

7
29

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



"GENERACIÓN Y ALTERNATIVAS DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES EN EL
MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUÁREZ,
ESTADO DE MÉXICO".

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JORGE AGUILAR UGARTE GARCIA



MEXICO, D. F.

FEBRERO DE 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señor:

JORGE AGUILAR UGARTE GARCIA
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-061/96.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora **ING. ALBA VAZQUEZ GONZALEZ** que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"GENERACION Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUAREZ, ESTADO DE MEXICO"

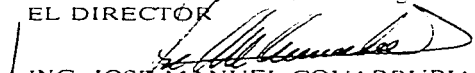
INTRODUCCION.

- I. ASPECTOS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONOMICO.**
- II. CONSUMO DE AGUA POTABLE Y GENERACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES PARA EL PERIODO 1995-1996.**
- III. PARAMETROS DE LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL.**
- IV. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y POSIBILIDAD TECNICA DE REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**
- V. FACTIBILIDAD ECONOMICO-FINANCIERA DEL TRATAMIENTO.**
- VI. CONCLUSIONES.**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta. Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU".
Cd. Universitaria D. F., a 5 de agosto de 1996
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS.
JMCS/RCR*jbr.

DEDICATORIA

***A mis padres, a mi hermano y
a todas las personas que de una
u otra forma me han apoyado e
impulsado a superarme día con
día y ser una mejor persona en
todos los aspectos de la vida.***

“Generación y Alternativas de Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas e Industriales del Municipio de Naucalpan de Juárez”

Índice general

I.-	<i>Introducción</i>	4
II.-	<i>Aspectos generales del medio natural y socioeconómico</i>	9
	II.1. Caracterización física del municipio	9
	II.2. Medio socioeconómico	16
III.-	<i>Consumo de agua potable y generación de aguas residuales domésticas e industriales para el periodo 1996 - 2006</i>	21
	III.1. Demanda de agua potable doméstica, industrial, comercial y de servicios	21
	III.2. Vertimiento de las aguas residuales	26
	III.3. Demanda de agua potable estimada para el periodo 1996 - 2006	27
	III.4. Vertimiento de aguas residuales previsto para el periodo 1996 - 2006	29
	III.5. Legislación aplicable	30
IV.-	<i>Parámetros de evaluación de la calidad del agua residual</i>	33
	IV.1. Parámetros físicos	33
	IV.2. Parámetros químicos	36
	IV.3. Parámetros biológicos	42
	IV.4. Principales contaminantes y sus efectos sobre la salud	45
V.-	<i>Alternativas de tratamiento y posibilidad técnica de reuso de las aguas residuales</i>	52
	V.1. Pretratamiento requerido	57
	V.2. Tratamiento primario requerido	60
	V.3. Tratamiento secundario requerido	64

V.4. Tratamiento terciario requerido	70
V.5. Tratamiento de lodos	72
V.6. Posibilidad de reuso de las aguas residuales	76
VI.- <i>Factibilidad económico-financiera del tratamiento</i>	81
VI.1. Factibilidad económica	83
VI.2. Factibilidad financiera	98
VII.- <i>Conclusiones</i>	100
<i>Bibliografía</i>	104

I.- INTRODUCCIÓN.

El agua representa uno de los recursos naturales más preciados y de particular importancia dado que forma parte sustancial de todos los organismos vivos, tanto animales, como vegetales. Se calcula que el agua cubre el 75 % de la superficie terrestre, 97.2 % del total, o sea 1,264 millones de km³ se encuentra en los mares y océanos, 2.8 % es agua dulce y únicamente 22 % de ésta última, aproximadamente 8 millones de km³ es agua dulce de ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos, es decir el agua aprovechable para la humanidad es muy poca.

Los usos que el hombre le da al agua son numerosos, tales como medio de transporte, como base para alimentos, para beber, riego, aseo en general, usos medicinales, numerosas actividades industriales, generación de energía, fines recreativos y desgraciadamente, como vehículo de sus desechos.

En México, aunque existe una cantidad total suficiente de agua dulce de manera global, la misma no está adecuadamente distribuida en su territorio. En la parte norte de la república solo se da un 3 % de la precipitación pluvial total en un área equivalente al 30 % del territorio; en el sureste contrariamente, se tiene un 50 % de la precipitación en una zona no mayor al 20 % del total nacional; en cambio, la zona centro presenta en su conjunto la mejor relación precipitación-superficie, al tenerse un 47 % en la mitad del territorio .

No obstante la distribución anterior, el Valle de México presenta una problemática específica muy especial que se ha significado desde hace mucho tiempo por una lucha constante, primeramente contra el agua y recientemente, por el agua. En él se aloja el conglomerado urbano que representa la concentración habitacional, comercial e industrial más importante de toda la República, la denominada Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En ella habitan al presente 24 millones de personas, tanto en la propia Ciudad de México, como en los 27 municipios conurbados de los estados de México e Hidalgo, se produce aproximadamente el 35 % del Producto Interno Bruto Nacional, se asienta la planta industrial más extensa del país con más de 20,000 establecimientos industriales de diversos tamaños y casi todos los giros productivos que generan el 46 % de la producción industrial total en la nación, además, la Ciudad de México representa el corazón cultural de la República y la sede permanente de los poderes de la nación, entre muchos otros aspectos de relevancia.

Así tenemos que esta megalópolis, demanda un promedio de aproximadamente 78 m³/s de agua potable, lo que representa una cantidad exorbitante e irracional para cualesquier proyecto lógico y objetivo de planificación de desarrollo, nacional o internacional en lo que a zonas urbano-habitacionales se refiere; esto es por la enorme multiplicidad y variabilidad de las actividades que tienen lugar cotidianamente en ella, y por esta razón se ha hecho imprescindible transportar el agua desde otras cuencas hidrológicas ya no tan cercanas a la del Valle de México.

Esto ha provocado grandes afectaciones a la agricultura y desequilibrios ecológicos e hidráulicos en las zonas afectadas, además de representar crecientes complejidades técnicas y costos muy considerables en infraestructura, operación y mantenimiento. Baste mencionar que en 1989 se calculó que traer un m³/s adicional a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México de las cuencas del Tecolutla y el Amacuzac, requería inversiones de 200 mil millones de viejos pesos la primera, y de 250 mil millones la segunda, lo que actualizado al presente y considerando las restricciones económicas que seguramente seguirán existiendo en el futuro inmediato, convierte a los anteriores en inversiones totalmente prohibitivas.

Es así que dicha demanda se cubre actualmente por medio de extracciones del acuífero subyacente en el Valle de México a través cerca de 2,000 pozos, que representan el 65 % de la oferta total, 10 % proveniente del acuífero del Valle de Lerma y por conducto del abastecimiento de fuentes externas tales como el Sistema Cutzamala en un 25 %. El nivel de

sobreexplotación del acuífero existente asciende aproximadamente al 100 %, al extraerse de 48 a 50 m³/s y recargarse en promedio de 22 a 25 m³/s.

Esto ha provocado un incesante y cada vez más acelerado abatimiento de los niveles de agua freática, lo que a su vez, incide en la aparición de grietas, hundimientos diferenciales, elevación de las concentraciones minerales del agua que se extrae y aumenta el grado de sismicidad por la alteración de las características estructurales del subsuelo.

En este sentido, las zonas mayormente afectadas por la disminución del nivel de agua freática, resultan ser los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla en el Estado de México y la zona de Tlalpan en el Distrito Federal, en donde se reportan disminuciones del orden de 3.5 metros por año en el caso de los dos primeros y de 3 metros en cuanto a éste último.

Específicamente, el municipio de Naucalpan, además de conformar el cinturón industrial más importante del país junto con Tlalnepantla, Cuautitlán y la Delegación Azcapotzalco en el Distrito Federal, presenta la tercer mayor población del Estado de México (casi 900,000 residentes permanentes) y el mayor porcentaje de crecimiento de las zonas vecinas, estimado en un 3.8 % anual, cifra muy superior al promedio nacional o regional.

Adicionalmente, también aglutina la más importante concentración de establecimientos comerciales y de servicios de todas las entidades vecinas; a su vez, éstos demandan un gran número de materias primas, bienes intermedios, agua, energía eléctrica, alcantarillado, vialidades y otros servicios relacionados, que provocan el flujo de población flotante de más grande dimensiones en todo el estado, calculado en alrededor de 3'500,000 de personas por día. Todo ello hacen de él, el municipio más importante, no únicamente del Estado de México, sino de toda la nación, con recursos financieros anuales comparables con los de los estados más pequeños del país y referencia inevitable en el ámbito municipal metropolitano.

Es por ello que Naucalpan, considerando la magnitud, complejidad y diversidad de la problemática que presenta, se sitúa como la entidad lógica en el Estado de México para iniciar la puesta en marcha de diversas acciones en materia de protección ambiental y uso eficiente de recursos naturales como el agua, desarrollo urbano, políticas poblacionales, fiscales impositivas, de bienestar social y de interrelación más estrecha con las vecinas entidades acerca de aspectos ambientales comunes, mismas que deberán seguir necesariamente los municipios metropolitanos y paulatinamente, la totalidad de ellos.

En cuanto a la política de protección y uso eficiente del recurso hídrico, dichas acciones deben considerar la formulación de proyectos y programas de acción que tengan como objetivo lograr un grado óptimo en la distribución del agua potable, la disminución de los consumos per cápita por parte de la población, comercio e industria, la reducción de pérdidas por fugas en las redes, la ampliación del padrón de consumidores y establecimiento progresivo de cuotas reales por el servicio de abastecimiento.

También debe procurarse una atención creciente al tratamiento de las aguas residuales generadas y su descarga bajo la normatividad aplicable; la utilización del agua pluvial en diversas tareas como limpieza, riego, WC, etc; la construcción de redes separadas de alcantarillado pluvial y sanitario, el concesionamiento a la iniciativa privada de las acciones que así lo requieran, la creación de mecanismos de coordinación entre los distintos niveles de gobierno en la atención a esta problemática; el fomento gubernamental hacia una nueva cultura del agua, así como la reglamentación que de sustento a lo anterior.

Además, para atacar la problemática generada por la creciente insuficiencia y mala distribución del agua debe terminarse definitivamente con el erróneo enfoque de continuar extrayendo y transportando agua desde cuencas cada vez más lejanas, tanto por los costos que ello lleva implícito, como por los desequilibrios ecológicos que conlleva.

En vez de ello, deben explorarse soluciones novedosas como el tratamiento generalizado, masivo o particular, de las aguas residuales generadas

y su reutilización en todas las actividades comerciales, industriales, agrícolas y hasta domésticas que lo permitan y demanden, la posible reinyección de los acuíferos existentes de los efluentes tratados terciariamente, y hasta la total conversión de las aguas residuales en potables, con base en diversas operaciones avanzadas como el proceso de ósmosis inversa por ejemplo.

