y características.

En el Valle de México se localizan industrias integradas y no integradas, que centralizan la capacidad efectiva de producción nacional de celulosa en un 34.5% y de papel en un 59.6% .

La capacidad efectiva de producción nacional es insuficiente para satisfacer las demandas del mercado, ya que la producción de celulosa cubre aproximadamente el 70% del consumo aparente y la de papel el 90%, importándose el resto (ref.1).

En estudios de la Secretaría de Recursos Hidráulicos realizados en 1973, (ref.2), se obtuvieron índices de demanda de agua de 36.5 M³/Ton. de papel y 160 M³/Ton. de celulosa.

Los índices de demanda de agua multiplicados por las capacidades efectivas de producción en 1978 de estos productos en el Va-

lle de México, de 951 930 toneladas de papel y 244 088 toneladas de celulosa, arroja demandas de magnitud cercana a los 35 millones de metros cúbicos al año para papel y 40 millones de metros cúbicos al año para celulosa. Significa que el consumo de agua de estas dos industrias serviría para suministrar agua durante un año a 700 mil habitantes, a razón de 300 litros diarios por persona.

El índice de crecimiento industrial promedio de los últimos diez años, según las tablas Nos. 2 y 3 (ref. 1), fué de 8.2% para papel y 6.2% para celulosa.

Suponiendo que se mantenga la tasa media de crecimiento en la producción anual y que se tengan usos del agua similares a los actuales y suponiendo que el crecimiento de la industria será proporcional a la localización actual; la proyección de las demandas de agua para el año 2000 en el Valle de México será: de 92 millones de metros cúbicos al año para fabricar papel y 90 millones de metros cúbicos al año para fabricar celulosa.

Estas cantidades significan un incremento en la demanda de agua de este sector industrial de 240% en los próximos 20 años. Estas cifras nos permiten preever que será más problemático satisfacer las necesidades de agua de esta zona.

La cantidad de agua captada actualmente por la Comisión de Aguas del Valle de México y el Departamento del Distrito Federal se estima en 46 metros cúbicos por segundo, cantidad que se pretende aumentar a 66 M³/seg. cuando se concluyan las obras de captación del plan Cutzamala.

Es necesario hacer notar que de la cantidad suministrada actualmente, se pierde alrededor del 15% por fugas en las líneas de distribución, que a causa de su mal estado se rompen con el hundimiento de la Cd. de México.

En los últimos veinte años ha habido hundimientos hasta de 7 metros en algunos lugares, a causa de la extracción indis-

criminada, algunas veces clandestina, del agua del manto freático y corrientes subterráneas.

Actualmente el costo del agua potable entubada es de 10.40 \$/M³ para los consumidores mayores a los mil metros cúbicos al mes, y se preveen aumentos considerables a la tarifa en los próximos años, lo cual significa un aumento en los costos de producción de esta industria en el futuro.

| INDUSTRIA: | M ³ | UNIDAD PROD.: |
|-----------------|----------------|----------------|
| TEXTIL | 150 - 750 | tonelada |
| PAPELERA | 8 - 380 | tonelada |
| CURTIDO PIELES | 1 - 240 | tonelada |
| CELULOSA | 15 - 230 | tonelada |
| FUND. ALUMINIO | 210 | tonelada |
| ACERO | 6 - 188 | tonelada |
| COBRE | 55 | tonelada |
| AUTOMOTRIZ | 38 | Vehículo |
| AZUCARERA (REM) | 23 | ton. Remolacha |
| EMPACAD. CARNE | 5 - 26 | ton. Ganado |
| PETROLERA | 3 - 11 | barril crudo |

TABLA # 1- REQUERIMIENTOS DE AGUA EN ALGUNAS INDUSTRIAS.

* FUENTE: Water in Industry, National Association of Manufacturers, 1965.

| AÑO | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PROD. | 426353 | 472874 | 474685 | 483163 | 513040 | 566763 | 550222 | 623005 | 671977 | 706408 |
| VARIAC. | 34138 | 46521 | 1811 | 8478 | 29877 | 53723 | -16541 | 72783 | 48972 | 34431 |
| % VAR. | 8.7 | 10.9 | 0.4 | 1.8 | 6.2 | 10.5 | -2.9 | 13.2 | 7.9 | 5.1 |

TABLA # 2- PRODUCCION* DE CELULOSA EN MEXICO: INDICE DE CRECIMIENTO PROMEDIO, 6.2%

* Ton. métricas

| AÑO | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PROD. | 817980 | 896687 | 907821 | 981127 | 1112658 | 1253688 | 1184603 | 1330922 | 1453656 | 1596950 |
| VARIAC. | 79930 | 78707 | 11134 | 73306 | 131531 | 141030 | -69085 | 146319 | 122734 | 143294 |
| % VAR. | 6.8 | 9.6 | 1.2 | 8.1 | 13.4 | 12.7 | -5.5 | 12.3 | 9.2 | 9.9 |

TABLA # 3 PRODUCCION* DE PAPEL EN MEXICO: INDICE DE CRECIMIENTO PROMEDIO, 8.2%

*Ton. métricas

Términos Genéricos: Celulosa, desde el punto de vista químico, es un polisacárido lineal de alto peso molecular, y es el principal constituyente de las fibras vegetales; la pulpa celulósica, es el material fibroso de origen vegetal que ha sido preparado para la fabricación de papel y otros derivados celulósicos; en esta tesis al término pulpa celulósica se le denomina simplemente "pulpa" ó "celulosa".

Papel, es la hoja constituida esencialmente por fibras celulósicas entrelazadas y prensadas con la ayuda de fieltros.

FUENTE: Memoria Estadística C.N.I.C.P. 1979.

1.2- IMPORTANCIA DE LA CALIDAD.

Los requerimientos de agua "fresca" de calidad para la manufactura exitosa de los tipos de papel son estrictos, el agua es considerada por los fabricantes en el mismo plano de importancia que otras materias primas requeridas para la manufactura de pulpa y papel.

Con respecto a la instalación de nuevas fábricas, el primer paso es el asegurar un adecuado abastecimiento de agua en el presente y los incrementos de producción del futuro, a un precio satisfactorio.

La calidad del agua cruda debe ser tal que pueda emplearse en estado natural o mediante un método fácil de tratamiento hasta un grado necesario para usarla en cada operación del proceso productivo, adaptandose a los requerimientos del agua de proceso y otros usos comunes en la planta, incluido generación de vapor, agua potable y necesidades sanitarias.

Ninguna otra industria ha sido tan activa como la de pulpa y papel en el reuso de agua del proceso, a través de este procedimiento las necesidades de agua de esta industria han sido reducidos a la mitad.

El más reciente avance en reuso de agua, es en la apreciable reducción realizada en las enormes cantidades de agua usadas en blanqueo mediante recirculación de interetapas.

El gran futuro potencial para suplementar o reponer el agua de proceso, particularmente en regiones con escasez de agua, es la restauración del agua residual (ref. 3).

La restauración puede ocurrir en forma espontánea por purificación natural de los cuerpos receptores de agua.

Quando la carga contaminante rebasa la capacidad de biodegradación del cuerpo receptor, es posible una rápida restauración del agua proveniente de la fuente contaminada, mediante la simulación del proceso natural donde el tiempo de biodegradación, sedimentación, clarificación y desinfección se puede hacer tan corto como la técnica y la economía lo permitan.

Los efluentes así obtenidos pueden ser de calidad similar al agua de primer uso (fresca); según el grado de tratamiento y la eficiencia del mismo.

"Para muchos usos del agua el factor limitante es la concentración de sustancias específicas, por ejemplo las sales de calcio y magnesio, cloruros, fierro, manganeso, etc. y por lo tanto es necesario examinar las impurezas presentes en el agua que se desea rehabilitar, en relación a cada uso específico posible."

El gran desarrollo en las técnicas para la manufactura de pulpa y papel aunado al progreso similar en la práctica de obtención, manipulación y tratamiento de agua, ha hecho posible el acondicionamiento del agua a la medida del uso particular a un nivel de costo razonable.

Las fuentes de obtención de agua nunca la suministran pura, contienen algunas impurezas disueltas por el agua cuanto está en contacto con materiales orgánicos, minerales o gaseosos, así como también impurezas no disueltas arrastradas por el flujo del agua y por los agregados de efluentes urbanos e industriales.

Las impurezas en el agua para manufactura de pulpa y papel pueden tener efectos adversos en blanqueo, acabado y colorido de la pulpa, así como causar daños en el equipo por corrosión e incrustación. También la materia orgánica con la acción bacteriana puede causar serios problemas por la formación de lama.

El agua es usada directamente en el procesamiento de la pulpa, en la limpieza y descortezado de materias primas, para disolver y mezclar cargas, aditivos, colorantes y es el medio de traslado de las fibras de una operación a otra hasta llegar a las máquinas formadoras de papel, en las cuales el agua es de primordial importancia para la manufactura exitosa de los múltiples tipos de papel.

Los análisis del agua de proceso en fabricación de celulosa y papel pueden hacerse de acuerdo al método TAPPI T 620m.

Las tolerancias de impurezas que afectan la calidad del agua para los distintos procesos de fabricación, pueden tomarse con referencia a las señaladas en la monografía No. 18 de TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Los alcances de este estudio tendrán mayor aplicación cuando se acepten las tolerancias que actualmente se permiten en las mayorías de las plantas.

En la tabla No. 4 se describen efectos y tolerancias de estas impurezas en la fabricación de pulpa o papel (ref. 3).

Cuando se pretende acondicionar el efluente secundario de una planta de tratamiento biológico (ref. 4) para usarlo como

agua de proceso en una fábrica de celulosa y papel, son necesarios:

1) Un bajo contenido de materia orgánica disuelta.

La materia orgánica indica probabilidad de contaminación por microorganismos, y da lugar a fermentaciones, formación de espumas, realización incompleta de las reacciones químicas, etc.

2) Una baja concentración de fosfatos.

Los fosfatos favorecen el crecimiento de organismos vivos tales como bacterias y virus que son rechazables por razones sanitarias; son nutrientes de fitoplancton y zooplancton que pueden dar lugar a serios inconvenientes por obstrucción de tuberías, alteración del pH del agua, degradación de reactivos químicos, destrucción de fieltros, etc.

3) Ausencia de detergentes.

Debido a que la espuma causa una formación defectuosa de la hoja sobre la máquina de hacer papel.

4) Ausencia de materia en suspensión.

La materia en suspensión afecta la blancura y el drenado de la pulpa que se envía a las máquinas formadoras de papel.

El agua utilizada para las funciones menos importantes (descortezado, transporte de residuos, etc.), no requiere un acondicionamiento estricto, a no ser por alguna acción adversa sobre las instalaciones de manejo y el equipo donde se usa.

El método que se propone en este estudio preliminar es la realización de un tratamiento general para toda el agua captada

para la fábrica, y una serie de tratamientos especiales para las cantidades menores de agua a utilizar en procesos con altas exigencias de calidad en el agua.

Así se daría tratamiento biológico a toda el agua negra captada de un cuerpo de aguas contaminado (gran canal), y el efluente obtenido, una vez desinfectado, sería utilizado en funciones en que no se ejerza acción adversa sobre el producto y el equipo.