Todas estas acciones requieren de inversiones considerables y constantes, así como de la voluntad gubernamental para reglamentarse, llevarse a cabo y mantener un nivel constante de eficiencia que permita satisfacer los objetivos concretos para los que se conciben. No obstante, al realizar los balances técnicos, económicos, sociales y políticos de las ventajas y desventajas que éstas representan, con toda seguridad el recuento final resultará positivo, representando además, parte muy importante de un esquema general de desarrollo económico y de sustentabilidad ecológica que demanda imperiosamente el Valle de México.

Bajo este marco preliminar de ideas y conceptos, se desarrolla la presente propuesta, cuyo objetivo es proporcionar una fundamentación amplia acerca de las líneas y proyectos de solución específicos que deben ser considerados con respecto a la problemática que experimenta el municipio de Naucalpan de Juárez en cuanto a la disponibilidad de agua potable y su distribución, la generación cuantitativa y cualitativa de aguas residuales y las restricciones que ello implica, así como las posibilidades de respuesta gubernamental, social y privada a ésta, mismas que se conciben a su vez, en un contexto regional más amplio.

II. ASPECTOS GENERALES DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO

II.1 Caracterización física del municipio.

II.1.1 Localización.

El municipio de Naucalpan de Juárez se encuentra ubicado en la porción oriental del Estado de México y en el sector noroccidental de la Cuenca de México, entre los paralelos 19°25' y 19° 32' de latitud norte y entre los meridianos 99° 13' y 99° 25' de longitud oeste, cuenta con una superficie de 196.161 km² y se ubica en las estribaciones orientales de la Sierra de las Cruces.

Como parte de las laderas montañosas del sector occidental de la Cuenca de México, la Sierra de las Cruces en el municipio de Naucalpan, presenta diferencias altitudinales de más de 1,200 metros, ya que sus alturas mayores son de 3,450 m.s.n.m. en la porción occidental y las menores llegan a los 2,200 m.s.n.m. en el sector oriental teniendo una altitud promedio de 2,800 m.s.n.m; esta conformación topográfica imprime al municipio características especiales que lo limitan tanto para su desarrollo como para la adecuada gestión de sus recursos naturales.

El municipio colinda al norte con los municipios de Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla de Baz, al este con el Distrito Federal, al sur con el municipio de Huxquilucan, al suroeste con los municipios de Lerma y Xonacatlán y al oeste con Otzolotepec y Jilotzingo.

II.1.2 Clima.

El clima en el municipio en general es similar a toda la porción occidental de la Cuenca de México y se caracteriza por ser templado y subhúmedo con lluvias en verano.

La temperatura media anual es de 16° C, con una máxima de 34°C una mínima de -5° C, en tanto que las precipitaciones medias anuales oscilan entre 1,200 y 800 mm, con una precipitación pluvial media anual de 808 milímetros, registrándose ocasionalmente heladas en los meses de noviembre a febrero.

El clima en el municipio de Naucalpan guarda una correspondencia clara entre la altitud y el relieve, ya que a mayor altitud es de carácter semifrío y a menor cota es templado.

Climas localizados en el municipio de Naucalpan según la clasificación de Köppen modificada por García (1994):

- *C (E) (W2) (W)*: Grupo templado, subgrupo semifrío; con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5; este tipo climático se presenta en altitudes mayores a los 2,900 - 3,000 m.s.n.m.
- *C (W2) (W)*: Grupo templado, subgrupo templado, con mayor humedad; el porcentaje de precipitación invernal es menor de 5. Se encuentra desde una altura de 2,400 hasta los 3,000 m.s.n.m.
- *C (W1) (W)*: Grupo templado, subgrupo templado, humedad intermedia, porcentaje de precipitación invernal menor de 5, en altitudes menores a los 2,400 m.s.n.m.

De manera similar, la precipitación guarda una estrecha relación con la altura:

- * A cotas superiores a los 3,200 - 3,300 m.s.n.m. , la precipitación es mayor a los 1,200 mm

- * Entre los 2,600 - 2,700 a los 3,200-m.s.n.m., la precipitación es de 1,000 a 1,200 mm
- * Hacia la cota 2,400 hasta la 2,600 - 2,700 m.s.n.m. existe una precipitación de 800 a 1,000 mm
- * Inferior a los 2,400 m.s.n.m., la precipitación es menor a los 800 mm

Para el caso de la temperatura, ésta sigue un gradiente longitudinal:

- ◆ A partir de los 3,100 m.s.n.m. la temperatura es menor a los 10° C
- ◆ Entre los 2,900 a 3,100 m.s.n.m. la temperatura oscila de 10 a 12° C
- ◆ En el rango de los 2,400 - 2,500 m.s.n.m. la temperatura fluctúa de 12 a 14°C
- ◆ Las cotas superiores a los 2,400 m.s.n.m. la temperatura es mayor de 14° C

II.1.3 Geología General.

El municipio de Naucalpan de Juárez está enclavado en las estribaciones de la Provincia Geológica del Eje Neovolcánico, por lo cual el paisaje y los tipos de roca existentes están íntimamente relacionados con el desarrollo geológico de este complejo volcánico.

La provincia geológica del Eje Neovolcánico presenta una amplia predominancia de rocas volcánicas Cenozoicas que datan del Terciario, las más antiguas y del Cuaternario las más recientes: estas rocas ígneas están representadas en dicha provincia geológica por basaltos, andesitas, riolitas y rocas piroclásticas como las brechas y tobas.

Las geoformas que presenta esta Provincia están muy ligadas a los derrames lávicos de un gran número de aparatos volcánicos que contribuyeron al desarrollo de las cuencas endorréicas, para formar así lagos tan importantes como el Cuitzeo y el del Valle de México.

Por lo que respecta al municipio, éste consta de una geología regional evidentemente influenciada por la actividad volcánica de la provincia geológica antes indicada, encontrándose en la mayor parte del territorio tobas alteradas y suelos areno limosos.

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de rocas más comunes del municipio:

- Rocas ígneas.- Esta unidad está formada por rocas de composición ácida casi perteneciente a riolitas; tobas brechoides y tobas asociadas a areniscas; cabe mencionar que existe cierto grado de contaminación mineralógica en las rocas ácidas, las cuales hacia la parte norte, presentan ciertos componentes andesíticos.
- Rocas sedimentarias.- Estas rocas están representadas por areniscas que cubren los derrames lávicos y piroclásticos, así como pequeños manchones de conglomerados; igualmente debe señalarse que las areniscas se encuentran comúnmente asociadas a tobas.
- Depósitos recientes.- Frecuentemente encontrados en las depresiones topográficas, constando de materiales de composición heterogénea y consolidación variable y presentando un origen aluvial.

II.1.4 Descripción de las características del relieve.

El municipio de Naucalpan presenta una serie de protuberancias topográficas, siendo las más importantes los cerros de La Nopalera, Geishito,

Coscomate, La Malinche, Las Cruces, San Francisco, Magnolia, Las Ánimas y el Capulín.

Rodeando las estructuras antes mencionadas se encuentra una serie de lomeríos que pueden ser clasificados como bajos y altos; los primeros comprendidos abajo de la cota 2,250 m.s.n.m. y los segundos limitarían la cota 2,400, posteriormente se ubicaría la zona montañosa (de la cota 2,400 a la 2,800 m.s.n.m.).

II.1.5 Suelos.

De acuerdo a la cartografía temática de suelos editada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, en el municipio pueden encontrarse fundamentalmente 2 tipos de suelo predominantes: Feozem háplico y Feozem lúvico, relativamente jóvenes y muy susceptibles a la erosión cuando pierden la cubierta vegetal. A continuación se presenta una breve descripción de los mismos.

- ◇ Feozem háplico.- Esta unidad se caracteriza por una capa superficial de coloración oscura y nutrientes que por su posición proporciona rendimientos agrícolas moderados y susceptibles de erosionarse; además tiene textura media y algunas fracturas provocadas por la desecación de éste, siendo su espesor aproximado de 0.75 cm

- ◇ Feozem lúvico.- Similares al anterior, se caracterizan por presentar una acumulación de arcillas; pueden sustentar aprovechamientos agrícolas o bien forestales, en función de la profundidad que presenten, así como el relieve del terreno. Estos suelos tienen una susceptibilidad de alta a moderada a la erosión.

II.1.6 Hidrología Superficial.

La configuración de la red pluvial está controlada por la combinación de diversos factores como el relieve, litología, estructura

geológica, condiciones climáticas y en general, por los procesos geológicos endógenos y exógenos responsables de la formación del relieve actual.

La red hidrográfica presenta una configuración en el plano de tipo rectilíneo, mostrando los arroyos principales una orientación SW-NE con un evidente paralelismo. A nivel de cuencas, el dren se comporta de forma similar al de los arroyos, es decir, las cuencas principales fluyen al noreste con algunas excepciones.

Los arroyos principales (San Lucas, Tlalnepantla, El Muerto, San Juan, San Mateo, Totolinga, Agua Caliente y Hondo), presentan una acentuada orientación SW-NE. Hacia la parte centro meridional del área, el arreglo de la red hidrográfica presenta un cambio importante, los cauces secundarios (parte superior del San Mateo, Las Ánimas, Macho Rucio, Ojo de Agua, Chimalpa y la presa El Colorado), paralelos entre sí y con una expresión rectilínea, muestran una tendencia W-E.

II.1.7 Aspectos Hidrogeológicos.

Las partes más elevadas conformadas por rocas volcánicas de la formación Las Cruces, pueden ser consideradas como la zona de recarga y llegan a constituir acuíferos de transmisividad media cuando se encuentran bajo la superficie freática regional.

El relieve intermedio, correspondiente con las lomas volcano-sedimentarias se ubica entre la zona de recarga y descarga y de acuerdo a su composición heterogénea, grado de compactación y al fracturamiento que presenta, es considerado de manera general, como una unidad de elevada porosidad y una permeabilidad de media a baja.

Finalmente, en el extremo oriental del municipio, se ubica la zona de descarga que corresponde con el área urbanizada, en donde se localizan los pozos de aprovechamiento de agua con un nivel freático que se ubica a unas cuantas decenas de metros; asimismo, puede establecerse que el flujo

subterráneo tiene una orientación poniente-orienté, similar al del agua superficial y que el acuífero es de tipo libre de 150 a 200 m de espesor; en términos generales, el nivel freático para el resto del municipio reporta variaciones entre los 140 y los 200 metros.

II.1.8 Vegetación.

Por lo que toca a la vegetación, junto con la fauna son tal vez los elementos naturales del ecosistema más vulnerables y mayormente impactados por el hombre, principalmente en los últimos tiempos.