La cantidad de agua usada en funciones principales sería "afinada" por medio de un tratamiento fisicoquímico, de tal forma que el efluente obtenido pueda aplicarse a cada uso específico y situación particular.

| PARAMETRO | TOLERANCIAS (mg./l.) | | | | | EFECTOS. |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|--|
| | PULPA AL SULFA TO/SOSA | KRAFT SIN BLANQ. | BLANQ. PULPA. | FORM. PAPEL BLANCO. | FORM. PAPEL FINO. | |
| SOLIDOS SUS. | 25 | 25 | | | 10 | Reduce el brillo papel, afecta color, mallas, fielt. |
| TURBIEDAD | 25u. | 100u. | 25u. | 40u. | 10u. | Depósitos en tubos, afecta brillo y color del papel. |
| COLOR | 5u. | 100u. | 5u. | 25u. | 5u. | Afecta la blancura y las reacciones de precipitación |
| GRASAS Y ACEITES. | | | | | | Perjudica todos los proce- sos: incrusta, fangos, esp. |
| DUREZA (CaCO ₃) | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | Incrustaciones en el equipo y afecta la cohesión papel. |
| ALCALINI- DAD/CaCO ₃ | 75 | 150 | 75 | 75 | 75 | Espumas, arrastre de soli- dos y líquidos en el vapor. |
| FERRO | 0.1 | 1.0 | | 0.2 | 0.1 | Amarillea el papel. |
| MANGANESO | 0.05 | 0.5 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | Colorea, rosa el papel. |
| CLORUROS | 75 | 200 | 100 | 100 | 100 | Incrementa sol. disueltos, corrosión y espuma. |
| ANHIDRIDO CARBONICO | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | Afecta la formación de la hoja, causa corrosión. |
| SILICE SOLUBLE. | 20 | 100 | 20 | 50 | 20 | Aumenta la ceniza en la pulpa. Incrustaciones . |
| SOLIDOS DISUELTOS | 250 | 500 | 250 | 300 | 200 | Espumas y corrosión. |
| CLORO LIBRE | | | | | 2 | Corrosión, color al oxidar el fierro. |
| OXIGENO | | | | | | Corrosión en el equipo. |

TABLA # 4- TOLERANCIAS DE IMPUREZAS EN EL AGUA Y SUS EFECTOS EN LA FABRICACION DE PULPA CELULOSICA Y PAPEL.

FUENTE: Seminario de Estudio y Tratamiento de Aguas, Escuela Sindical de Técnicos Papeleros, Tolosa, España. 1971.

2.- ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE AGUA EN UN PROCESO DE FABRICACION DE CELULOSA Y PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO.

2.1- SELECCION DE UN PROCESO REPRESENTATIVO.

En base a las consideraciones iniciales del presente trabajo respecto al problema que significa el abastecimiento de agua en el Valle de México y analizando las estadísticas (ref. 1) las cuales se anexan en las tablas 5-8, la solución a este problema es de fundamental importancia para una industria que concentra en este lugar la producción de mas de la mitad del papel y la tercera parte de la celulosa hechos en el país.

Con el fin de obtener conclusiones válidas en el universo de estudio, es necesario primeramente considerar los procesos integrados de producción existentes en el Valle de México así como su volumen de producción, para analizar la distribución del agua del proceso integrado de fabricación, que sea por su producción estadísticamente representativo del lugar; y por su consumo unitario de agua, importante.

Analizando las estadísticas mencionadas (ref. 1) llegamos a los siguientes datos que nos conducen a la selección del proceso:

-- La producción Nacional de celulosa proviene de cinco grupos, de los cuales los principales son la celulosa química de madera, con más del 50% y la celulosa química del bagazo de caña con un 30%.

-- La producción de celulosa en el Valle de México es cerca

de un tercio de la producción Nacional.

-- La producción de celulosa en el Valle de México proviene de cinco grupos de los cuales el principal es el de la celulosa química del bagazo de caña, que significa más de la mitad de la producción en el lugar.

-- Más de la mitad de la producción Nacional de papel se fabrica en el Valle de México.

De estos hechos se puede afirmar que: en fabricación de celulosa química, la proveniente del bagazo de caña por el proceso a la sosa, es estadísticamente representativo del Valle de México por el volumen procesado.

También este proceso es representativo por el consumo unitario de agua, porque la celulosa proveniente del bagazo presenta mayor dificultad en la drenabilidad de agua en las secuencias de lavado.

| AÑO | PULPA QUIMICA DE MADERA. | QUIM. DE BAGAZO. | QUIM. DE PAJAS. | Q. BORRA DE ALGODON. | PASTA MECANICA. | OTRAS CELULOSAS | TOTAL. |
|------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| 1969 | 225020 52.8 | 108133 25.3 | 19862 4.7 | 8487 2.0 | 58978 13.8 | 5873 1.4 | 426353 100 |
| 1970 | 252977 53.5 | 115390 24.4 | 22179 4.7 | 9736 2.0 | 66028 14.0 | 6564 1.4 | 472874 100 |
| 1971 | 247388 52.1 | 124323 26.1 | 24796 5.2 | 8084 1.7 | 61997 13.1 | 8097 1.7 | 474685 100 |
| 1972 | 265634 55.0 | 119621 24.8 | 18111 3.7 | 10101 2.1 | 62353 12.9 | 7342 1.5 | 483163 100 |
| 1973 | 285146 55.6 | 139404 27.1 | 16249 3.2 | 10569 2.1 | 60672 11.8 | 1000 0.2 | 513040 100 |
| 1974 | 303638 53.6 | 179706 31.7 | 17594 3.1 | 5436 1.0 | 58498 10.3 | 1891 0.3 | 566763 100 |
| 1975 | 313516 57.0 | 170510 31.0 | 9512 1.7 | 3859 0.7 | 50760 9.2 | 2065 0.4 | 550222 100 |
| 1976 | 356527 57.2 | 193672 31.1 | 8160 1.3 | 6215 1.0 | 53708 8.6 | 4273 0.8 | 623005 100 |
| 1977 | 378746 56.4 | 217167 32.3 | 8635 1.3 | 8006 1.2 | 53987 8.0 | 5436 0.8 | 671977 100 |
| 1978 | 410280 58.1 | 217998 30.9 | 5180 0.7 | 4852 0.7 | 59830 8.5 | 8268 1.2 | 706408 100 |

TABLA # 5- PRODUCCION* NACIONAL DE CELULOSA POR GRUPOS Y SU PARTICIPACION RELATIVA. *Ton. métricas.

FUENTE: Memoria Estadística C.N.I.C.P. 1979.

| AÑO | PULPA | QUIMICA | QUIMICA | PASTA | OTRAS CE | TOTAL |
|------|--------|---------|----------|---------|----------|-------|
| | MADERA | BAGAZO | MECANICA | LULOSAS | | |
| 1976 | 91123 | 118168 | 11626 | 4723 | 225640 | |
| | 40.4 | 52.4 | 5.1 | 2.1 | 100 | |
| 1977 | 97641 | 130432 | 7560 | 5436 | 241069 | |
| | 40.5 | 54.1 | 3.1 | 2.3 | 100 | |
| 1978 | 104447 | 123357 | 10119 | 6165 | 244088 | |
| | 42.8 | 50.5 | 4.2 | 2.5 | 100 | |

TABLA # 6- PRODUCCION* EN EL VALLE DE MEXICO, DE CELULOSA POR GRUPOS Y SU PARTICIPACION RELATIVA. *Ton. métricas.

NOTA.- En el Valle de México se fabrica más de un tercio del total de celulosas producidas en el país, siendo aquí superior la participación de la celulosa de bagazo.

FUENTE: Memoria Estadística C.N.I.C.P.
1979.

| AÑO | PAPEL | ESCRITURA. | EMPAQUE | SANITARIO | ESPECIAL | TOTAL |
|------|-------|----------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| 1974 | | 269828 23.7 | 805395 64.2 | 99752 8.0 | 51713 4.1 | 1253688 100 |
| 1975 | | 285858 24.1 | 759018 64.1 | 105176 8.9 | 34551 2.9 | 1184603 100 |
| 1976 | | 349087 26.2 | 824893 62.0 | 112491 8.4 | 44451 3.3 | 1330922 100 |
| 1977 | | 393922 27.1 | 888987 61.2 | 126324 8.7 | 44423 3.0 | 1453656 100 |
| 1978 | | 434228 27.2 | 969871 60.7 | 145483 9.1 | 47368 3.0 | 1596950 100 |

TABLA # 7- PRODUCCION*NACIONAL DE PAPEL POR GRUPOS Y SU PARTICIPACION RELATIVA. *Ton. métricas.

NOTA.- Más del sesenta por ciento del papel hecho en México se usa para empaque.

FUENTE: Memoria Estadística C.N.I.C.P. 1979.

| AÑO | 1976 | 1977 | 1978 |
|----------|---------|---------|---------|
| PROD./V. | 804508 | 806463 | 951930 |
| MEXICO. | 60.5 | 55,5 | 59.6 |
| PROD/NAI | 1330922 | 1453653 | 1596950 |

TABLA # 8- PRODUCCION* DE PAPEL EN EL VALLE DE MEXICO Y SU PARTICIPACION A LA PRODUCCION NACIONAL DE PAPEL.

NOTA. / Más de la mitad del papel hecho en México, se fabrica en el Valle de México.

2.2- DESCRIPCION DEL PROCESO SELECCIONADO.

La utilización del bagazo de caña para fabricar celulosa ha sido materia de investigación por más de cien años, pero fué hasta 1920 cuando tuvo lugar la primera fabricación comercial afortunada, en Marrero, Louisiana, por la Celotex Corporation. (ref. 6)

El bagazo tiene la ventaja sobre otros materiales fibrosos de no implicar problemas de recolección, molienda y limpieza; por que los costos que ello implica son cubiertos por el proceso de extracción de azúcar. Está disponible anualmente y es accesible en muchos países del mundo, especialmente en algunos que son pobres en sus recursos madereros o que estos son de difícil acceso, como es el caso de México.

En el Valle de México, la fabricación de celulosa química a partir del bagazo de caña mediante el proceso a la sosa, data de 1952, habiéndose duplicado el volumen de producción en los últimos diez años.

La secuencia de operaciones del proceso a la sosa, principia por el desmedulado, continúa por la impregnación alcalina donde se alimenta vapor y sosa cáustica. La fibra acondicionada de esta forma se traslada a los digestores, donde se cuece con una solución de sosa cáustica al 12.5% sobre materia prima, usando altas presiones y temperaturas durante cierto tiempo. La pulpa obtenida de esta forma se vacía en un tanque de soplado que la desaglutina y enseguida se depura en tamices. La pulpa aceptada se somete a lavado antes de someterse al proceso de blanqueo. Generalmente se utilizan tres secuencias en el blanqueo tradicional, con otros tantos lavados: cloración, extracción alcalina e hipocloración. En las máquinas formadoras de papel se concluye el proceso.

2.3- REQUERIMIENTOS DE CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA.

En el proceso a la sosa para obtener celulosa química a partir del bagazo de caña, el agua es utilizada en la limpieza y desmedulado del bagazo, en el procesamiento de la fibra para la obtención de la pulpa; en la disolución y mezcla de reactivos, cargas y aditivos; como medio para el traslado de la pulpa de un equipo a otro; para lograr las consistencias adecuadas para una operación eficiente; en las secuencias de blanqueo y lavado y en la formación de la hoja.

Las cantidades y calidades requeridas en cada etapa del proceso varían ampliamente y por esta razón ha sido posible la aplicación del efluente de una etapa como influente de otra o la recirculación en la misma operación, de ciertas cantidades de aguas residuales diluídas con agua de primer uso.

Según los requerimientos en la calidad del agua, se pueden agrupar las operaciones de este proceso en principales y secundarias, siendo las cantidades variables, según la capacidad de la planta, las recirculaciones posibles y las consistencias necesarias al trabajo del equipo.

Las operaciones del proceso de referencia y sus requerimientos de cantidad y calidad de agua son:

-- Desmedulado, que consiste en la separación de la médula mediante la selección de la fibra por medio de tamices, y cuando se utiliza agua como vehículo, las exigencias en la calidad de la misma no son estrictos, con lo que es posible el reuso del agua recirculandola a la misma operación, previa sedimentación primaria, reponiendose las pérdidas por las purgas al clarificador, con efluentes de otras operaciones, por ejemplo el licor

débil de las lavadoras de pulpa morena en dilución con el eflente de lavado de la extracción alcalina, como se muestra en el diagrama de la figura No. 1.

-- Impregnación cáustica, donde se introduce sosa y vapor a la fibra para un "ablandamiento" preliminar a la cocción. Se requiere una consistencia aproximada de 4%, para lo cual se reusa el agua del drenado en la misma operación, lograndose un máximo aprovechamiento de reactivos.

-- La digestión es la cocción de la fibra con sosa cáustica al 12.5% sobre materia prima y vapor a temperaturas entre 140 y 170°C, a presión de 6 a 9 kilos por centímetro cuadrado, durante un tiempo de 30 minutos.

De esta forma se libera la celulosa de lignina, extractos y materiales no fibrosos que dan cohesión al tejido vegetal, lograndose también el "hinchamiento alcalino" de las fibras de celulosa que pone en contacto con los reactivos todo lo largo de la fibra.

Posteriormente se efectúa una más completa separación de las fibras mediante su descarga a presión en un tanque de soplado en donde se reusa agua que proviene del licor débil de las lavadoras, como se muestra en la figura No.1.

-- El lavado de la pulpa morena obtenida en los digestores se efectúa en una secuencia que usa tres lavadoras de tipo filtro rotatorio continuo.

En la primera y segunda lavadoras se requieren consistencias de 1 y 2%, o sean 100 y 50 metros cúbicos por tonelada de pulpa.

Se reusan aguas recirculadas a contracorriente, así en la primer lavadora se usan licores fuertes e intermedios, y en la segunda lavadora se reusa el licor débil de la tercer lavadora.

Después del segundo lavado se depura la pulpa a un 2% de consistencia, reusando aguas provenientes del efluente de la tercera lavadora o licor débil y parte de aguas blancas clarificadas de las máquinas formadoras de papel. De esta forma la pulpa depurada sale con 1% de consistencia a la tercer lavadora donde se la va con parte del agua blanca clarificada y se completa consistencia con agua "fresca"

La calidad del agua en este lavado final de la digestión no es estricta porque la pulpa morena obtenida contiene aún trazas de lignina y hemicelulosa que se eliminan en el blanqueo. Por esta -- razón de los 45 M³ que se usan como agua de reposición por Ton. de pulpa, 35 M³ son de reuso por recirculación del efluente de las máquinas formadoras de papel y 10 M³ son de agua fresca que se usan en las lavadoras para limpieza de telas.

-- La cloración es la primera secuencia del blanqueo, realizándose en una torre de contacto donde se introduce a la pulpa una solución fuertemente clorada, pasando luego a una lavadora que trabaja a 2% de consistencia y que reusa aproximadamente la mitad del agua del efluente clorado mezclado con el efluente del lavado de hipocloración.

Por ser la primera secuencia del blanqueo, además de ser una de las operaciones que mas agua arrojan al drenaje, el agua para preparar la solución clorada y para el logro de consistencia no requiere calidad estricta.

-- La extracción alcalina es la secuencia intermedia del blanqueo de celulosa y utiliza sosa cáustica y vapor, reusando en forma interna un alto porcentaje del efluente de lavado de la ex -

tracción, para lograr la consistencia del 2% requerida en el lavado. Así los requerimientos de agua se satisfacen con 15 M³ de agua fresca por tonelada de pulpa.

-- La hipocloración es la secuencia final del blanqueo tradicional empleado en este proceso, utiliza el hipoclorito de sodio y reusa un alto porcentaje del efluente de lavado de hipocloración y ajusta consistencia con la adición de agua "fresca" de buena calidad.

Por ser la secuencia final del blanqueo, de la que depende en gran medida la presentación de la celulosa blanqueada, la calidad del agua es de vital importancia.

-- La formación de la hoja de papel es la operación final del proceso en esta industria integrada. En esta se acondiciona la pulpa en una pasta de consistencias entre el 0.5% y 1% sobre la que se agregan aditivos, colorantes, caolines, encolantes, etc., que determinan las características del papel.

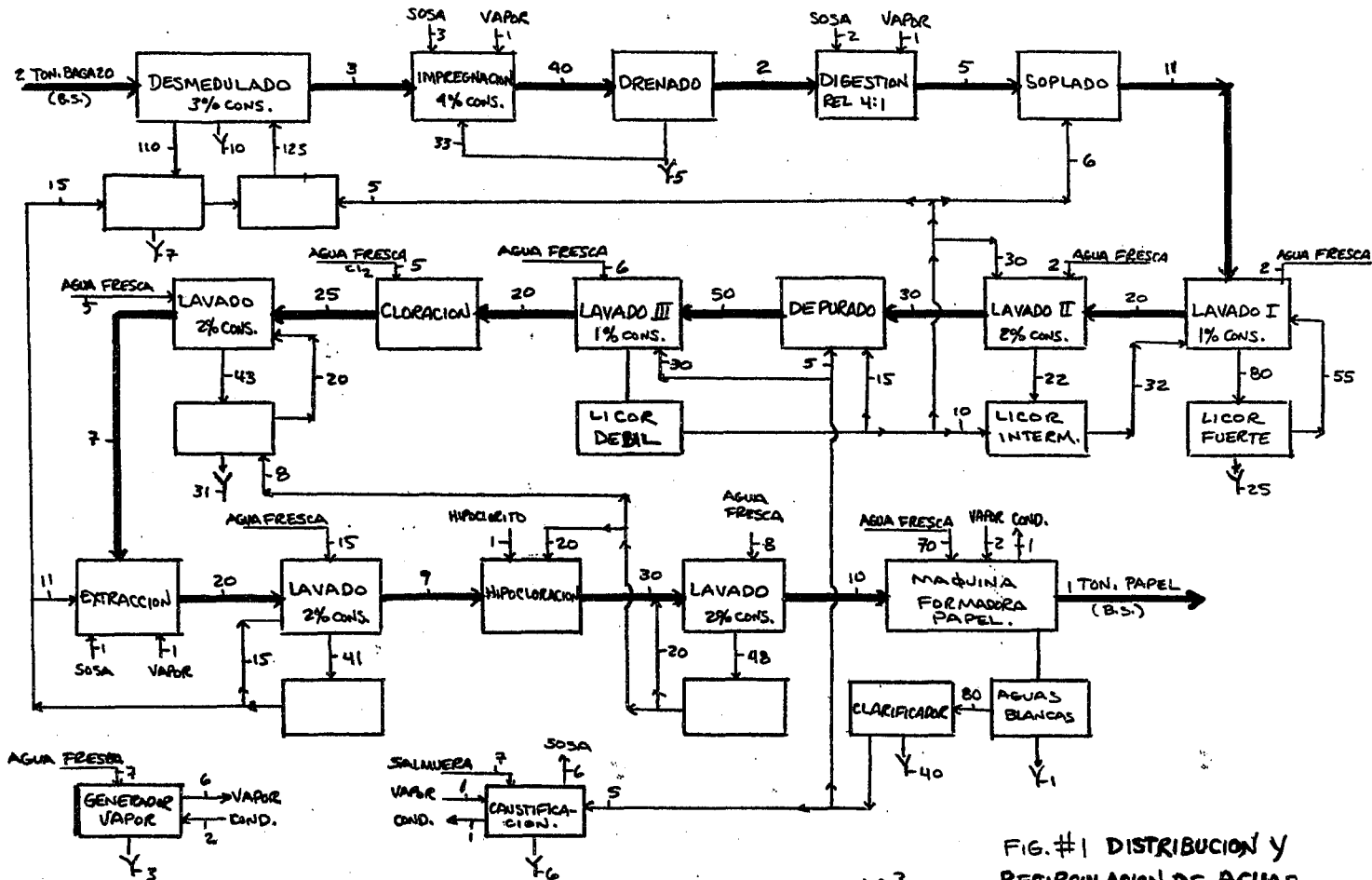
Se requiere agua de buena calidad para papeles finos y en cantidades de acuerdo al espesor deseado en el papel; se considera para el tipo de máquinas utilizadas en este proceso, un gasto aproximado de 70 M³/Ton. de papel.

-- La generación de vapor en una planta que utiliza bagazo por el proceso a la sosa es de aproximadamente 7 M³/Ton. de papel blanco, reutilizando condensados de la planta caustificadora y de las máquinas formadoras de papel, como se señala en el diagrama de la figura No. 1.

Con respecto a la calidad del agua para generar vapor, se debe ajustar a las normas de las calderas.

-- La generación de sosa cáustica requiere alrededor de 12 M³/Ton. de papel en este proceso de referencia.

Las exigencias en la calidad del agua usada para tal fin no son estrictas, a no ser que las impurezas presentes en el agua pu dieran ocasionar interferencias en las reacciones para la obten ción del reactivo o en las aplicaciones del mismo al proceso de fabricación de celulosa. (fig. 1).



UNIDADES: M³.

FIG. #1 DISTRIBUCION Y RECIRCULACION DE AGUAS EN EL PROCESO.

2.4- POSIBILIDAD DEL USO DE EFLUENTES DE TRATAMIENTO.

Como se estableció en párrafos anteriores, el reuso de agua recirculada en la misma o en otras operaciones del proceso de referencia presentado, es la prueba de que son variadas las calidades del agua que se pueden usar sin efectos adversos.

El proceso de fabricación referido y analizado, tiene una capacidad de producción de 200 toneladas diarias de celulosa, e hipotéticamente esa cantidad se blanquea y se transforma a papel de diversos usos.

En esta fábrica el consumo de agua se vé disminuído en 80% al necesario para efectuar las operaciones, debido a las recirculaciones mostradas en el diagrama de la figura No. 1 y explicadas en el subcapítulo anterior. De esta forma el consumo de agua se estima en 25400M³ al día, de los cuales 14000 corresponden al consumo en las máquinas formadoras de papel; 6600 a las secuencias de blanqueo; 2000 a lavadoras de pulpa morena y 2800 a la generación de vapor y sosa cáustica.

Basados en las cantidades y calidades requeridas en las operaciones del proceso, se propone que se substituya el uso de agua potable por efluentes de tratamiento de aguas negras captadas del gran canal del desagüe de la Cd. de México, en niveles de tratamiento secundario o terciario según las exigencias en la calidad y cantidad. Por otro lado, se propone la recirculación de las aguas blancas clarificadas a las máquinas formadoras de papel, con el fin de disminuir a la mitad las necesidades de un efluente de tratamiento terciario para este fin, y cubrir las aplicaciones que se hacen con él reuso de aguas blancas, con un efluente de tratamiento secundario que resulta más barato.

Como se muestra en el diagrama de la fig. 2, se puede observar la recirculación propuesta para las aguas blancas clarificadas al proceso de formación del papel. El uso de efluentes de tratamiento secundario que se está proponiendo se muestra en la misma figura con línea punteada y con línea doble punteada para el efluente terciario.

Con la proposición hecha en el párrafo anterior, se requieren los mismos 25400M³ diarios de agua, pero ahora distribuidos así: 6000 M³/día de efluente de tratamiento terciario en las máquinas formadoras de papel; 1600 y 5000 M³/día de efluentes de tratamiento terciario y secundario respectivamente en las secuencias de blanqueo; 9000 M³/día de efluente de tratamiento secundario para la digestión, depuración y lavado de la pulpa morena; 2400 M³/día de efluente de tratamiento secundario en la planta caustificadora y 1400 M³/día de efluente de tratamiento terciario con acondicionamiento adicional, para generación de vapor.