La vegetación del área de acuerdo con su desarrollo, puede subdividirse en 3 grandes grupos: vegetación primaria o nativa, constituida por 2 comunidades cuyos elementos dominantes son oyameles (*Abies religiosa*), enebros (*Juniperus sp.*) y encinos (*Quercus sp.*); vegetación secundaria, la cual es una mezcla de individuos primarios y plantas indicadoras de perturbación y la vegetación inducida, la cual constituye fundamentalmente los cultivos agrícolas.

La vegetación primaria se localiza preferentemente sobre las estribaciones de la Sierra de Las Cruces, cubriendo grandes extensiones por arriba de los 2,750 m.s.n.m.

La vegetación secundaria se localiza por su parte hacia las zonas más perturbadas dentro del municipio, se caracteriza por la presencia de individuos invasores que van sustituyendo a los elementos nativos que tienden a desaparecer por las diversas actividades antropogénicas de carácter nocivo, como puede observarse en la zona comprendida entre el área natural protegida y la zona urbana.

La vegetación introducida está integrada por aquel grupo de plantas relacionadas con la actividad agrícola, como el maíz, papa, cebada, haba, frijol, alfalfa y algunos árboles frutales.

II.1.9 Fauna.

La disminución de bosques y áreas verdes, la construcción de caminos, carreteras y la invasión del suelo original por asentamientos humanos, han mermado considerablemente las poblaciones faunísticas del municipio.

Tal es el caso, que actualmente sólo pueden encontrarse individuos como conejos, algunas especies de ardilla, tlacuache, lagartija, víbora, arácnidos y diversos insectos; las aves están representadas por la salpatra, dominiaco, cardenal, gorrión y ciertas especies de aves migratorias como la golondrina.

II.2. Medio Socioeconómico.

II.2.1 Población.

El municipio, al igual que el resto de los 27 municipios de la zona conurbada a la Ciudad de México, no ha escapado al acelerado crecimiento poblacional en las últimas décadas. De tal manera que la población ha tenido un incremento de casi 30 veces entre 1950 y 1996, al pasar de 31,884 a cerca de 900,000 habitantes, estimándose una tasa de crecimiento actual de 3.8 %, muy por arriba de la media nacional o regional; asimismo debe destacarse el hecho de que el municipio ocupa el tercer lugar poblacional dentro de los 122 municipios del Estado de México. De muy importante mención es el hecho de que se estima una población flotante de aproximadamente 3'500,000 de personas que laboran, comercian, estudian, tienen actividades de esparcimiento y recreación o simplemente utilizan el municipio para tránsito hacia otros puntos de la Metrópolis.

Asimismo, Naucalpan de Juárez cuenta con 207 localidades, entre colonias, barrios y pueblos; entre los más importantes por la extensión de su población se pueden destacar, El Chamizal, Fuentes del Sol, San Bartolo Naucalpan, Satélite, Lomas Verdes, Echegaray y Lomas de Tecanachalco, entre otros.

II.2.2 Distribución del uso de suelo.

A pesar de lo anterior Naucalpan, a diferencia de muchos municipios conurbados, cuenta todavía con un área natural protegida, necesaria e indispensable para que las diversas actividades de la población se lleven a cabo dentro de un marco armónico con la naturaleza; es así que de manera general y desde el punto de vista del uso actual del suelo se reconocen 3 grandes zonas: urbana, agrícola y de protección natural. El cuadro II.1 muestra la distribución de los usos del suelo en el municipio de Naucalapan, Estado de México.

Cuadro II.1- Usos de suelo en Naucalapan de Juárez.-

<u>ÁREA</u>	<u>SUPERFICIE (km²)</u>	<u>%</u>
AGRÍCOLA Y OTROS USOS	100.257	51
URBANA	69.956	36
NATURAL PROTEGIDA	26.397	18
TOTAL	196.610	100.00

II.2.3 Vías de comunicación.

Las principales vías de comunicación dentro del municipio guardan una relación muy estrecha con las características topográficas de la región, es así que en términos generales éstas se han construido a lo largo de las lomas, y como un indicador inobjetable del sentido del crecimiento urbano es decir, con una orientación E-W, con excepción de la Autopista Chamapa-Lechería, la cual es prácticamente la única vía importante que cruza el municipio en sentido norte-sur, además por supuesto, de la porción extrema poniente por donde fluye el Anillo Periférico Norte o Boulevard Adolfo López Mateos.

II.2.4 Servicios.

El municipio proporciona a la zona urbana los servicios de agua potable mediante red de abastecimiento, drenaje a través de la red de alcantarillado, luz y alumbrado público y recolección de residuos sólidos domiciliarios con un nivel de cobertura y eficiencia relativas considerablemente elevados en cuanto a las zonas residenciales, las zonas habitacionales populares todavía adolecen de muchas carencias elementales sobre el particular.

Asimismo, se cuenta con centros educativos de todos los niveles, públicos y privados, centros de salud de primer, segundo y de tercer grado o de especialidades y diversas zonas de recreo o esparcimiento entre las que destacan, el Parque Nacional Los Remedios con 120 ha, el Parque Naucalli con 30 ha y el recientemente decretado Parque Nacional Otomí-Mexica entre los más importantes.

II.2.5 Aspectos económicos.

La población económicamente activa en el municipio de Naucalpan, asciende al 34.98 %, cifra comparativamente elevada con respecto al promedio en el Estado de México de 30.0 % o el resto del país en su conjunto de 29.6 %.

La economía municipal se sustenta fundamentalmente en los sectores secundario y terciario, que concentran el 99.46 % de la población económicamente activa ocupada, mientras que el sector primario apenas emplea el 0.54 %, tal como puede observarse en el Cuadro II.2. Distribución de la población económicamente activa por sector de actividad en el municipio de Naucalpan, Estado de México.

Cuadro II.2.- Distribución de la población económicamente activa por sector de actividad en Naucalpan, Estado de México.-

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>POBLACIÓN</u>	<u>%</u>
Industria manufacturera	81, 232	30
Comercio	36, 812	13
Servicios postales y mantenimiento	33, 982	13
Administración y seguridad públicas	27, 546	10
Servicios comunales y sociales	19, 223	7
Construcción	14, 415	5
Transporte y comunicación	13, 439	5
No específicos	12, 182	5
Servicios financieros	6, 749	3
Servicios profesionales y técnicos	8, 997	3
Servicio de restaurantes y hoteles	8, 111	3
Extracción de petróleo y gas	2, 206	0.82
Electricidad y agua	1, 793	0.66
Caza y pesca	1, 468	0.54
Minería	33	0.12
TOTAL	268, 488	100.00

II.2.6 Planta Industrial.

La actividad industrial en el municipio ha sido tradicionalmente de enorme trascendencia e importancia, es así que forma conjuntamente con los vecinos municipios de Tlalnepantla, Cuautitlán y la delegación Azcapotzalco en el Distrito Federal, el conglomerado industrial más importante a nivel nacional, mismo que se presenta en el Cuadro II.3 desglosado por giro de actividad.

Cuadro II.3.- Desglose por giro de actividad en Naucalpan.-

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>ESTABLECI- MIENTOS</u>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	690
Productos metálicos	395
Productos de madera	191
Petroquímicos y productos de caucho y plástico	189
Productos de papel, celulosa y cartón	109
Productos minerales no metálicos	80
Otras industrias manufactureras	424
TOTAL	2,078

Desde otra perspectiva, la actividad industrial se concentra en la elaboración de productos alimenticios y la elaboración de maquinaria y equipo, tal como se muestra en el Cuadro II.4. Principales rubros industriales en Naucalpan.

Cuadro II.4.- Principales rubros industriales de Naucalpan.-

<u>PRODUCTOS</u>	<u>%</u>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	33.0
Productos metálicos, maquinaria y equipo	19.9
Productos textiles	16.2
Otros (163 actividades diferentes)	31.9
TOTAL	100.0

III.- CONSUMO DE AGUA POTABLE Y GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES.-

III.1.-Demanda de agua potable doméstica, industrial, comercial y de servicios para el año de 1996.

A continuación se presentan los datos básicos acerca del tamaño poblacional del municipio, desglosados en los sectores habitacional popular, habitacional residencial, comercial y de servicios e industrial; los mismos determinarán la cuantía total y específica de dotación de agua potable a cada uno de ellos.

Los datos considerados como base en el año de 1990, corresponden al XI Censo de Población llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; para los datos posteriores, se han considerado las tasas de crecimiento calculadas por el ayuntamiento de Naucalpan, mismas que ubican la tasa anual de crecimiento del municipio en 1996 en 3.8 %. estos datos se presentan en el Cuadro III.1. Población por sectores del municipio de Naucalpan para 1990 y 1996.

Cuadro III.1.- Población por sectores del municipio de Naucalpan para 1990 y 1996.

Población	1990 (hab.)	1996 (hab.)
En zonas populares	537,595	612,321
En zonas residenciales	248,956	283,561
Comercio y Servicios	268,480	305,798
Industria	99,985	113,883

Evidentemente, la población total no tiene porque coincidir con las suma de las parciales, dado que la población que trabaja en los sectores de producción secundario o terciario, puede o no ser residente permanente de Naucalpan.

La instancia encargada del abastecimiento y distribución del agua potable en territorio municipal se denomina, "Organismo de Agua Potable y Saneamiento" (OAPAS), misma que tiene las siguientes fuentes de abastecimiento del agua potable federales, estatales y municipales, tal como se muestra en el Cuadro III.2. Oferta de agua en Naucalpan correspondiente al año de 1996.

Cuadro III.2.- Oferta de Agua en Naucalpan Correspondiente al año de 1996.-

<u>Fuente abastecimiento</u>	<u>Gasto (m³ / seg)</u>
Agua en bloque Sistema Lerma-Cutzamala	1.737
59 Pozos estatales o municipales	0.896
Presa Madín y manantiales	0.287
Total	2.920 m³ / seg

El Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento, de Naucalpan (OAPAS), considera las siguientes dotaciones teóricas para el abastecimiento del recurso hídrico:

- En habitacional de zona popular: 150 litros / hab / día
- En habitacional tipo residencial: 285 litros / hab / día

Las pérdidas totales en el sistema de distribución de agua potable ascienden por lo menos al 30 %

Por otra parte, con base en una medición estadística de los consumos registrados de agua potable a nivel fuente, OAPAS ha estimado para el año de 1996 los caudales promedio utilizados a nivel comercial e industrial en los siguientes:

- En las 2,033 tomas correspondientes a locales comerciales y de servicios:

7,597 litros / establecimiento / día

- En las 1,588 tomas industriales registradas:

5,719 litros / industria / día

Es importante destacar que dichas tomas no coinciden numéricamente con el número total de establecimientos comerciales o de servicios, o bien, con la totalidad de la planta industrial existente, en virtud de que en muchos casos varios locales comerciales (en mayor proporción) o las industrias, están conectadas a una misma toma de abastecimiento de agua potable; igualmente, otras motivos son el gran número de tomas clandestinas que existen todavía en el municipio, así como los pozos particulares operados por algunas industrias y otorgados con concesiones irrestrictas de explotación en tiempos pasados, cuyo número, ubicación y características son inciertos de manera oficial, aunque muy importantes en el balance final en el cálculo del gasto total.