La distribución propuesta arroja un total de 9000 M³/día de efluente de tratamiento terciario y 16400 M³/día de efluente de tratamiento secundario. Estas cantidades normarán un criterio en el diseño de las plantas de tratamiento de aguas para determinar la factibilidad de la propuesta.

3.- TRATAMIENTO DE AGUAS

3.1- TRATAMIENTO BIOLÓGICO.

El poder restaurador de la naturaleza libra al agua contaminada de impurezas que adquiere durante su trayecto natural de las nubes hasta el mar a través de la tierra, sosteniendo la vida y donde es usada por el hombre en las actividades de las civilizaciones que ha creado.

Para utilizar las fuerzas de autopurificación o purificación natural deben identificarse los orígenes y grados de contaminación y usar un tratamiento que la solucione ya sea en forma espontánea o artificial, conociendo las magnitudes de las fuerzas que intervienen en la purificación y las limitaciones de estas fuerzas, que pueden ser: físicas, químicas y biológicas.

Para lograr artificialmente lo que la naturaleza efectúa a través de largos periodos en grandes distancias de recorrido y extensas áreas de dispersión, las fuerzas de purificación se intensifican, restaurando la calidad del agua en corto tiempo y espacio reducido, en instalaciones denominadas plantas de tratamiento.

El grado de contaminación y purificación natural se puede medir física, química y biológicamente, para tener referencias completas. Según las sustancias contaminantes y los usos de la masa receptora de agua o agua tomada de ella, se hacen mediciones de turbidez, color, clor, nitrógeno en sus formas, fósforo, demanda química de oxígeno (D.Q.O.) que revela el contenido total de

materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que indica la cantidad biodegradable de la materia orgánica, oxígeno disuelto (OD) y otros gases, sustancias minerales, microorganismos y macro flora y fauna.

Cuando se van a utilizar aguas contaminadas, generalmente se les examina respecto a la prevaencia del grupo de organismos coliformes, cuyos cambios longitudinales en concentración establecen el progreso de la autopurificación y el peligro relativo al ingerir el agua y el grado de purificación a que se debe someter el agua antes de que pueda utilizarse con seguridad y satisfacción.

Se confía en el oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno como perfil de contaminación y purificación natural en que puede basarse el cálculo de ingeniería sobre las cargas contaminantes permisibles. (ref. 7).

La cantidad y composición del influente la condición y especificaciones deseadas en la calidad del efluente, son la base para la elaboración y selección de una serie de operaciones unitarias que constituyan el diseño del proceso de las plantas de restauración de aguas residuales.

De esta forma, se puede alcanzar cualquier grado de tratamiento que se desee, mediante la combinación de operaciones unitarias, pero las consideraciones económicas gobiernan finalmente al diseño del proceso.

Las pruebas incluidas en el análisis de aguas negras y efluentes de la planta de tratamiento, miden o reflejan la concentración, la composición y la condición del agua; además de la funcionalidad referente a los procesos de tratamiento.

Estas pruebas incluyen la determinación de: contenido de materia sólida en sus formas, sólidos totales en suspensión, disueltos y sedimentables, componentes volátiles, demandas química y bioquímica de oxígeno (D.Q.O. y D.B.O.), sulfuros, fosfatos, nitrógeno en sus formas, cloruros, alcalinidad, pH, temperatura, turbidez, surfactantes, grasa, demanda de cloro, cloro residual y pruebas bacteriológicas.

El tratamiento biológico de las aguas residuales se concibe y practica como una combinación de operaciones interrelacionadas: la primera, cronológicamente y en importancia, es la transferencia de impurezas desde las aguas residuales de la película, floculo u otras formas de biomasa por contacto interfacial así como con las adsorciones y absorciones asociadas.

Para que esta operación se realice eficazmente, la interfaz líquido-biomasa y el gradiente de concentración de las sustancias que se van a remover deben ser suficientemente grandes y sin interferencias de sustancias o películas obstructivas en la interfaz. Por consiguiente es importante tanto la extensión como la calidad del contacto.

La segunda cronológicamente e igualmente importante es la preservación de la calidad del contacto que se logra por la oxidación de la materia orgánica y la síntesis de células nuevas.

La tercera operación que procede en sincronía con la preservación de la calidad del contacto y determina la efectividad global del proceso, es la conversión de la biomasa en sólidos sedimentables o removibles en otra forma.

La contribución importante de los sistemas biológicos de tratamiento estriba en su poder de purificación normalmente auto-generado y automantenido a través de utilizar las sustancias de desecho como nutrientes.

En la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales la cantidad remanente de trabajo que se va a ejecutar disminuye en proporción a la concentración decreciente de sustancias removibles y a la removilidad de sus fracciones constituyentes, o sea que los nutrientes que mejor se prestan a la remoción se separan en primer lugar y más rápidamente.

De esta forma, la velocidad de purificación es una función de la concentración de las sustancias removibles y de la removilidad en el tiempo de las fracciones constituyentes (ref. 7).

Las cargas de proceso se expresan racionalmente por los pesos de las impurezas nutritivas removibles, por ejemplo los valores totales de las cargas de D.B.O, D.Q.O., y sólidos en suspensión expresados en libras o kilogramos por día. Se determinan mediante análisis y medición de flujo o carga hidráulica.

La intensidad de carga que se aplica a la superficie de contacto interfacial y el tiempo de residencia o exposición son las variables controlables que conducen a una determinada eficiencia

de tratamiento que se mide por muestreo del influente y efluente y se calcula el porcentaje de remoción efectuada globalmente o por etapas de tratamiento.

Las unidades biológicas de restauración de aguas residuales pueden ser aireadores de placas de contacto, filtros rociadores en etapas, o unidades de lodos activados en sus variantes (ref. 7). Estos sistemas pueden describirse en forma general como sigue:

-- Lechos de contacto - son una serie de depósitos con superficies de contacto que pueden ser hojas verticales de plástico o asbesto-cemento en el interior del tanque, cuentan con un colector de agua al fondo y un inyector de aire que mantiene aeróbico el proceso biológico. La capacidad de tratamiento por unidad de superficie varía de 1 a 40 metros cúbicos diarios por metro cuadrado.

-- Filtros rociadores- son depósitos en donde fluyen las aguas residuales a través de los crecimientos biológicos que cubren las piedras trituradas u otros medios de contacto que integran el lecho. La aireación mediante boquillas y la ventilación natural mantienen las aguas aplicadas y los crecimientos biológicos sobre las superficies de contacto, en condiciones aeróbicas.

El diseño de estas unidades es generalmente como estructuras circulares que rodean al medio de contacto sobre el cual se hacen gotear aguas residuales desde distribuidores rotativos, son de baja profundidad y pueden funcionar en etapas sucesivas.

El medio de contacto debe ser resistente al clima, agua y crecimientos biológicos, tal como basalto, granito o piedra caliza triturados, así como también carbón duro, coque, escorias de altos hornos, materiales cerámicos y plásticos.

La superficie de contacto, de la cual depende la capacidad de tratamiento, varía de acuerdo a las dimensiones del material y el porcentaje del espacio vacío, y se encuentra entre 50 y 100 metros cuadrados por metro cúbico de material de contacto.

■- Tanques aireadores- existen dos sistemas de aireación en estas unidades: aire difundido o aireación neumática y aireación mecánica, y tienen una eficiencia de transferencia de oxígeno entre 5 y 15%. Las principales funciones de éste equipo son mantener condiciones aeróbicas mediante el abastecimiento del oxígeno necesario y favorecer el contacto de materia orgánica y lodos activados, manteniéndolos en suspensión.

Al pasar la mezcla de licor al sedimentador secundario o clarificador, se precipitan los floculos biológicos y desechos separándose por decantación para retornar el sedimento al inicio del proceso de aireación. El porcentaje de éste retorno de lodos activados al influente es en un promedio de 20% del influente.

Los requerimientos de aire varían de 30000 a 45000 litros por kg. de D.B.O. removida cuando la carga de D.B.O. no excede la mitad de la carga de sólidos suspendidos en el licor mezclado, que se deben mantener en 2500 mg/l. mediante el adecuado retorno de lodos.

Estas relaciones interdependientes implican un tiempo de

residencia de 4 a 8 horas de aireación con un suministro de aire de 4 a 15 metros cúbicos por M^3 de aguas negras.

Para evitar la sedimentación de floculos en el tanque de aireación se debe mantener un mínimo de velocidad del agua de .3 metros por segundo. El ancho de los tanques es de 1.5 a 2 veces su profundidad y el largo varía de 30 a 120 metros.

-- Clarificación o sedimentación secundaria- se utiliza generalmente después del sistema biológico. En este equipo la velocidad de sedimentación libre de las partículas de 10^{-1} cm. de diámetro con un peso específico de 1.005 es generalmente de 2×10^{-1} cm/seg. disminuyendo en un 10% cuando se tienen concentraciones de sólidos mayores a 2500 mg./l.

Bajo condiciones ideales, la carga superficial de los tanques secundarios que tratan lodos activados puede ser tan alta como $180 M^3 \text{ día}/M^2$, y el tiempo de retención tan bajo como 0.5 hr. en un tanque de 3 M. de profundidad.

En la práctica el valor de carga de $50 M^3 \text{ día}/M^2$ permite un margen para lodos de asentamiento lento, pero sin exceder demasiado el tiempo de retención recomendado, para evitar que se tengan condiciones sépticas, y se produzca nitrificación y elevación de sólidos "abultados" por el gas formado.

Un sistema de flotación adicional en el mismo clarificador con una estructura desnatadora unida al sistema de rastras que recolecta lodos sedimentados sirve para recolectar también lodos ligeros que flotan, y desecharlos del sistema.

3.2- TRATAMIENTO FISICOQUIMICO.

Cuando la remoción lograda en el efluente secundario de la planta de tratamiento biológico, del 90 al 95% de sólidos en suspensión, y las D.B.O. y D.Q.O. obtenidas no se consideran suficientes para que el agua sea utilizada por el hombre en su actividad industrial, es necesario efectuar un tratamiento fisicoquímico posterior al tratamiento biológico. (ref. 4).

Los procesos fisicoquímicos tradicionales para acondicionamiento de agua de uso municipal e industrial se pueden clasificar en:

Primarios, como la sedimentación simple, la flotación y el filtrado mecánico.

Secundarios, como la coagulación-floculación, la precipitación química y la oxidación.

Terciarios, como el intercambio iónico, la desinfección, control del pH de equilibrio o estabilización, desactivación, remoción de sílice, adsorción, electrodialisis, osmosis inversa y destilación; esta última es la forma en que la naturaleza purifica las aguas por los arcos evaporativo y precipitativo del ciclo del agua.

En las plantas de tratamiento de aguas, generalmente el tratamiento secundario es precedido por un tratamiento primario con empleo de rejillas, desarenadores y decantadores.

El tratamiento secundario puede ser fisicoquímico, como precipitación química y filtración; tratamiento biológico, como los

lechos de contacto, filtros rociadores y unidades de lodos activos, todos ellos seguidos de sedimentadores secundarios.

Los sistemas secundarios de tratamiento fisicoquímico que más se utilizan en las plantas de tratamiento son la coagulación-floculación y precipitación química seguidas de sedimentación secundaria y filtración a través de arena.