III.1.1 -Cálculo de la demanda total.-

Considerando los datos anteriores a continuación, se estima la demanda y consumo real de la población en zonas populares, residenciales, comercios y servicios e industrias, y finalmente el consumo total municipal de agua potable en Naucalpan de Juárez, Estado de México.

Demanda habitacional.

Zona habitacional popular

$$(150 \text{ lts} / \text{hab} \times \text{día}) \times (612,321 \text{ hab}) \times (1 \text{ día} / 86,400 \text{ s}) \times (1 \text{ m}^3 / 1,000\text{lts}) = 1.063 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Zona habitacional residencial

$$(285 \text{ lts / hab} \times \text{día}) \times (283,561 \text{ hab}) \times (1 \text{ día / } 86,400 \text{ s}) \times (1 \text{ m}^3 / 1,000 \text{ lts}) = 0.935 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Cálculo de la demanda comercial y de servicios:

$$(7,597 \text{ lts / comercio / día}) \times (2,033 \text{ tomas comerciales}) \times (1 \text{ día / } 86,400 \text{ s}) \times (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ lts}) = 0.179 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Cálculo de la demanda industrial.

$$(5,719 \text{ lts / industria / día}) \times (1,588 \text{ tomas industriales}) \times (1 \text{ día / } 86,400 \text{ s}) \times (1 \text{ m}^3 / 1,000 \text{ lts}) = 0.105 \text{ m}^3 / \text{s}$$

No obstante, este último consumo es únicamente el correspondiente a la red de abastecimiento de agua potable; el consumo total, según una investigación realizada por el Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas (INAINE AC.) y avalada por la Asociación de Industriales del Estado de México AC, puede establecerse en un 12 % del consumo real total en el municipio, por lo tanto el consumo industrial total resulta ser:

Consumo total industrial = 12 % del consumo total de agua

Considerando la oferta de agua en Naucalpan, (Cuadro III.2.- Oferta de Agua en Naucalpan Correspondiente al año de 1996.), y el 30 % de pérdidas en el sistema:

Consumo total industrial:

$$(0.12 \times 0.70 \times 2.920 \text{ m}^3 / \text{s}) = 0.245 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Por lo que el consumo de las industrias que cuentan con sus propios pozos de abastecimiento o que tienen tomas clandestinas asciende a:

$$0.245 \text{ m}^3 / \text{s} - 0.105 \text{ m}^3 / \text{s} = 0.140 \text{ m}^3 / \text{s}$$

De conformidad con los valores anteriores, es de destacar el hecho de que del total del agua utilizada por la planta industrial naucalpense, sólo el 42.9 % se contabiliza y consecuentemente, se factura; esto es, más de la mitad del consumo industrial queda al margen de cualquier control.

Finalmente, para determinar el consumo poblacional real de agua potable, se tiene lo siguiente:

Oferta total de agua potable:	2.920 m ³ / s
Pérdidas del sistema:	30 %
Disponibilidad real de agua potable:	2.044 m ³ / s
Consumo industrial real de la red de abastecimiento:	0.105 m ³ / s
Consumo real comercial y de servicios:	0.179 m ³ / s
Oferta real de agua potable para la población: (consumo poblacional real)	2.044 - (0.105 + 0.179) = 1.760 m ³ /s

En razón a que las tarifas de consumo en zona popular son altamente subsidiadas por el ayuntamiento, y a que las correspondientes a las zonas residenciales lo son en mucho menor grado, OAPAS satisface la demanda residencial al 100 % (0.935 m³ / s), quedando para las zonas populares el resto de la disponibilidad real de agua potable poblacional o sea, solo (1.760 m³ / s) - (0.935 m³ / s) = 0.825 m³ / s.

De esta forma se tiene un déficit de abastecimiento de agua potable en las zonas populares que asciende a:

$$1.063 \text{ m}^3 / \text{s} - 0.825 \text{ m}^3 / \text{s} = 0.238 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Éste último valor se constituye como el valor que tendría que aumentarse la dotación real para cubrir la demanda total para el año de 1996, ya sea al disminuir las pérdidas en la red, hacer la redistribución de los consumos sectoriales hacia el interior del municipio, promover la disminución del consumo, o bien, la solución que se ha instrumentado continuamente desde hace más de 30 años, el aumento del gasto de extracción de los pozos o el transporte de caudales desde cuencas muy lejanas, con toda la problemática que lleva asociada consigo.

Cabe destacar el hecho de que el ayuntamiento, a efecto de paliar la falta de suministro de agua potable en las zonas populares, recurre a prácticas de tandeo o bien abastece las mismas por medio de camiones pipa, aunque esta dotación es muy deficiente en la mayoría de las veces.

III.2.-Vertimiento de las aguas residuales para el año de 1996.

Considerando un Coeficiente de Retorno del 80 % (CR = 0.8), en el Vaso regulador de avenidas “El Cristo”, se descargan los siguientes gastos de aguas residuales:

Desglose de los caudales de descarga por tipo de fuente:

- Descarga total zona popular:

$$0.825 \text{ m}^3 / \text{s} \times 0.8 = 0.660 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Descarga total zona residencial:

$$0.935 \text{ m}^3 / \text{s} \times 0.8 = 0.748 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Descarga total poblacional:

$$0.660 \text{ m}^3 / \text{s} + 0.748 \text{ m}^3 / \text{s} = 1.408 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Descarga total comercial y de servicios:

$$0.179 \text{ m}^3 / \text{s} \times 0.8 = 0.143 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Descarga total agua tipo doméstica:

$$1.408 \text{ m}^3 / \text{s} + 0.143 \text{ m}^3 / \text{s} = 1.551 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Descarga industrial total:

$$0.245 \text{ m}^3 / \text{s} \times 0.8 = 0.196 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Descarga total de agua:

$$\underline{1.551 \text{ m}^3 / \text{s} + 0.196 \text{ m}^3 / \text{s} = 1.747 \text{ m}^3 / \text{s}}$$

De los resultados anteriores puede advertirse que por lo menos el 88.8 % del total de agua descargada es de tipo fundamentalmente doméstica, mientras que el 11.2 % esta representado por efluentes industriales con muy diversa carga de contaminantes, (ciertamente una parte de esta descarga es equivalente a la doméstica). Asimismo, debe recordarse que para este análisis, no se consideró el gasto estacional que pudiera tenerse por concepto del volumen pluvial ya que la red de alcantarillado es de tipo combinado; en todo caso, dicha agua, provocaría una mayor dilución de contaminantes, siendo especialmente favorable ésto para los caudales industriales, razón por la cual el efluente final no puede considerarse predominantemente de tipo industrial.

III.3.- Demanda de agua potable estimada para el periodo 1996 - 2006.

La población estimada que reside permanentemente en territorio de Naucalpan para el año de 1996 asciende a 895,882 habitantes, y de acuerdo

con las datos que maneja el DIF municipal de Naucalpan, ésta crece en 1996 a un ritmo del 3.8 % anual, aunque este organismo tiene previsto que a partir del año 2000 se reduzca el crecimiento al 2 % anual.

De lo anterior puede observarse que al tratar de proyectar el crecimiento poblacional, generalmente deben hacerse numerosas suposiciones o simplificaciones que por lo general no resultan del todo ciertas dado entre otros factores, que se trata de una región envuelta en una dinámica muy compleja con interrelaciones no del todo visibles con los municipios vecinos y con una gran parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Aun así, el realizar un ejercicio de previsión de su crecimiento resulta ilustrativo acerca de la magnitud de la problemática que tendrán que enfrentar futuras administraciones municipales a efecto de proveer una respuesta adecuada en cuanto a la demanda de agua potable en los próximos 10 años considerando la dotación teórica por habitante de residencia permanente que se tiene en el año de 1996 de 281.61 l/s, tal como puede advertirse en el Cuadro III.3. Proyección de la demanda de agua potable para el periodo 1996 - 2006 en Naucalpan de Juárez.

Cuadro III.3.- Proyección de la demanda de agua potable para el periodo 1996 - 2006 en el municipio de Naucalpan, Estado de México.-

<u>AÑO</u>	<u>TASA DE CRECIMIENTO</u>	<u>POBLACIÓN ESTIMADA</u>	<u>DOTACIÓN LTS/HAB/DÍA</u>	<u>GASTO TOTAL M³/S DEMANDADO</u>
1996	3.8 %	895,882	281.61	2.92
1997	3.8 %	929,926	281.61	3.03
1998	3.8 %	965,263	281.61	3.15
1999	3.8 %	1'001,943	281.61	3.27
2000	2.0 %	1'021,982	281.61	3.33
2001	2.0 %	1'042,421	281.61	3.40
2002	2.0 %	1'063,270	281.61	3.47
2003	2.0 %	1'084,535	281.61	3.53
2004	2.0 %	1'106,226	281.61	3.61
2005	2.0 %	1'128,350	281.61	3.68
2006	2.0 %	1'150,917	281.61	3.75

III.4.- Vertimiento de aguas residuales previsto para el periodo 1996 - 2006.

Análogamente a la previsión de la demanda de agua potable, necesariamente debe considerarse la posible generación de aguas residuales que traerá consigo, esto para poder conocer la magnitud de la obras de ampliación y mantenimiento de la red de alcantarillado municipal, las acciones para el tratamiento de dichas aguas, su dimensionamiento más eficiente y el monto aproximado de sus costos asociados.

Dicha estimación puede observarse en el Cuadro III.4. Vertimiento de aguas residuales previsto para el periodo 1996 - 2006. Adicionalmente debe mencionarse que el Organismo de Alcantarillado, Saneamiento y Agua Potable (OAPAS), contempla reducciones a partir del año 2000, de hasta un 5 % cada 2 años en el porcentaje de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable, lo que provocaría el tener caudales mayores de descarga en lo sucesivo. En el mismo sentido, cabe destacar que los siguientes valores constituyen el vertimiento teórico que existiría si la demanda de agua potable se satisficiera en su totalidad, cosa que por otra parte resulta no resulta del todo probable dado que como se ha visto, existe un déficit de abastecimiento para el gasto demandado en 1996.

Cuadro III.4.- Vertimiento de aguas residuales previsto para el periodo 1996 - 2006.-

<u>AÑO</u>	<u>GASTO TOTAL DE DOTACIÓN</u> M ³ /S	<u>% PÉRDIDAS DEL SISTEMA</u>	<u>COEFICIENTE DE RETORNO</u>	<u>GASTO TOTAL DE DESCARGA</u> M ³ /S
1996	2.92	30	0.8	1.747
1997	3.03	30	0.8	1.84
1998	3.15	30	0.8	1.90
1999	3.27	30	0.8	1.97
2000	3.33	30	0.8	2.01
2001	3.40	27.5	0.8	2.11
2002	3.47	25	0.8	2.22
2003	3.53	22.5	0.8	2.33
2004	3.61	20	0.8	2.45
2005	3.68	17.5	0.8	2.57
2006	3.75	15	0.8	2.69

III.5.-Legislación aplicable.

Según la Ley de Aguas Nacionales, máximo ordenamiento en la República en la materia, toda descarga de agua residual, debe recibir tratamiento antes de su vertimiento a cuerpos de agua, tales como ríos, lagos, lagunas, presas o similares, o bien, a las redes de alcantarillado administrados por la federación, los estados o los municipios.

En el caso del municipio de Naucalpan de Juárez, éste administra la red existente de alcantarillado y según lo establecido por La Ley de Protección Ambiental del Estado de México, su respectivo Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación del Agua y por el Reglamento de Protección al Ambiente de Naucalpan de Juárez, el propio ayuntamiento posee la facultad de regular y sancionar el vertimiento de todas las aguas residuales realizadas en su territorio por los particulares, debiendo sujetarse a lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana, NOM-CCA-031-ECOL/1993, o a las condiciones particulares de descarga que establezca el ayuntamiento si éste presupone afectaciones relevantes a la red de drenaje, a plantas municipales de tratamiento o de cualquier otro tipo.

Para el 1º de enero del año 2000, entrará en vigor la nueva Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites de los parámetros que tendrá que cumplir el propio municipio con el gobierno federal a través de la Comisión Nacional del Agua; cabe destacar el hecho de que el no cumplimiento de la misma, significaría la erogación por parte del ayuntamiento de montos que van de los 500 a los 10,000 días de salario mínimo vigente por cada vez que se viole dicha norma, según lo establecido por los artículos 119 fracción I y 120 de la Ley de Aguas Nacionales vigente.

Por otra parte el ayuntamiento de Naucalpan tiene la obligación de hacer cumplir la norma oficial mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993 a todos los generadores de aguas residuales que las viertan a la red de alcantarillado que administra de conformidad con lo establecido en la propia Ley de Aguas Nacionales, en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de

México, y en el Reglamento de Protección al Ambiente de Naucalpan de Juárez. A continuación se presentan dichas normatividades:

NOM-CCA-031-ECOL 1993.-

Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal.

<u>PARÁMETRO</u>	<u>UNIDADES</u>	<u>PROMEDIO DIARIO</u>	<u>INSTANTÁ- NEO</u>
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	5.0	10.0
GRASAS Y ACEITES	mg/l	60.0	100.0
TEMPERATURA	°C	-	40
POTENCIAL HIDRÓGENO		6 - 9	6 - 9
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	mhos	5,000	8,000
SAAM (DETERGENTES)	mg/l	30.00	60.00
ALUMINIO	mg/l	10.00	20.00
ARSÉNICO	mg/l	0.50	1.00
CADMIO	mg/l	0.50	1.00
CIANUROS	mg/l	1.00	2.00
COBRE	mg/l	5.00	10.00
CROMO HEXA VALENTE	mg/l	0.50	1.00
CROMO TOTAL	mg/l	2.50	5.00
FENOLES	mg/l	5.00	10.00
FLUORUROS	mg/l	3.00	6.00
MERCURIO	mg/l	0.01	0.02
NÍQUEL	mg/l	4.00	8.00
PLATA	mg/l	1.00	2.00
PLOMO	mg/l	1.00	2.00
ZINC	mg/l	6.00	12.00

NOM-001-ECOL-1996.

Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.

Límites máximos permisibles de contaminantes básicos y tóxicos

PARÁMETROS	EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES	
	Uso público urbano	
(mg/l) excepto cuando se especifique lo contrario	Promedio mensual	Promedio diario
Temperatura (°C)	40	40
Grasas y aceites	15	25
Materia flotante	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2
Sólidos suspendidos totales	40	60
DBOs total	30	60
Nitrógeno total Kjeldhl	5	10
Fósforo total	5	10
Arsénico	0.1	0.2
Cadmio	0.1	0.2
Cianuro	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0
Cromo	0.5	1.0
Mercurio	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0
Plomo	0.2	0.4
Zinc	10	20

IV. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL.

El conocimiento de la naturaleza de los flujos de agua residual, resulta imprescindible para evaluar la calidad que presenta ésta, para conocer sus usos potenciales y para la definición precisa de los diversos factores que inciden en la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de un eventual sistema de tratamiento para el efluente generado, en este caso, en el municipio de Naucalpan de Juárez. Por esta razón se hace una breve descripción de los parámetros de evaluación más relevantes, clasificándolos en en físicos, químicos y biológicos.

IV.1. Parámetros Físicos.

Los más importantes están representados por los sólidos en todas sus formas: materia flotante, suspendida, coloidal y disuelta; así como la temperatura, olor y color.

Sólidos totales. -

Se encuentran representados por el material que arrastran las aguas de suministro doméstico, comercial, industrial, de servicios y agrícola durante su uso. Desde el punto de vista analítico, los sólidos totales se definen como el residuo que permanece después de haber evaporado el agua a una temperatura entre 103 y 105° C. La materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido.

Los sólidos totales o residuo de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos, o bien como sólidos disueltos o filtrables, estos últimos se determinan haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

Sólidos disueltos o filtrables.-

Son componentes de los sólidos totales y se componen de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal se compone de partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10^{-3} y 1 micra. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones que se presentan en disolución verdadera en el agua, las cuales no es posible eliminar por sedimentación o por filtros de arena; para ello se requiere de coagulación química o de electrodiálisis. Si se requiere utilizar el agua residual tratada es necesario controlar este parámetro ya que la concentración alta de sales afecta directamente a cultivos vegetales y al reuso que se le quiera dar en un proceso dentro de la industria.

Sólidos suspendidos.-

También forman parte de los sólidos totales; son partículas mayores a una micra e incluyen a los sólidos sedimentables (mayores a las 10 micras), que se depositarán por sedimentación.

Esta determinación se utiliza particularmente para determinar la cantidad en mg/l del licor mezclado del tanque de aeración o de los lodos de recirculación de las plantas de lodos activados.

Sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos.-

Cada una de las categorías de sólidos definidas anteriormente, se dividen en función de su volatilidad a 600°C , como *sólidos suspendidos volátiles* y *sólidos suspendidos fijos*, correspondiendo respectivamente a las fracciones, orgánica que se oxidará y será expulsada como gas a esa temperatura, e inorgánica (mineral), que permanecerá como ceniza. El análisis de los *sólidos suspendidos volátiles*, se realiza más frecuentemente en la determinación de la estabilidad biológica de los lodos del agua residual.

Sólidos sedimentables.-

Este término se aplica a los sólidos en suspensión que pueden llegar a sedimentar en condiciones de reposo, debido fundamentalmente a la acción de la fuerza gravitatoria; evidentemente, solo se sedimentarán los sólidos suspendidos gruesos que tengan un peso específico mayor al del agua.

Se determinan de acuerdo al volumen que se registra, esto es en (ml/l), o en peso (mg/l); en este sentido, los sólidos sedimentables son una medida de la cantidad aproximada de lodos que pueden eliminarse por gravedad

Temperatura.-

Es una medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua residual; usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua de suministro por la adición de calor que ejercen los usos doméstico, comercial o industrial.

La temperatura es muy importante porque afecta a la fauna y flora acuáticas, la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases; así por ejemplo, la velocidad de biodegradabilidad de compuestos orgánicos también se incrementa, pero la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye.

Color.-

El agua residual doméstica presenta un color gris cuando se acaba de generar, pero posteriormente se torna de color negro, debido a la actividad de microorganismos anaerobios que descomponen la materia orgánica en ácido sulfhídrico y metano; en esta condición, se dice que el agua residual es séptica.

Por lo que respecta a las aguas residuales industriales, éstas presentan color en algunos casos, tales como el de la industria

textil, celulosa y papel, petrolera y petroquímica, giros que en su mayoría, presentan un peso específico considerable en el municipio de Naucalpan de Juárez.

Olores.-

El olor de las aguas residuales domésticas es causado por compuestos derivados de la actividad microbiana anaerobia al descomponerse la materia orgánica presente en ella. El correspondiente a las aguas residuales industriales, presenta olores característicos según el tipo particular de industria que los genere, como el de la gasolina, el fenol o el ácido sulfhídrico; asimismo, los efluentes industriales, son capaces a su vez de producir nuevos olores en el proceso de tratamiento.

Debe mencionarse la gran importancia que representa este factor, dado que la experiencia establece que constituye el principal motivo de rechazo social y comunitario, hacia la implantación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

IV.2. Parámetros Químicos.

Se dividen estos en orgánicos, inorgánicos y gases:

Orgánicos.-

La materia orgánica presente en las aguas residuales es de origen animal, vegetal y de compuestos sintéticos orgánicos creados por el hombre. Los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales domésticas son las proteínas (40-60 %), carbohidratos (25-50 %) y grasas y aceites (10 %). Los elementos constitutivos principales de la materia orgánica son el carbón, hidrógeno, oxígeno y en algunos casos, nitrógeno; así como cantidades menores de azufre, fósforo, hierro y calcio entre muchos otros.

Otros compuestos orgánicos a veces presentes en las aguas residuales son orgánicos sintéticos, que van desde estructuras moleculares sencillas, hasta extremadamente complejas, como son los fenoles, detergentes, plaguicidas y otros. Para facilitar la detección de la materia orgánica, usualmente se recurre a medir parámetros indirectos como son la demanda química y bioquímica de oxígeno y el carbono orgánico total.

Demanda Bioquímica de Oxígeno.-

La DBO a los 5 días es el parámetro más utilizado para estimar el grado de contaminación orgánica en el agua. Su determinación implica medir el consumo del oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica.

La DBO del agua residual proporciona una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos logren su estabilización. Los datos de la DBO se utilizan para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento como el de lodos activados por lo que su determinación debe ser lo más certera posible, cuidando que el muestreo y procedimiento del método de caracterización sean los especificados de acuerdo a la norma correspondiente.

Demanda Química de Oxígeno.-

Es otro parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica. El procedimiento se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica mediante un oxidante químico fuerte, tal como el dicromato de potasio, en medio ácido, alta temperatura y en presencia de un catalizador como sulfato de plata.

El ensayo de la DQO se utiliza igualmente en aguas residuales domésticas o industriales que contengan compuestos tóxicos

para la vida biológica. La DQO de un agua residual es casi siempre, mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. Asimismo, en muchos tipos de agua residual es posible relacionar DQO con DBO, resultando esto muy útil, puesto que la determinación de la DQO toma aproximadamente 3 horas, comparado con los 5 días de la DBO; dicha relación para el agua residual doméstica típica es (1.25-2.0) unidades de DQO por cada de DBO.