Así, cuando se tienen sólidos de pequeña dimensión en el agua como suspensión estable, de manera que no sedimentan en forma natural debido a que las partículas presentan cargas eléctricas del mismo signo que por repulsión eléctrica impiden su unión en contra de las fuerzas de atracción de masas; se logra la coagulación añadiendo a la dispersión de partículas iones de signo contrario al coloide, de esta forma se unen las partículas, creciendo los flóculos que son eliminados por sedimentación y filtración.

Generalmente las dosis requeridas de coagulantes se encuentran mediante las llamadas pruebas en jarras que se llevan a cabo con un agitador de laboratorio.

Los coagulantes más comunmente utilizados son los sulfatos de fierro y de aluminio, que también son precipitantes químicos de los fosfatos cuando se encuentran presentes en el agua y se requiere eliminarlos por ser un nutriente para organismos indeseables. Los coagulantes además se consideran un valioso auxilio para mejorar la cinética de la precipitación química que se aplica para eliminar del agua substancias disueltas tales como el calcio, magnesio, fierro y manganeso.

Es deseable eliminar los óxidos de fierro y manganeso del agua porque estos producen coloraciones rojas y cafés en ésta, lo que hace que sean indeseables para lavandería, tejido, producción de pulpa y papel y otros procesos de manufactura.

La eliminación se logra por conversión de los iones ferrosos y/o manganesos a insolubles férrico y/o mangánico de valencia mayor, mediante oxidación ya sea con oxígeno, permanganato, ozono o cloro; o por precipitación de los carbonatos bivalentes, en la misma forma que se precipita el calcio en la suavización cal-carbonato. Los óxidos así precipitados se remueven por sedimentación seguida de filtración.

Las operaciones de coagulación-floculación y precipitación química se efectúan casi siempre conjuntamente en el mismo aparato de la sedimentación secundaria, donde se logran tamaños de partículas mayores y por consiguiente mejor sedimentación, debido a que con la coagulación en presencia de lodos preformados se aumenta la probabilidad de encuentro de la partícula naciente con otra y la atracción de esta es mayor a mayor tamaño, con lo que el crecimiento de partículas es rápido.

Es necesario mantener un tiempo de retención adecuado, una constante agitación a velocidad constante y correcta y una purga oportuna de lodos, con una dosis de reactivos determinada en el laboratorio.

En la filtración se hace pasar el agua a través de arena y las partículas en suspensión son retenidas en el lecho de arena,

en zonas más profundas cuanto mayor es la velocidad de filtración y menores las partículas.

La velocidad de filtración influye sobre el tiempo del funcionamiento del filtro antes de atascarse, o sea antes de alcanzar la pérdida de carga máxima para la cuál ha sido diseñado. También la talla de arena y la cantidad y calidad de partículas en el agua, tienen influencia sobre el tiempo de los ciclos de lavado.

Las velocidades de filtración en la práctica se recomiendan de 5 a 12 M³/hr. M² en filtros abiertos y llegan a 18 M³/hr. M², para filtros a presión.

El punto fundamental para obtener un funcionamiento satisfactorio de un filtro es la realización de un buen lavado que regituya al lecho filtrante su estado y cualidades primitivas.

El lavado por retorno de agua o retrolavado, es apto para el caso en que se filtre agua simplemente floculada y sedimentada; el caudal del lavado para arena de tamaño no superior a 0.5mm. ha de ser mayor de 35 M³ por hora por metro cuadrado de superficie de filtración. En el caso de tamaños de arena hasta de 2 mm. es recomendable usar lavado por retorno de una mezcla aire-agua.

Un sistema de tratamiento terciario que se hace absolutamente indispensable al primario y secundario, es la desinfección.

Así, los efluentes secundarios de una planta de tratamiento biológico o fisicoquímico son generalmente desinfectados.

Para ello se requiere de la adición de ciertos desinfectantes, que deben: 1). Destruir las clases y números de patógenos que

se pueden introducir en las aguas y hacerlo en un lapso practicable de tiempo, a una temperatura ambiente, a pesar de las posibles fluctuaciones en composición, concentración y condición del agua.

2). En las concentraciones requeridas, no ser tóxicos al hombre ni a sus animales domésticos, ni tener sabor desagradable u objetable por alguna otra razón.

3). Deben ser aplicables a un costo razonable, ser seguros y fáciles de almacenar, transportar, manipular y aplicar.

4). Su concentración en el agua debe ser determinable con facilidad, rapidez y de preferencia automáticamente.

5). Deben persistir en el agua desinfectada con la concentración suficiente para proporcionar una protección residual contra la posible recontaminación del agua antes de su uso. (ref. 7).

Los desinfectantes son más o menos eficientes por su reducción de organismos indicadores (coliformes) a números que implican una seguridad estadísticamente aceptable contra una posible infección.

El agua se puede desinfectar mediante el calor, si se eleva la temperatura hasta su punto de ebullición, práctica común en el agua para consumo humano cuando no hay otros medio de desinfección.

Los desinfectantes químicos pueden resultar baratos y efectivos, entre ellos podemos mencionar los productos oxidantes (cloro, bromo, yodo, ozono, permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno); los iones metálicos (iones de plata y cobre); los ácidos y alcalis y los tensoactivos (detergentes catiónicos).

Se puede decir que para la desinfección rutinaria de aguas municipales e industriales, el cloro es tan eficiente como razonablemente barato; el ozono es eficiente pero relativamente caro y no es persistente para fines de indicación residual; y el calor es más costoso y carente de propiedades indicadoras (ref. 7)

El tratamiento terciario del que depende que el agua no sea corrosiva o incrustante, es la estabilización química de los iones de calcio y la alcalinidad del agua, ajustando el pH al equilibrio de saturación del carbonato de calcio, en el cuál este no se disuelve ni precipita.

Así, cuando se tiene un pH menor al pH de equilibrio, se tiene corrosión por la acción del exceso de iones hidrógeno. Por lo contrario a un pH mayor al pH de equilibrio, se tiene incrustación a causa de la precipitación de sales de calcio y magnesio insolubles.

Dentro de los tratamientos terciarios que se aplican a volúmenes parciales de agua para usos especiales, se encuentra en primer término el intercambio iónico, que consiste en el intercambio reversible de iones entre un medio sólido de intercambio y una solución.

En la industria se emplean cambiadores catiónicos, aniónicos y de lecho mezclado para preparar agua de alimentación a calderas, desionizar o desmineralizar aguas de proceso, concentrar soluciones diluidas de electrolitos y preparar reactivos químicos.

La adsorción sólido-líquido es de gran importancia en los procesos de tratamiento terciario del agua, en el que se transporta de la fase líquida a la sólida sustancias como: productos químicos; sustancias tóxicas y otras que son desagradables.

La adsorción puede ser selectiva, y la afinidad de los adsorbentes por los adsorbatos frecuentemente es de repulsión hacia alguna fase en solución.

La adsorción física es generalmente rápida, reversible y se alcanza un condición de equilibrio entre el adsorbato adsorbido y el disuelto, inmediatamente después del contacto con el adsorbente. Las posiciones del equilibrio en adsorción están dadas por las isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich, que relacionan la cantidad adsorbida por unidad de adsorbente con la concentración de adsorbato y determinan el área superficial.

En 1930 G.L. Spalding demostró que el carbón activado se puede aplicar en forma satisfactoria y económica a un abastecimiento público de aguas y a partir de entonces, el carbón activado ha sido el adsorbente elegido en la remoción de olores, sabores y colores complejos del agua.

El carbón activado se puede producir a partir de una variedad de materias primas carbonosas como madera, turba, lignito y carbón de las fábricas de papel. La materia prima se carboniza en ausencia de aire a una temperatura inferior a 600°C, activándose después mediante una combustión lenta a temperaturas entre 600 y 700°C; o por oxidación con vapor de agua o bióxido de car-

bono a 800 ó 900°C .

El carbón activado granular tiene generalmente un tamaño como el de la arena para filtros, es decir 0.1 a 1 mm. de diámetro. La capacidad de adsorción del carbón activado es muy elevada debido a que medio kilo finamente dividido contiene aproximadamente 10^{13} partículas y un centímetro cúbico macizo de carbón activado granular presenta un área combinada de superficie externa y de poros, de 1 Km².

La operación en lecho fijo ó a contracorriente es un medio efectivo y eficiente para utilizar el carbón activado y otros adsorbentes, porque el agua entrante se pone en contacto con el adsorbente a lo largo de un gradiente de actividad residual creciente, hasta que el carbón más activo proporciona una purificación final al agua efluente en cada ciclo de operación.

La regeneración parcial del carbón activado es posible mediante la volatilización térmica o destilación por vapor de los adsorbatos orgánicos y también hay posibilidad de usar hornos de hogar múltiple.

3.3- EJEMPLO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS PARA REUSARLAS EN FABRICACION DE CELULOSA Y PAPEL.

Algunas plantas de tratamiento de aguas negras diseñadas a escala piloto (referencias 8 y 9) han sido operadas para obtener efluentes que puedan probarse en los procesos de manufactura de celulosa y papel.

La planta tomada como ejemplo, y de la cual se muestra el diagrama de flujo de la figura No. 3, ha sido diseñada para tratar 9 M³/hr. y se compone de una unidad de lodos activados, equipo de cloración, dosificadores de reactivos y tanques de mezclado, clarifloculador, filtros rápidos de arena, fraccionador de espuma y columnas de carbón activado.

En la tabla No. 9 se muestran resultados promedio de los análisis hechos en el influente, efluentes secundario y terciario antes y después del tratamiento con carbón activado.

La dosificación promedio de reactivos fué de 5 mg/l de sílice activado, 25 mg/l de cal hidratada, y 75 mg/l de sulfato de aluminio.

Para obtener una reducción apreciable de fosfatos, hubo de mantenerse un pH de 5 a 5.5 en el agua floculada, variando la dosificación de reactivos y ajustando después el pH del agua clarificada a ± 7.0 mediante sosa cáustica.

Posteriormente el efluente se pasa a través de un fraccionador de espuma para remover los detergentes sintéticos.

Finalmente se da un "pulimiento" al proceso, bombeando el agua a través de columnas de carbón activado para adsorber el re

sidual de detergentes sintéticos y de materia orgánica que imparte color y olor al agua.

De los resultados del análisis de los efluentes secundario y terciario antes y después del tratamiento con carbón activado, se pueden apreciar las principales diferencias que produce el tratamiento con carbón activado en el contenido de materia orgánica y color.

De estos resultados se prevee que la etapa del carbón activado es necesaria para producir una alta calidad del agua, esencial para la producción de papeles blancos.

La experiencia de la planta piloto fué básica para el diseño (y construcción, ref. 10) de una planta de restauración de aguas residuales a escala completa, para tratar 12000 M³/día, integrándose por las siguientes unidades después del tratamiento biológico:

- Una sala de dosificadores, medidores de flujo, pH, etc.
- Un clarifloculador con diámetro de 25 metros y capacidad de 2100 M³, dándose un tiempo de retención de 4.5 hr. y una velocidad de flujo ascendente de 1 m/hr.
- Un fraccionador de espuma con capacidad de 127 M³ dando un tiempo de retención de 8 min. en el cual el efluente clarificado es aireado violentamente con relación en volumen aire: agua de 5:1, y la espuma resultante es separada y drenada.
- Una estación de inyección de cloro.
- Un colector de agua clarificada con capacidad de 345 metros cúbicos que recibe el efluente clarificado y clorado.
- Cinco filtros de arena a presión, cada uno con capacidad de 18 M³ con una relación de carga superficial de 188 M³ al día/M².

-- Cuatro torres de carbón activado, cada una con capacidad de 87 M³, llenas con 16000 kilos por unidad de carbón activado granular, con 15 min. de tiempo de retención, con una relación de carga superficial de .25 M³ por min. por metro cuadrado, contandose con un sistema de regeneración del carbón activado.

--Una segunda estación de inyección de cloro y

-- Dos tanques de almacenamiento con una capacidad de 2200 M³ cada uno, de los cuales se bombea el agua a la planta de celulosa y papel.

La figura No. 4 muestra el diagrama de flujo de la planta de restauración de aguas residuales. La planta a escala completa difiere de la planta piloto en que el fraccionador de espuma se instaló antes de los filtros a escala completa, esto por comodidad para tener menos etapas de bombeo, y el rearrreglo no afecta la eficiencia en las dos etapas del tratamiento.

La planta ha sido operada continuamente por periodos de más de cinco años y los datos de la tabla no. 10 son representativos de la calidad del efluente obtenido. Los productos químicos y el rango de dosificación fueron: sulfato de aluminio, de 60 a 120 mg/l, sílice activada de 3 a 7 mg/l y polielectrolito de 0.2 a 0.3 mg/l. La cal y el ácido sulfúrico también se adicionaron para ajustar el pH a 6, que fué satisfactorio para remover fosfatos, comparado al pH de la planta piloto con rango de 5 a 5.5, esto redujo el consumo de reactivos y la corrosividad del agua.

El único problema serio encontrado fué el crecimiento de la ma y algas en los lechos de arena filtrantes y en el carbón activado. Esto fué solucionado por la introducción de una etapa de cloración después del fraccionador de espuma.

El ciclo de regeneración de carbón activado es de 3 meses aproximadamente, depende del contenido variable de color y otras materias orgánicas en el influente.

| PARAMETRO | INFLUENTE | EFLUENTE | EFLUENTE TERCIARIO | EFLUENTE TERCIARIO |
|------------------|-----------|------------|--------------------|--------------------|
| | | SECUNDARIO | SIN TRAT. CARBON | CON TRAT. CARBON. |
| Potencial H. | 7.0 | 6.6 | 7.0 | 7.0 |
| Color(u. Hazen) | | | 50 | 5 |
| S.D.T. | 491 | | 525 | 500 |
| Solidos Sus. | 146 | 36.4 | 0 | 0 |
| Dureza Total(') | | 85.5 | 85.5 | 91.6 |
| Alcalinidad (") | | | 24 | 21.1 |
| Oxigeno disuelto | | | 8.4 | 8.1 |
| D.Q.O. | 675 | 123 | 42.5 | 28.1 |
| D.B.O. | 253 | 11.6 | 1.1 | 0.4 |
| Detergentes(") | 7.9 | 2.1 | 0.5 | 0.1 |
| Fosfatos | 17.5 | 11.2 | 0.5 | 0.3 |
| Cloruros | | | 112 | 110 |
| Sulfatos | | | 121 | 110 |
| Fierro | | | 0.15 | 0.12 |
| Manganeso | | | 0 | 0 |

TABLA # 9- ANALISIS DE EFLUENTES DE TRATAMIENTO A ESCALA PLANTA PILOTO.

| PARAMETRO | EFLUENTE SECUNDARIO | EFLUENTE TERCIARIO | % PROM. DE CAMBIO |
|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Potencial H. | 7.1 | 7.0 | - |
| Turbiedad/J. | 3.4 | 0.6 | -82.4 |
| Color/Hazen | 57 | 7.0 | -87.3 |
| S.D.T. | 443 | 549 | +23.9 |
| Solidos Sus. | 15 | 0 | -100 |
| D.Q.O. | 88 | 43 | -51.1 |
| Detergentes (") | 0.3 | 0.1 | -66.6 |
| Fosfatos | 6.3 | 0.6 | -90.5 |
| Grasas y aceites | 50 | 13 | -74 |
| Dureza Total(') | 66 | 104 | +57.6 |
| Alcalinidad T. (") | 104 | 74 | -28.8 |
| Cloruros | 107 | 111 | - |
| Sulfatos | 63 | 152 | +142.8 |
| Fierro | 0.36 | 0.08 | -77.8 |
| Manganeso | 0 | 0 | - |

TABLA # 10- ANALISIS COMPARATIVO DE EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

NOTA.- (')= (")= expresado como Ca CO₃; (")= Manoxol.

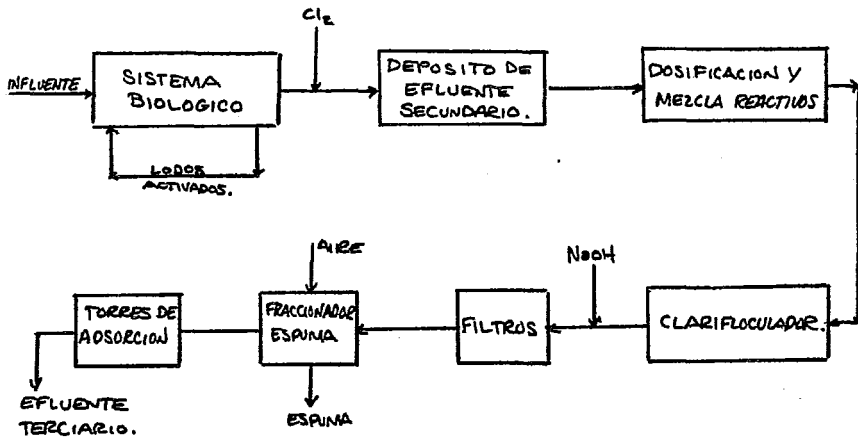


FIG. # 3 - DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA PILOTO.

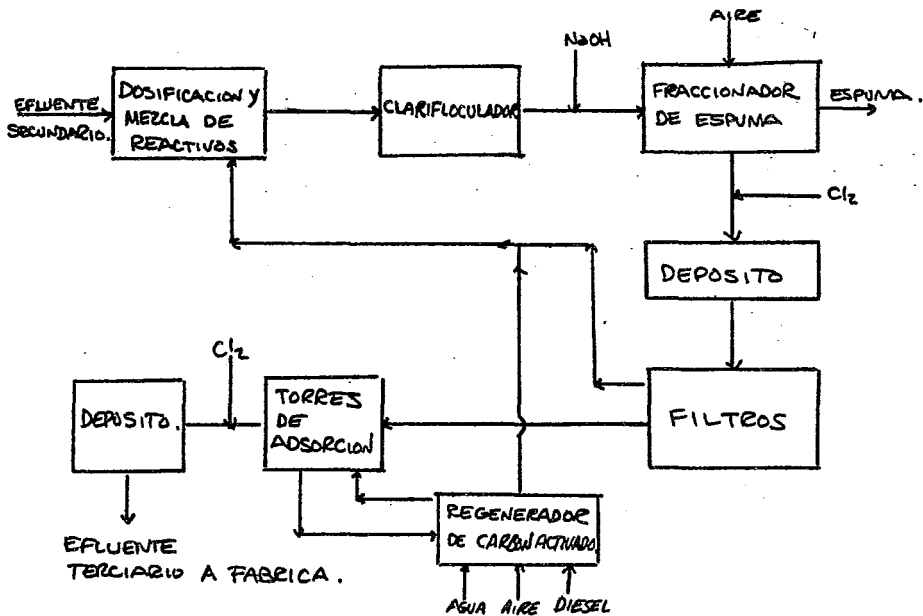


FIG. # 4 - DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

4.- EVALUACION ECONOMICA Y SOCIAL.

4.1 EVALUACION ECONOMICA.

El objeto de la presente evaluación es el de cubrir en forma preliminar la ingeniería del proyecto propuesto en esta tesis, para determinar su factibilidad, cuyo resultado conduzca o no a que las firmas de ingeniería establezcan las bases técnicas sobre las que se diseñará y construirá la planta de tratamiento.

En base a lo expuesto en los capítulos anteriores, enseguida se propone un proceso de tratamiento y el equipo, maquinaria, y obra civil necesario al mismo. Después se señalan estimaciones del costo en base a cotizaciones de compañías que se dedican a éste ramo; y de ésta forma estimar la magnitud de la inversión fija inicial y el costo de operación de la planta o capital de trabajo, que integran la inversión total de capital del proyecto.

El método para evaluar económicamente el proyecto es el del cálculo del período de recuperación de la inversión con flujo de efectivo acumulado, ya que toma en cuenta el ritmo de generación de utilidades, el valor del dinero en el tiempo y la depreciación de la inversión.

4.1.1.- PROCESO Y EQUIPO DE TRATAMIENTO PROPUESTOS.

Para la obtención de los efluentes secundario y terciario que se pretende aplicar en la fabricación de celulosa y papel, como lo establece la proposición hecha en el presente trabajo, es necesario dar un tratamiento primario y secundario al total del agua negra captada, y un tratamiento terciario a un volumen parcial del efluente secundario. Según los datos del análisis de la

distribución de aguas del proceso de referencia y las cantidades propuestas de efluentes de tratamiento que substituyan el empleo de agua de primer uso, como se muestra en la fig. 2, la cantidad total de agua requerida en un proceso que fabrica de 200 toneladas al día de papel blanco obtenido a partir de bagazo de caña, es de 25400 M³/día (293 LPS). Con el fin de cubrir eficientemente los requerimientos de agua en el presente, con un buen margen de sobrediseño para asegurar la efectividad del tratamiento y cubrir una posible expansión del 25% en la capacidad de producción de la fábrica, se propone un sobrediseño de 36.5% para la planta de tratamiento, lo que significa una capacidad máxima de diseño de 40000 M³/día. (462 LPS) .

El volumen de efluente secundario que requerirá tratamiento terciario según la proposición hecha en la sección 2.4, es de 9000 M³/ día, con lo que la planta de tratamiento terciario se diseñará para una capacidad máxima de 14200 de 14200 M³/día.(164 LPS).

El proceso de tratamiento primario propuesto es convencional con empleo de filtración mecánica con rejillas limpiables mecánicamente, tanques de sedimentación primaria desde donde pasará posteriormente el agua al proceso de tratamiento secundario, que sería el tratamiento biológico por el método de lodos activado, ya que presenta mejor respuesta de tratamiento con elevadas intensidades de carga. Para el diseño de las unidades de lodos activados se propone el tipo de aireación extendida, ya que tiene la ventaja de estabilizar los lodos que se van a desechar, por ejemplo al mismo canal del desagüe de la Cd. de México.

La distribución propuesta para la planta de tratamiento biológico es del tipo unitario para lograr economía al construir muros que sirvan en común a las unidades adyacentes, reducir tuberías y válvulas al mínimo y ahorrar espacio; así con la distribución unitaria, los tanques de sedimentación primaria, aireación y clarificación quedan dispuestos en una sola construcción.

El sistema de aireación propuesto es neumático o por difusión de aire, de ésta forma se evita el gran número de motores y reductores que requiere la aireación mecánica y su alto costo de energía y mantenimiento. Se requiere pues, de difusores, líneas de distribución de aire y sopladores neumáticos.

El sistema de desinfección propuesto es el de cloración después de la sedimentación secundaria. El sistema de tratamiento terciario que aquí se propone, consiste primeramente en una serie de tanques mezcladores de reactivos que pueden ser al mismo tiempo floculadores y sedimentadores, como los del tipo clarifloculador. En éste equipo el pH debe ajustarse a 6 para obtener una máxima reducción de fosfatos y una satisfactoria formación de floculos de sedimentación rápida mediante el uso de cal, sulfato de aluminio o cloruro ferrico y polielectrolitos orgánicos. Después de la clarificación el efluente se deberá filtrar por gravedad ó a presión en una serie de filtros rápidos de arena sílica retrolavados con agua-aire. Una vez filtrado el efluente se pasaría a un fraccionador de espuma que consiste en un tanque con aireación al modo de los tanques aireadores pero con una relación aire-agua de 5:1, en el que se contará con un sistema para desnatar la espuma formada por la acción del aire sobre los tensoactivos presentes en el agua; el suministro de aire en éste equipo sería hecho por los mismos sopladores del sistema biológico.