Carbono orgánico total.-

El contenido de carbono orgánico total (COT), es también una medida indirecta del contenido de materia orgánica. Su determinación se realiza mediante la combustión catalítica de muestras en un horno a alta temperatura y se mide el bióxido de carbono producido que es proporcional a la cantidad de carbono presente en la muestra; se determina por espectrofotometría al infrarojo.

Grasas y aceites.-

Las grasas animales y los aceites son el tercer componente de los alimentos en términos de cantidad. El término "*grasas y aceites*" utilizado genéricamente, incluye a las grasas animales, aceites minerales y lubricantes, ceras y otros constituyentes que se hallan en el agua residual.

Las grasas son unos de los compuestos orgánicos más estables y no son biodegradados fácilmente por las bacterias, es por ello que su presencia en altas concentraciones trae consigo diversas problemáticas, tanto al sistema de alcantarillado, como a la operación en sí del sistema biológico de tratamiento al crear películas en flotación imperceptibles que disminuyen la capacidad de intercambio de oxígeno de las aguas con el medio ambiente; los aceites minerales tienden a recubrir las superficies y causan problemas de mantenimiento.

Agentes tensoactivos, sustancias activas al azul de metileno o detergentes.-

Éstos son grandes moléculas orgánicas sintéticas, ligeramente solubles en agua que traen consigo diversos problemas en los sistemas de tratamiento y equipos de bombeo; tienden a acumularse en la interfase aire-agua y cuando existe movimiento o aereación del agua residual, se forman sobre la superficie de las burbujas, provocando con ello una espuma muy estable. Desde finales del año de 1991, la mayoría de los detergentes han dejado de contener sulfonatos de alquilbenceno como agente tensoactivo y que prácticamente no podía descomponerse por medios biológicos.

Fenoles.-

El fenol es una sustancia cristalina blanca con un olor aromático característico que funde a los 41° C. Los fenoles se utilizan en la fabricación de explosivos, fertilizantes, coque, pinturas, hules, preservativos de madera, resinas sintéticas, textiles; también se le emplea como desinfectante en las industrias del petróleo, de la piel, del papel, del jabón, del juguete y la agrícola.

Este contaminante y sus derivados se han manifestado como sustancias tóxicas para los organismos acuáticos, ya que precipitan las proteínas celulares. Debido a que en mínimas concentraciones, los compuestos fenólicos imprimen un sabor y olor desagradables a las aguas, éstas son totalmente inaceptables para consumo humano.

Inorgánicos y gases.-

Estos parámetros tienen importancia en la estabilización del agua y en el control de la calidad de la misma, también son condicionantes y limitadores del crecimiento biológico. A continuación se mencionan los aspectos generales más relevantes de los parámetros principales:

PH.-

Es utilizado como un parámetro de control diario, principalmente porque el desarrollo normal de vida se encuentra acotado a un ámbito de 6.5 a 8.5 en su escala, así como por la necesidad de regular el grado de corrosión que pudiera presentarse eventualmente en las estructuras del sistema de conducción y de tratamiento ante un pH demasiado ácido.

Cabe destacar que su fluctuación o uniformidad es muy importante para el sistema de tratamiento biológico, que opera más eficientemente cuando se presenta un pH cercano al 7.0; cuando el mismo sale de este ámbito, las colonias de bacterias (biomasa) se hacen más finas, de tal manera que su densidad disminuye y no logran sedimentar, pudiendo de esta forma llegar hasta el efluente y provocar con ello, la reducción de la biomasa existente en el reactor biológico, que a su vez disminuirá su eficiencia en la remoción de la D.B.O.

Alcalinidad.-

La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos (oxihidrilos), carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico, industrial o comercial. La concentración de la alcalinidad del agua residual es importante cuando deba efectuarse un tratamiento químico. Igualmente, se ha establecido que actúa como limitante de la actividad biológica.

Nitrógeno y Fósforo.-

Estos elementos son los principales elementos nutritivos y esenciales para el desarrollo de protistas y plantas y por consiguiente, se les denomina bioestimulantes o nutrientes.

Es necesario el contar con el análisis específico de la cantidad de nitrógeno y fósforo presente en las aguas residuales, para así valorar la tratabilidad de las aguas residuales domésticas o industriales mediante procesos biológicos, como es el caso de los lodos activados; por lo tanto, cuando su contenido sea insuficiente, será necesaria su adición para el tratamiento eficiente; por el contrario, cuando se busque el control del crecimiento de algas en el agua receptora para proteger los usos a que se destina, como en las lagunas de oxidación, se hace conveniente su disminución.

Metales pesados y compuestos tóxicos-

Los metales pesados, entre los que destacan el plomo, el cadmio y el mercurio entre otros, tienen como características comunes la elevada toxicidad de sus sales solubles que pueden ser acumuladas por los organismos que los han absorbido. Éstos a su vez, pueden entrar a la cadena alimenticia que termina en el aparato digestivo del hombre, con sus trágicas secuelas de ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o muerte.

Otros compuestos tóxicos que presentan condiciones de alta peligrosidad son los plaguicidas, o hidrocarburos como los bifenilos policlorados o PCB's, que presentan un alto carácter teratogénico.

Oxígeno disuelto.-

El oxígeno disuelto es imprescindible para la respiración de los diferentes organismos aerobios y de otras formas de vida, no obstante, éste solo es ligeramente soluble en el agua.

En aguas sin contaminación, el contenido de saturación de oxígeno disuelto depende de la temperatura y presión atmosférica, en el caso de las aguas residuales, la cantidad de oxígeno disuelto depende de varios factores, no obstante, dado que la materia orgánica sujeta a descomposición consume el

oxígeno del agua, éste parámetro se utiliza también para medir el grado de contaminación orgánica del efluente. También es importante mencionar que el oxígeno disuelto en las aguas residuales, contribuye a minimizar los olores ofensivos de éstas.

Metano.-

Este es el principal subproducto que se obtiene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual. El metano es un hidrocarburo incoloro e inodoro de gran valor calorífico como combustible y aunque no es muy común encontrarlo en grandes cantidades en el agua residual, ocasionalmente se presenta en depósitos acumulados hacia el fondo o en donde se den condiciones anaerobias.

Debido a que es sumamente combustible y que el peligro de explosión siempre está latente, los operarios que realizan labores de reparación y mantenimiento en los lugares donde se pudiera acumular este gas, tanto en las redes de alcantarillado, como en las plantas de tratamiento de aguas residuales, deben ser instruidos acerca de las medidas de seguridad que se deben tomar al respecto.

IV.3. Parámetros Biológicos.

En el ámbito del estudio de las aguas residuales, resultan de interés los grupos principales de microorganismos que se encuentran en ellas, los que son considerados como patógenos, así como los que son utilizados como indicadores de contaminación. A continuación se presentan los más importantes:

Bacterias.-

Son organismos unicelulares microscópicos cuyo tamaño varía de 0.5 a 0.6 micras, que se alimentan con material orgánico e

inorgánico soluble. Existen diversas clasificaciones de las mismas con relación a la temperatura en que viven, en función a su metabolismo o bien, en cuanto a las necesidades de oxígeno que presentan, entre otras.

Las bacterias del grupo coliforme y los estreptococos fecales son los principales parámetros indicadores de la contaminación bacteriológica del agua.

Grupo coliforme: Incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, en forma de bacilo corto, que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 horas a 35° C. El grupo coliforme se subdivide en dos categorías, fecal y no fecal en razón de su procedencia directa o indirecta. El estudio de los coliformes totales y fecales se realiza porque éstos resultan ser buenos indicadores de contaminación por desechos fecales

Grupo de los estreptococos fecales. Indican una contaminación peligrosa y demuestran que ha ocurrido recientemente, ya que en aguas no contaminadas nunca se encuentran. Son característicos de la contaminación fecal y están presentes en las heces humanas y de animales de sangre caliente.

Una característica importante que los distingue de los coliformes, es que los estreptococos desarrollan cierta resistencia a los procesos de cloración del agua. Igualmente, si la relación de coliformes fecales / estreptococos fecales resulta mayor de 4.0, la contaminación será de origen fecal (desechos humanos), y si la relación resulta ser menor a 0.7, el origen de la contaminación es fecal no humana. La unidad de cuantificación es el número más probable de bacterias por cada 100 ml (NMP/100ml).

Hongos.-

Son organismos multicelulares, no fotosintéticos (su fuente de energía es diferente a la solar) y heterótrofos. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos y tienen la propiedad de vivir a niveles de pH muy bajos, del orden de 2 unidades y altos, cercanos a 9, lo cual les hace ser importantes en el tratamiento de desechos industriales y en la digestión o composteo de residuos sólidos.

Algas.-

Son organismos uni o multicelulares, autótrofos y fotosintéticos; esta última propiedad tiene importancia en el tratamiento de las aguas residuales, mediante lagunas de oxidación aerobias, puesto que en la reacción de fotosíntesis se forma oxígeno.

Protozoarios.-

Son organismos microscópicos usualmente unicelulares. Son en su mayoría aeróbicos heterótrofos y utilizan a las bacterias como fuente de energía al ingerirlas, con lo cual ejercen una acción de pulimento en los procesos biológicos.

Rotíferos.-

Son organismos aeróbicos, heterótrofos y multicelulares. Son muy efectivos en el consumo de bacterias dispersas y pequeñas partículas de materia orgánica. su presencia indica una alta eficiencia de remoción en los procesos aeróbicos biológicos.

Crustáceos.-

También son organismos aeróbicos, heterótrofos y multicelulares. Indican efluentes con bajos contenidos de materia orgánica y altas concentraciones de oxígeno disuelto.

Virus.-

Son organismos de tamaño menor a los antes mencionados que solo pueden verse en el microscopio electrónico. Son parásitos obligados que requieren de un huésped para vivir. Dado que algunos virus producen enfermedades y son excretados con la materia fecal humana, se requiere eliminarlos usualmente mediante la cloración de los efluentes de las plantas de tratamiento.

IV.4 Principales contaminantes y sus efectos sobre la salud

Una población como la de Naucalpan cuya diversidad en su actividad y quehacer económico es tan importante, inclusive a nivel nacional, genera un efluente de agua residual contaminado con diversas sustancias y compuestos, además de la materia orgánica proveniente de los usos fundamentalmente domésticos.

Casi la totalidad de la planta industrial existente en el municipio de Naucalpan, vierte sin ningún tratamiento previo sus aguas residuales a la red de alcantarillado. Esta situación ha prevalecido a lo largo del tiempo porque ni el propio ayuntamiento, ni el gobierno del Estado de México, cuentan con los suficientes mecanismos administrativos y coercitivos para hacer cumplir las disposiciones establecidas al respecto en las normatividades municipales, estatales y federales.