Finalmente se daría un tratamiento al agua con carbón activado para adsorber trazas de color, turbiedad, sólidos suspendidos, D.Q.O., detergentes, fosfatos, grasas y aceites, fierro y manganeso. Se emplearían torres de adsorción con carbón activado granular y se contaría con un sistema de regeneración del carbón activado para reponerlo en un elevado porcentaje en cada ciclo de adsorción.

La maquinaria y equipo necesarios para efectuar el proceso son:
-- Filtros mecánicos del tipo rejilla con despositivos para limpieza

para retener objetos grandes (\pm 5 cm. de separación) hechos de material resistente o protegidos contra la corrosión. Diseño hidráulico para que pasen por gravedad un total de 462 LPS de agua.

-- Tanques rectangulares para sedimentación primaria con paredes comunes de concreto, provistos con sistemas de rastreo inferior y superior y eliminación de lodos por gravedad. Diseño hidráulico para un caudal de 462 LPS. El tiempo de retención en los tanques será de 2 horas con lo que su capacidad es de 3333 M³. (Por ejem. pueden ser 6 tanques de 10 metros de ancho por 16 de largo y 3.5 de profundidad que satisfagan una relación de carga superficial de 0.5 M²/M³ hr. de caudal a tratar .

-- Bombas verticales centrífugas para trasladar un caudal de 462 LPS, a una altura de 10 m. y una distancia de 20m. Se dispondrá de un número apropiado de bombas de apoyo.

-- Tanques aireadores rectangulares con paredes comunes de concreto, diseñados para un caudal de 579 LPS, de los cuales un 25% corresponden al retorno de lodos activados sedimentados en el clarificador. El tiempo de retención de licor mezclado de 5 hrs. arroja una capacidad total de 10425 M³ (de preferencia el número de tanques aireadores deberá ser igual al de sedimentadores primarios y clarificadores o sedimentadores secundarios para lograr un diseño unitario más económico, por ejem. pueden ser 6 tanques aireadores de 10m. de ancho por 50m. de largo y 3.5 de profundidad). El suministro de aire deberá ser de 10 M³/M³ de licor mezclado, o sea aproximadamente 350 M³/min., que removerán teóricamente 11.6 K/min. de D.B.O., o sea que se tendrá una capacidad máxima de remoción de carga orgánica biodegradable de 7 gr/l.

-- Difusores de aire en el fondo del tanque de aireación para flujo espiral, de tipo rociador.

-- Sopladores de aire que en conjunto proporcionen 400 M³/min. para distribuir 350 en tanques de aireación y 50 en el fraccionador de espuma.

-- Tanques rectangulares para clarificación de licor mezclado con paredes comunes de concreto y sistemas de succión inferior y superior para recircular lodos activados y eliminar sobrenadantes. El diseño hidráulico será para un caudal de 462 LPS, con un tiempo de retención de una hora, lo que significa una capacidad de 1666 M³. (por ejem. 6 tanques de 10m. de ancho, 14 de largo y 2.5 de profundidad que satisface la relación de carga superficial de 50 M³ día/M²).

-- Un depósito rectangular, pared de concreto, para contacto del efluente secundario con una solución clorada durante un tiempo de 15 min. con capacidad de 417 M³, para el caudal de 462 LPS (por ejem. 10m. de ancho por 21m. de largo por 2m. de profundidad).

-- Sistemas de inyección de cloro para mantener un residual de 5 ppm. en un efluente secundario con carga orgánica de 100 K/hr., para un caudal de 1666 M³/hr. (con 60 mg/l. de D.Q.O.), con lo que el clorador tendrá una capacidad de 110 kilos de cloro por hora.

-- Un depósito rectangular para el efluente secundario clorado, con pared de concreto y piso a desnivel para purgas de sedimento, con capacidad de 1666 M³ (por ejem. 20m. de ancho, 25m. de largo y 3.5m. de profundidad).

-- Un dosificador o sistema de dosificadores para lechada de cal, en un rango de 50 mg/l., o sea que para 14200 M³/día se requieren 710 kilos de cal hidratada.

-- Un dosificador o sistema de dosificadores de sulfato de aluminio en un rango de 100 mg/l. de agua, para 14200 M³/día se dosificarán 1420 kilos.

-- Un dosificador de sílice activada para lograr una concentración de 5 mg/l., para 14200 M³/día se dosificarán 71 kilos.

-- Un dosificador para un polielectrolito que proporcione al agua 5 mg/l., para 14200 M³/día se dosificarán 7.1 kilos.

-- Un sistema de control automático de pH para ajuste de éste a 6 y 7, conectado a los dosificadores de ácido y base.

-- Un sistema de dosificación de ácido sulfúrico concentrado, para ajustar el pH del agua a 6 para lograr eliminar fosfatos; la cantidad aproximada de ácido que se requerirá es de 600 K/día.

-- Un sistema de dosificación de hidróxido de sodio para ajuste del pH a 7 . La cantidad aprox. de sosa que se requerirá para ello, es de 800 kilos al día.

-- Tanques clarifloculadores para un flujo ascendente de un metro por hora, de planta rectangular o circular con paredes de concreto. Para un tiempo de retención de 4 horas y un caudal de 10^3 M^3 por min., se dará una capacidad de 2400 M^3 .

-- Un fraccionador de espuma de 130 M^3 de capacidad con sistema de difusión de aire en relación aire: agua de 5:1 lo que significa un suministro de $50 \text{ M}^3/\text{min.}$ de aire . Deberá contar con un sistema de desnatación de espuma.

-- Un sistema de inyección de cloro para $600 \text{ M}^3/\text{hr.}$ de agua, que proporcione un nivel de cloro residual de 5 mg/l. , con lo que el clorador tendrá una capacidad de 10 kilos de cloro por hora.

-- Un sistema de filtros rápidos con lecho de arena, para satisfacer una relación de carga superficial de $188 \text{ M}^3 \text{ día}/\text{M}^2$, o sea que para $14200 \text{ M}^3/\text{día}$, se requiere una superficie de filtración de 75.5 M^2 . El sistema contará con control automático para retrolavado, que incluya válvulas neumáticas, compresores, bombas, relojes, electroniveles, etc.

-- Torres de adsorción con carbón activado con capacidad para retener 15 min. los 14200 M^3 de agua a tratar, cumpliendo también una relación de carga superficial de $.25 \text{ M}^3 \text{ min.}/\text{M}^2$.

-- Un sistema de regeneración de carbón activado con capacidad igual al de cada torre de adsorción (aprox. 16000 kilos).

-- Una tercer estación de inyección de cloro para $600 \text{ M}^3/\text{hr.}$ de agua, para mantener en ésta un nivel de cloro residual de 1 ppm. , con lo que el clorador tendrá una capacidad de 5 kilos/hora.

4.1.2- ESTIMACION DE LA INVERSION TOTAL DE CAPITAL.

Para estimar la magnitud de la inversión total de capital del proyecto, se integran a continuación la inversión fija inicial con el costo del 1er. año de operación de la planta de tratamiento de aguas.

INVERSION FIJA INICIAL.

Con referencia a costos de 1980, los valores estimativos y rubros que integran la inversión fija inicial son:

- 1.- \$500,000.00, para organización de la empresa, que incluye gastos de constitución, organización, notariales, permisos, emisión de acciones, sueldos del personal administrativo, etc.
- 2.- \$500,000.00 para patentes y consultorías especializadas.
- 3.- \$500,000.00 para elaboración del proyecto final en base a la información técnico-económica preliminar, por parte de las firmas de ingeniería.
- 4.- \$8'000,000.00 para el terreno de la planta, que se localizaría en las cercanías del gran canal; para manipulación económica del influente, efluente y desechos, que comprende una superficie aproximada de 20000 M².
- 5.- \$60'000,000.00 para la obra civil, que en este caso la mayoría del equipo de tratamiento requiere de ella; se incluyen edificios para servicios auxiliares, almacenamiento de productos químicos, laboratorios, salas de dosificación y control, taller de mantenimiento, oficinas, etc.
- 6.- \$5'000,000.00 para servicios auxiliares, que incluye generadores de energía de emergencia, subestación eléctrica, compresores de aire, equipo de mantenimiento, oficina y laboratorio, etc.
- 7.- \$30'000,000.00 para maquinaria y equipo, que incluye costo de refacciones, fletes, seguros, impuestos de importación, costos de adaptación, etc. El equipo que requiere obra civil, como por ejemplo los clarifloculadores y tanques de aireación, el costo se reparte con el rubro #5.
- 8.- \$1'000,000.00 para la instalación de la maquinaria y equipo.

- 9.- \$1'000,000.00, para la ingeniería, supervisión y administración de la instalación .
- 10.- \$500,000.00, para la puesta en marcha de la planta.
- 11.- \$3'000,000.00, para imprevistos y contingencias.

El valor estimativo de la inversión fija inicial para la planeación, construcción y arranque de la planta de tratamiento de aguas, es de \$120'000,000.00 referidos al valor del dinero en 1980.

COSTO DE OPERACION.

Con referencia a costos de 1980, los valores estimativos y rubros considerados para el cálculo del capital de trabajo o costo de operación son:

- 1.- \$8'000,000.00, del costo anual de productos químicos, incluyendo fletes, envases e impuesto.
- 2.- \$8'000,000.00, de costo anual de energía eléctrica, considerando un precio de \$0.5 el kilowatt. Como referencia estimativa, el consumo de energía en una planta de tratamiento biológico para .5 M³/seg. es de 1'300,000 Kilowatts al mes.
- 3.- \$2'000,000.00, de costo anual de mano de obra para operación y mantenimiento de la planta, que incluye sueldos, prestaciones e impuestos de un Ing. Químico, un Ing. Mecánico-Electricista, 4 operadores de turno y 4 ayudantes de operación, 3 mecánicos, 1 electricista y 4 ayudantes de mantenimiento.
- 4.- \$2'600,000.00, de costo anual de mantenimiento de la planta, considerando un 4% del valor de la maquinaria, equipo y servicios auxiliares, y un 2% del valor de la obra civil.

El valor estimativo del costo del 1er. año de operación es de \$20'600,000.00, a valor del dinero en 1980. Esta cantidad significa un costo de operación de \$56,438.00 al día.

El valor estimativo de la inversión total de capital es de \$140'600,000.00, referidos a valor del dinero en 1980.

4.1.3- CALCULO DEL PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION.

Para el cálculo del período de recuperación de la inversión puede emplearse el método del flujo de efectivo descontado a una tasa de rentabilidad preestablecida. Este método toma en cuenta la variación del valor del dinero en el tiempo y el ritmo de generación de utilidades debido al aumento en la producción llegando a la capacidad máxima en 5 años, así como el aumento anual del precio del agua en un 10% , también se considera un aumento del 10% anual en el costo de operación y mantenimiento.

Se consideran costos y valor del dinero referidos a 1980. No se establecen en este estudio la estructura y programas de la inversión y fuentes de financiamiento.

En el método del flujo de efectivo descontado, se actualiza el presupuesto aplicando a los valores anuales los factores de descuento correspondientes a la tasa de rentabilidad preestablecida, para inversiones supuestamente hechas en el año de 1980, considerando un 20% de rentabilidad en éste caso .

Con base en el presupuesto de flujos de efectivos actualizados, se calcula el flujo de efectivo acumulativo, que al ser comparado anualmente permite determinar la fracción de la inversión que se ha recuperado hasta el año considerado. El año en que el flujo de efectivo acumulado iguala o supera la inversión fija marca el periodo de la recuperación de la inversión. (ref. 11).