Estas industrias son resultado del desarrollo socioeconómico y utilizan en sus quehaceres una gran variedad de procedimientos y sustancias

químicas que si bien, peligrosas e importantes por si mismas, cuando pasan a formar parte del gran flujo residual predominantemente de origen doméstico, reducen considerablemente su concentración y por ende, su grado de toxicidad. No obstante, ésto no puede seguir siendo la lógica dominante ni en el empresariado naucalpense, ni mucho menos en sus propias autoridades.

Dichos contaminantes pueden incluirse en grupos, como por ejemplo el de ciertas partículas sedimentables o colorantes, cuyo efecto negativo es transitorio; otros contaminantes tienen efecto perjudicial también pasajero pero severo, tal es el caso de la temperatura y la materia orgánica putrescible, aunque ésta al paso del tiempo, será biodegradada, eliminando su efecto negativo al ambiente.

También existen otros contaminantes que pueden llegar a significar la destrucción del ecosistema acuático si alcanzan altas concentraciones; tal es el caso de los metales pesados, ciertos plaguicidas, hidrocarburos y ciertas sustancias tóxicas como los fenoles o cianuros; específicamente, los metales pesados como el plomo, mercurio y cadmio, pueden acumularse en los organismos vivos, penetrando en cadenas tróficas, que en ocasiones llegan hasta el hombre pudiendo provocarle padecimientos tales como la ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia e incluso, la muerte.

Específicamente, en relación a los parámetros contaminantes representativos presentes en el municipio de Naucalpan generados por su planta industrial, éstos se han determinado a nivel teórico mediante la correlación de los diversos sectores industriales del propio municipio contemplados en el documento: "*Gaceta Ecológica, Vol. 1, Núm. 2, Agosto de 1989*", editada por la entonces SEDUE., hoy Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), mismos que resultan ser los siguientes:

- Temperatura
- Potencial hidrógeno
- Sólidos disueltos totales (SDT)
- Sólidos solubles totales (SST)
- Sólidos sedimentables (SS)

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Grasas y aceites
- Alcalinidad
- Fosfato total
- Sustancias activas al azul de metileno (detergentes)

Metales pesados.

- Cromo total y hexavalente
- Plomo
- Cadmio

En menor cuantía:

- Cobre
- Zinc
- Manganeso
- Cobalto
- Aluminio
- Níquel
- Arsénico

Sustancias tóxicas. (las más representativas)

- Fenoles
- Cianuros

Principales contaminantes esperados en el efluente residual del municipio de Naucalpan y sus efectos sobre la salud.

Cromo (Cr).-

La fuente natural mineral más importante del cromo es la cromita y se emplea para fines comerciales; este metal nunca se halla en estado libre en la naturaleza, aunque sus compuestos están muy diseminados.

Las fuentes antropogénicas de cromo se encuentran representadas por la industria química, de colorantes, galvanoplastia, industria automotriz, en el curtido de pieles y cueros, teñido de telas de la industria textil, entre otros.

En la ingestión crónica de compuestos de cromo, se presentan complicaciones graves de irritación y úlcera gastrointestinal, hepatitis, nefritis, erosión y coloración amarillenta de los dientes.

El cromo hexavalente es más tóxico que el trivalente; éste último se encuentra en la cromita, pero al entrar en contacto con el oxígeno libre, se oxida convirtiéndose en Cr^{+6} . No obstante, alguna investigaciones recientes, han confirmado que el Cr^{+3} es altamente mutagénico, afectando la fidelidad de la síntesis del DNA.

En las plantas, los compuestos de cromo ejercen efectos tóxicos severos sobre el crecimiento del tabaco y maíz; los efectos se reflejan en el desarrollo de la raíz y se considera que en esta parte del vegetal es en donde ejerce su principal acción y el sitio en donde tiende a acumularse; de manera que cuando la raíz es la parte comestible, como ocurre con la zanahoria, cebolla, ajo, jícama y rábano, el cromo tiene la oportunidad de introducirse en la cadena alimenticia.

Plomo (Pb).-

Es un metal blando de color azulado y maleable, que cuando es expuesto al aire, se oxida y se cubre de una capa de óxido que lo protege de subsiguientes oxidaciones; es relativamente abundante y se encuentra en aire, agua, suelo, plantas y animales. Sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los materiales de plomo y las emanaciones volcánicas.

El plomo puede ser arrojado a la atmósfera en las emisiones de industrias fundidoras y manufactureras de acumuladores, pero

principalmente como resultado del uso de gasolina con plomo en el transporte.

El mayor daño de la exposición pulmonar proviene de la inhalación de partículas muy pequeñas de óxidos de plomo (particularmente de las fundidoras de plomo, de la combustión de gasolinas y la manufactura de baterías), así como carbonatos, haluros, fosfatos y sulfatos de plomo.

El plomo afecta varios sistemas en el cuerpo. La inhibición de la síntesis de la hemoglobina por plomo esta ampliamente documentada; este efecto, junto con la disminución de la vida de los eritrocitos, tiene como consecuencia la anemia como una manifestación de la intoxicación por plomo.

Asimismo, este metal afecta el sistema nervioso central y periférico con síntomas que incluyen cansancio, torpeza, irritabilidad y pérdida de la memoria; en casos extremos pueden ocurrir convulsiones seguidas de coma y la muerte.

Los suelos pueden contaminarse principalmente por disposición directa, no controlada, intencional o accidental, de residuos que lo contienen, así como por el riego de las áreas agrícolas con efluentes contaminados con plomo, siendo especialmente importante esto en las frutas, legumbres y pasturas cultivadas, al igual que en los animales que se alimentan de éstas y de agua contaminada, puesto que este metal es bioacumulable.

Cadmio (Cd).-

El cadmio es un metal relativamente raro en la naturaleza, y está distribuido uniformemente en la corteza terrestre; se encuentra en los minerales del plomo, cobre y zinc, de éste último en cantidades de 0.1 al 5 %; cuanto más zinc contenga el mineral, también contendrá más cadmio. En la actualidad se le considera uno de los elementos más tóxicos, tiene una vida media larga y se acumula en seres vivos permanentemente.

Las actividades humanas que le dan origen son la creación de aleaciones, esmaltes, acumuladores, como antioxidante o como estabilizador en la producción de plásticos PVC; se utiliza también en las industrias de galvanizado, en la fabricación de cables de teléfonos y telégrafo, baterías de níquel-cadmio y en el arte de la joyería entre muchas otras aplicaciones.

Entre sus efectos agudos se observan alteraciones generalizadas, con problemas respiratorios, bronquitis, neumonía, arterioesclerosis e hipertensión; asimismo, se puede presentar insuficiencia respiratoria, anemia, hepatitis y anuria; éstas determinan la muerte por necrosis hepática. Se pueden presentar síntomas como náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefaleas a concentraciones en el agua o alimentos de 15 ppm.

Entre los efectos crónicos tenemos la insuficiencia renal asociada a necrosis tubular, neumonitis, enfisema, bronquitis y fibrósis pulmonar; otros efectos que se han observado son osteomalacia y osteoporosis.

Fenoles.-

El fenol es una sustancia cristalina blanca con un olor aromático característico que funde a los 41° C. Los fenoles se utilizan en la fabricación de explosivos, fertilizantes, coque, pinturas, hules, preservativos de madera, resinas sintéticas, textiles; también se le emplea como desinfectante en las industrias del petróleo, de la piel, del papel, del jabón, del juguete y la agrícola.

Los fenoles tienen un marcado efecto corrosivo sobre cualquier tejido. Al contacto con los ojos puede causar daños severos y ceguera; ataca al hígado, riñón y piel. A nivel sistémico, produce palidez, debilidad, sudoración, dolor de cabeza, shock, cianosis, insuficiencia renal y muerte.

El fenol diluido en líquido corroe la piel y penetra a través de ella, a la inversa que el fenol puro que cristaliza alrededor de los 40° C y se deposita sobre la piel, coagulando la superficie epidérmica, lo que frena su penetración.

Cianuros.-

Son sales del ácido cianhídrico; los cianuros de potasio y de sodio, KCN y NaCN respectivamente, son sólidos blancos con un ligero olor a almendras. Los cianuros de potasio y sodio son utilizados principalmente en la galvanoplastia, extracción de metales de sus minerales, en fotografía y en diversos procesos industriales.

Su introducción al organismo es por inhalación directa, absorción por la piel, ingestión y por contacto con ojos y piel. Es un tóxico protoplásmico no acumulativo, por lo que puede ser detoxificado rápidamente del organismo; asimismo debe mencionarse que el cuerpo humano tiene un mecanismo que separa continuamente pequeñas cantidades de ácido cianhídrico, para luego excretarlo a través de la orina.

Sus efectos son altamente tóxicos y sus síntomas son: debilidad, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, irritación de la piel y ojos y respiración lenta entrecortada. Su absorción oral, aún en bajas concentraciones, se considera fatal.

V. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y POSIBILIDAD TÉCNICA DE REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

El objetivo primario del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de las sustancias contaminantes a fin de evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos receptores. Adicionalmente pueden establecerse objetivos concordantes como el darle un uso posterior al agua tratada, obtener beneficios económicos de ello, etc. y en función de esto es que se determinan las opciones o variantes del tren de tratamiento, así como las acciones suplementarias si es el caso. En este caso en particular, primeramente se propondrá la solución técnica de la problemática, para posteriormente conceptualizar el presente como un proyecto rentable desde el punto de vista económico.

La etapa inicial usual de un tratamiento se denomina pretratamiento, y se usa para homogenizar el influente de la planta, separar grasas y aceites, eliminar sólidos de tamaño muy grande tales como basura y material sedimentable mayor de 10 micras. Es comunmente aceptada la clasificación del tratamiento, por el tipo predominante de contaminantes a separar en primario, secundario y terciario.

El tratamiento primario se utiliza para remover sólidos suspendidos, ajustar pH y romper emulsiones. El secundario remueve materia orgánica biodegradable, usualmente entre el 80 y el 95 % del total. El terciario elimina sustancias orgánicas resistentes al tratamiento biológico, como detergentes, plaguicidas, nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos. No obstante, pueden existir diversas acciones de tratamiento físicas, biológicas, químicas, o una combinación de ellas en cualquier de las fases primaria, secundaria o terciaria.

También el tratamiento de los lodos generados forma parte del tratamiento del agua residual y consiste esencialmente en digerir o acondicionar los sólidos separados en el pretratamiento y en las fases primaria, secundaria y/o terciaria, hasta obtener un residuo inerte que pueda ser dispuesto sin mayores problemas.

La literatura nacional e internacional consigna los procesos comunmente utilizados para el tratamiento de las aguas residuales, desde la separación de los sólidos gruesos, sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes, eliminación de bacterias y microorganismos patógenos, trazas de compuestos orgánicos e inorgánicos, incluyendo el tratamiento de los lodos que se generan en cada uno de los procesos anteriores; evidentemente, puede llegar a tenerse innumerables combinaciones, lo que nos proporciona una idea de lo complejo que puede llegar a ser un tren de procesos de tratamiento de aguas residuales. El cuadro V.1 presenta el tipo de tratamiento utilizado para la eliminación de algunos contaminantes.