Los flujos de efectivo anuales esperados se obtienen sumando a las utilidades anuales previstas, el monto de las depreciaciones de la inversión fija inicial. Las depreciaciones y amortizaciones de la inversión fija se consideran en un 5% anual del valor de la inversión, lo que significan seis millones al año, con lo que la vida del proyecto respecto a la depreciación y amortización total de la inversión fija, es de 20 años.

El valor de las utilidades anuales previstas se obtiene mediante un estado proforma de pérdidas y ganancias, en el que se ha considerado el rubro de gastos administrativos y financieros en un 10% del costo anual de operación, mantenimiento y depreciación. También se considera que las utilidades de operación están exentas de impuestos por ser una empresa sin fines de lucro y con interés social.

Del estado proforma de pérdidas y ganancias (tabla No.11), se obtienen las utilidades anuales de operación, que sumadas a las depreciaciones y amortizaciones anuales integran el flujo de efectivo.

La actualización del flujo de efectivo previsto anualmente, se realiza aplicando un factor de descuento que permite abstraer la rentabilidad mínima deseada, en forma compuesta para obtener el valor del dinero a una fecha base (1980).

El factor de descuento se obtiene por la siguiente fórmula:

$$F = \left(\frac{e^r - 1}{r} \right) e^{-rn}$$

Donde:

F= factor de descuento.

r= tasa de rentabilidad.

n= año para el cual se determina el factor de descuento.

e= base de los logaritmos naturales.

Los valores obtenidos en un periodo de 1 a 5 años con una rentabilidad o tasa de interés del 20% se indican en la tabla #12 en el renglón y columnas del factor de descuento.

| PERIODO ANUAL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|
| COSTO DE OPERACION. (millones de pesos) | 20.6 | 22.66 | 24.926 | 27.418 | 30.16 |
| DEPRECIACION Y AMORTIZACION. (millones de pesos) | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| GASTOS ADMON. Y FINANCIEROS (millones de pesos) | 2.66 | 2.866 | 3.092 | 3.341 | 3.616 |
| COSTO TOTAL. (millones de pesos) | 29.26 | 31.526 | 34.018 | 36.759 | 39.776 |
| VOLUMEN PRODUCIDO. (millones M3) | 9.271 | 9.490 | 10.95 | 12.775 | 14.6 |
| PRECIO PREVISTO DE AGUA (\$/M ³) | 10.4 | 11.44 | 12.6 | 13.8 | 15.2 |
| VALOR PRODUCIDO. (millones de pesos) | 96.418 | 108.565 | 137.794 | 176.780 | 222.238 |
| COSTO \$/M ³ DE EFLUENTE | 3.2 | 3.3 | 3.1 | 2.9 | 2.7 |
| UTILIDAD PREVISTA (millones de pesos) | 67.158 | 77.039 | 103.776 | 140.02 | 182.461 |

TABLA # 11- ESTADO PROFORMA PREVISTO DE PERDIDAS Y GANANCIAS.

INVERSION FIJA INICIAL: 120 MILLONES DE PESOS.

DEPRECIACION ANUAL PREVISTA EN 5 % : 6 MILLONES DE PESOS.

20% DE RENTABILIDAD PARA EL FACTOR DE ACTUALIZACION DEL F.E.D.

| AÑO DE OPERACION | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|
| INVERSION. (millones de pesos) | 120.0 | 114.0 | 108.0 | 102.0 | 96.0 |
| DEPRECIACION Y AMORTIZACION. (millones de pesos) | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| UTILIDADES PREVISTAS. (millones de pesos) | 67.158 | 77.039 | 103.776 | 140.02 | 188.461 |
| FLUJO DE EFECTIVO. (millones de pesos) | 73.158 | 83.039 | 109.776 | 146.02 | 188.461 |
| FACTOR DE DESCUENTO. | .906 | .742 | .608 | .497 | .407 |
| FLUJO DE EFECTIVO EXCEDENTE. (millones de pesos) | 66.281 | 61.615 | 66.744 | 72.572 | 76.704 |
| FLUJO DE EFECTIVO EXACTO. (millones de pesos) | 66.281 | 127.896 | 194.640 | 267.212 | 343.916 |
| % DE RECUPERACION DE LA INVERSION. | 55 | 106 | 138 | 155 | 165 |

TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION CON F.E.D. : 2 AÑOS.

TABLA # 12- EVALUACION ECONOMICA CON EL METODO DEL TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION CON FLUJOS DE EFECTIVO DESCONTADOS.(F.E.D.).

De los resultados que se observan en la tabla # 12, preliminarmente se puede afirmar que desde el punto de vista económico, se trata de un proyecto atractivo, porque el tiempo máximo que se prevee normalmente para recuperar la inversión es de cinco años y en este caso solamente se requieren dos años de operación de la planta de tratamiento.

Se contemplan flujos de efectivo exedentes de 66 millones de pesos al concluir el tercer año de operación, llegando a los 76 millones de pesos en el quinto año.

Como posiblemente la planta sería operada y administrada por una sociedad de usuarios sin fines de lucro, en realidad se pueden tener en cinco años costos de efluentes de tratamiento para el proceso industrial de referencia, que solamente cubran el costo de operación de la planta de tratamiento, lo cual arroja un costo por méτρο cúbico de \$2.70 a valor futuro, como se observa en la tabla número doce, cuyo costo actualizado con el factor de descuento es de \$1.10 por méτρο cúbico a valor presente del dinero en 1980. Este costo es muchas veces menor al costo actual y futuro del agua potable de la red de distribución en el Valle de México.

4.2- EVALUACION SOCIAL.

La evaluación del proyecto desde el punto de vista social, una vez que se logre la substitución del agua potable por efluentes de tratamiento, es muy atractivo, ya que al liberar un gran caudal de agua, que ahora se consume en usos industriales, se tendrá en disposición para satisfacer necesidades vitales para la gente que vive en el Valle de México.

Esto justifica plenamente la aplicación de los recursos económicos, técnicos y humanos con prioridad a otros proyectos.

Existen una serie de intereses político-económicos que pueden oponerse virtualmente al desarrollo y aplicación de las técnicas del reuso de aguas.

Una de las razones es que algunos industriales se encuentran en una situación de privilegio, ya que el costo del agua que extraen por su cuenta - cuando declaran estos pozos - es tan bajo que para sus costos de producción, resultan despreciables, comparados al costo que significaría tratar aguas negras para reuso industrial.

De esta forma algunos industriales pueden ver con indiferencia el desarrollo de las actividades para reusar el agua, porque piensan en forma egoísta, sin considerar el daño que pueden causar en un sitio con problemas topográficos y ecológicos.

Así extraen indiscriminadamente el agua subterránea y descargan residuos industriales altamente contaminantes, causando el hundimiento de la Cd. de México y aumentando la degradación de su medio ambiente, con lo que ponen en peligro la salud y supervivencia de los habitantes del Valle de México.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

1.- El suministro de agua potable en el Valle de México presenta serios problemas causados por la excesiva demanda de agua de las mayores concentraciones demográficas e industriales del país.

2.- Existen ambiciosos programas gubernamentales tanto para aumentar el caudal de agua potable suministrada, como también para tratar aguas negras para reuso agrícola e industrial.

3.- La industria de la celulosa y papel es una de las principales consumidoras de agua en el Valle de México, y es posible técnica y económicamente substituir el agua de proceso por efluentes de tratamiento como se hace en algunas fábricas de celulosa y papel de ciertos países que presentan condiciones de escasez de agua similares al Valle de México.

4.- La calidad y cantidad de agua de proceso requeridas por cada fábrica de celulosa y papel varía ampliamente, siendo necesario elegir un proceso de fabricación de estos productos que sea representativo en el Valle de México, para analizar la distribución del agua de proceso y de acuerdo a las cantidades y calidades empleadas, proponer una substitución de agua por efluentes de tratamiento en cantidad y grado de acondicionamiento acorde a las necesidades del proceso. Al conocer los requerimientos del agua para reuso, se puede estimar la magnitud de la planta de tratamiento y por un diseño del proceso de tratamiento, su evaluación económica.

5.- La evaluación económica resulta atractiva, pero es necesaria una fuerte inversión, y según la evaluación social, existe incomprensión e indiferencia en los sectores industriales involucrados, por lo que es difícil que se interesen en invertir para realizar un proyecto de tal envergadura.

RECOMENDACIONES.

Si se concidera que el resultado del estudio preliminar indica posibilidad de éxito para lograr la substitución de agua potable por efluentes de tratamiento en la industria de celulosa y papel en el Valle de México, se recomienda:

Obtener financiamiento de organismos conjuntos Públicos y Privados para la construcción de:

Plantas piloto de tratamiento de aguas para obtener efluentes .

Plantas piloto de fabricación de celulosa y papel para experimentar con los efluentes obtenidos.

En caso de que los experimentos resulten positivos y conduzcan a la decisión de llevar el proyecto a escala industrial:

Constituir una sociedad de usuarios para el diseño, construcción y operación de las plantas de tratamiento de aguas que suministren efluentes en cantidad y calidad acordes a cada uso específico y situación particular.

De esta forma, se puede diluir una fuerte inversión inicial requerida para la realización del proyecto, logrando así un beneficio compartido a menor costo.

BIBLIOGRAFIA.

(1)- MEMORIA ESTADISTICA 1979 - Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y Papel. México.

(2)- USO DEL AGUA Y MANEJO DEL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación México 1973.

(3)- WATER TECHNOLOGY IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY. TAPPI MONOGRAPH SERIES No. 18. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 1957 N.Y.

(4)- PROCESS WATER FOR PAPERMAKING FROM SECONDARY WASTEWATER EFFLUENT. A. Giampietri, J. A. Voysey . Journal WPCF Vol. 51 No. 3 p.p. 518-525 Mar. 1979.

(5)- FACTORS AFFECTING THE REUSE OF WASTE WATER IN INDUSTRY. Oliver O. Hart, M.R. Henzen. Progress in Water Technology, Vol.7 Nos. 5,6 pp. 905-915 Pergamon Press 1975, Great Britain.

(6)- CIENCIA Y TECNOLOGIA SOBRE PULPA Y PAPEL. C. Earl Libby CEGSA 1967.

(7)- INGENIERIA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES. Volumen II PURIFICACION DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES. Fair, Geyer y Okun. Editorial LYMUSA, México 1971 .

(8)- THE RECLAMATION OF SEWAGE EFFLUENT FOR USE IN THE MANUFACTURING OF PAPER. Voysey J.A. and Giampietri A. WPCF 73,480 (1974).

(9)- TREATED SEWAGE PROVIDES WATER FOR SOUTH AFRICAN PAPER MILL . Giampietri A., Campbell, Bernstein and Irving . Pulp and Paper 47 (2) : 83-86 Feb. 1973.

(10)- THE RECLAMATION OF PROCESS WATER FROM SEWAGE EFFLUENT AND REUSE OF MILL EFFLUENT AND SOLIDS AT MONDI PAPER CO., DURBAN, SOUTH AFRICA. Giampietri A. et Al.

International Assoc. of Wafer Pollution Research Conference on Advanced Treatment and Reclamation of Waste Water, Johannesburg (June 1977).

(11)- LA FORMULACION Y EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE PROYECTOS INDUSTRIALES.

Ing. Humberto Soto Rodríguez, Ing. Ernesto Espejel Zavala, Ing. Héctor F. Martínez Frías.

EDITOVISUAL CeNETI, segunda edición, MEXICO 1978.