Cuadro V.1.- Métodos usuales para el tratamiento de aguas residuales.-

<u>Contaminante a remover</u>	<u>Tipo de tratamiento</u>
• Sólidos gruesos	Cribado
• Sólidos sedimentables	Sedimentación, decantación
• Sólidos en suspensión	Sedimentación, decantación, coagulación o precipitación química, tratamiento biológico convencional, flotación
• Metales pesados	Coagulación o precipitación química
• Materia orgánica biodegradable	Tratamiento biológico convencional: lodos activados o filtros biológicos. coagulación o precipitación química
• Materia orgánica no biodegradable	Coagulación, precipitación química, flotación, oxidación química
• Nutrientes, fosfatos y nitratos	Precipitación química, filtración con carbón
• Sales minerales disueltas	Electrodialisis, intercambio iónico, ósmosis inversa
• Bacterias	Cloración, rayos ultravioleta, ozonización

En el caso del tratamiento de los lodos residuales generados, también se dispone de procesos de tratamiento, cuadro V.2.-

Cuadro V.2.- Métodos usuales para el tratamiento de lodos residuales.-

<u>Objetivo</u>	<u>Tipo de tratamiento</u>
• Concentración	Espesamiento por gravedad
• Digestión	Digestión aerobia y anaerobia; lagunas de lodos; tanque imhoff
• Acondicionamiento	Tratamiento por congelación; acondicionamiento químico; tratamiento por calor
• Deshidratación y secado	Lechos de secado; filtros de vacío; centrifugación; filtración a presión; vibración; secado a calor
• Incineración	Incineración
• Disposición de lodos y cenizas	Fertilización y acondicionamiento de suelos; relleno sanitario; enlagunamiento; esparcir en suelos; disposición en océanos

Con respecto al tratamiento específico para remover materia orgánica y considerando que la inmensa mayoría de los caudales residuales la contienen en diversos grados, se dispone de mayores investigaciones y de porcentajes esperados de eficacia en su remoción, dependiendo el tipo de tratamiento instrumentado, los cuales se muestran en el cuadro V.3.

Cuadro V.3.-Eficiencias esperadas en los tratamientos de aguas residuales.-

Tipo de tratamiento	Reducción % DBO ₅
Pretratamiento	15 - 20
Sedimentación	25 - 40
Tanques sépticos	15 - 25
Tanques Inhoff	25 - 40
Sedimentación + filtros rociadores	80 - 95
Sedimentación + filtros de arena	85 - 95
Sedimentación + lodos activados	90 - 95
Estabilización por contacto (biopelículas o biofilm)	85 - 90
Lagunas de estabilización	75 - 90
Zanjas de oxidación	85- 95

Específicamente en el caso de las aguas residuales generadas por el municipio de Naucalpan de Juárez, los parámetros relevantes a controlar, según lo establecido en el capítulo IV, son en forma resumida los siguientes:

- * Temperatura
- * Potencial Hidrógeno
- * Sólidos en sus diferentes formas

- * Materia orgánica
- * Grasas y aceites
- * Detergentes

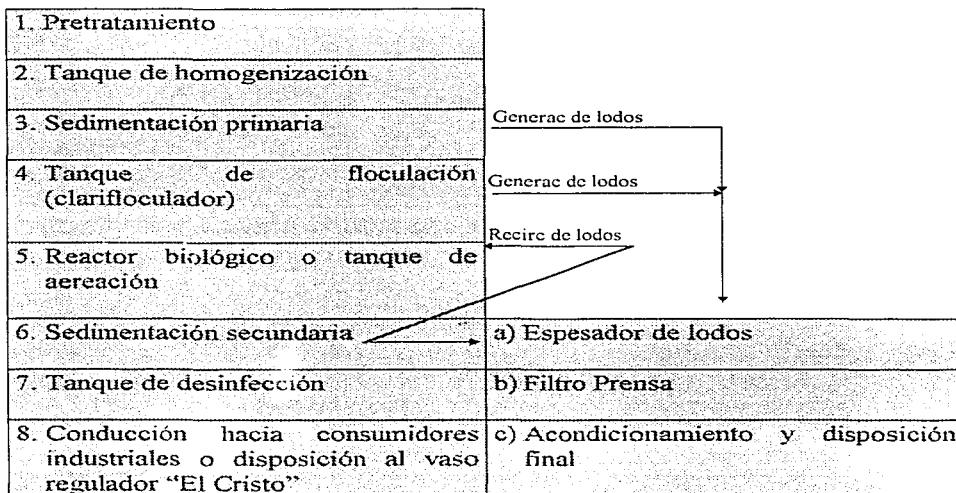
De menor relevancia proporcional:

- * Alcalinidad
- * Fosfato total
- * Cromo total y hexavalente
- * Cadmio
- * Plomo
- * Fenoles
- * Cianuros

Dado que en el municipio no existen redes separadas para los efluentes industriales, domésticos o pluviales por separado, que el tratamiento combinado de gasto total posibilita el aprovechamiento de las ventajas de la economía de escala al significar un costo menor por inversión inicial, operación y mantenimiento, y porque el gran caudal de tipo doméstico (más del 90 % del total), diluye y amortigua las características tóxicas de los efluentes industriales, el tratamiento del caudal residual será combinado.

Finalmente, con base en la caracterización de los parámetros esperados en el efluente del agua residual, de la revisión de los métodos disponibles de tratamiento y una evaluación primaria de su costo-beneficio, así como de la experiencia de las diversas instancias encargadas de la administración del recurso en el Estado de México, se propone el tren de tratamiento que se muestra en el cuadro V.4.

Cuadro V.4.- Tren de procesos de tratamiento para las aguas residuales del municipio de Naucalpan de Juárez.-



V.1 Pretratamiento requerido.

Fundamentalmente el pretratamiento o tratamiento preliminar consiste en eliminar materias gruesas, tales como trapos, arenas, basuras y otros residuos de las aguas residuales, que pueden interferir o dañar el adecuado funcionamiento de los procesos posteriores, o perjudicar el equipo de bombeo, siendo las operaciones unitarias más comunes el cribado, triturado, desarenadores y la flotación

Especialmente, en el proyecto propuesto de pretratamiento de las aguas residuales de Naucalpan, se considera apropiado el empleo del cribado

por medio de rejas, seguido de un sistema desarenador y finalmente un dispositivo de flotación.

Cribado.

El mismo se llevará a cabo por medio de rejas y por medio de éstas se conseguirá la eliminación de troncos, trapos, basura o cualesquiera otros materiales que pueda dañar el equipo o taponar las tuberías. Estas rejas están formadas por barras metálicas inclinadas, de sección rectangular, espaciadas a intervalos iguales y colocadas transversalmente a la dirección del escurrimiento.

Como deben removerse los materiales detenidos en dichas rejas y tomando en cuenta que pasará un gran flujo, se optará por las de limpieza mecánica, considerando las recomendaciones generales de su uso cuando se tengan gastos de más de 250 lps. Éstas son manufacturadas por empresas especializadas con limpieza por la cara posterior para eliminar los atascamientos debidos a obstrucciones al pie de la reja, tienen una pendiente de 60° con respecto a la vertical, puesto que de esta forma, el rastrillo de limpieza que se desliza sobre las barras, disminuye la probabilidad de obstrucción. Asimismo, los sólidos de mayor tamaño, serán recogidos y enviados al sitio de disposición final de residuos del municipio, denominado Rincón Verde, que se ubica en el ejido Santiago Tepatlaxco en Naucalpan, Estado de México.

Desarenador.

Se utilizará para separar los materiales más pesados y de mayor velocidad de sedimentación que la materia orgánica putrescible, presentes en las aguas residuales; incluyen arena, grava, cenizas, escorias y otros similares.

También protegen las bombas y otros equipos del desgaste debido a la abrasión y evitan que la materia sedimentable se acumule en los tanques.

De los varios tipos de desarenadores existentes, tales como los de cámaras simples, de circulación vertical ascendente o con aereación, de limpieza manual o mecánica; el de cámaras simples o también denominado de circulación horizontal o de Essen, resulta el más apropiado en este caso considerando los altos costos de instalación, mantenimiento, complejidad y el poco aumento de la eficiencia comparativa del resto de los sistemas de desarenado.

Este tipo de sedimentador es de fácil construcción y mantenimiento; están formados por atarjeas de poca profundidad, con velocidad de circulación de 0.3 m/s y un tiempo de retención típico de 1 minuto. Las cámaras simples consisten en canales rectangulares donde se controla la velocidad del agua para permitir la sedimentación de las arenas hasta el fondo del canal y se permite que los sólidos orgánicos ligeros pasen a las siguientes unidades del tratamiento.

Por medio del control de la velocidad de flujo es posible controlar el tamaño y la densidad de las partículas a remover. La práctica indica que la remoción de las partículas de 0.2 mm de diámetro o mayores, con una gravedad específica de 2.65, le dan una protección adecuada al equipo. El control de la velocidad se puede lograr mediante una nueva área en la sección transversal del canal, ya sea por un vertedor proporcional o por un canal Parshall instalado en la corriente aguas abajo de la cámara. Para este caso en particular, podría construirse un canal Parshall que aunque requiere un espacio y costo un poco mayores, en contraparte, necesita de una menor carga hidráulica para su funcionamiento y proporciona una mayor precisión. De cualquier forma, el diseño del desarenador debe ser de tal forma que bajo las condiciones más adversas la partícula más ligera de arena, alcance el fondo del canal antes de llegar a la salida.

Flotación.

El proceso de flotación se emplea para separar diversos sólidos en suspensión, grasas y aceites o líquidos no miscibles y de baja densidad; existen varios métodos tales como las denominadas trampas de grasas, separadores

interceptores de platos paralelos o corrugados y los sistemas de flotación con aire a presión, siendo éstos últimos los de mayor eficiencia y los adecuados para el tratamiento de las aguas residuales del municipio considerando que existe previsiblemente, un nivel relevante de grasas y aceites.

Este sistema permitirá la separación de las partículas sólidas o líquidas de la fase líquida por medio de la introducción de burbujas de un gas, (usualmente aire). La fase líquida se presuriza entre 2 y 4 atmósferas en presencia de suficiente aire para lograr la saturación de aire en el agua; entonces el líquido saturado de aire se despresuriza a la presión atmosférica mediante una válvula reductora de presión. Diminutas burbujas de aire se liberan de la solución debido a la despresurización y posteriormente se adhieren o son atrapadas en las partículas, consiguiendo que éstas se mantengan a flote y formando una capa de espuma o nata que se elimina por procedimientos manuales.

Cabe destacar que la separación por flotación no depende del tamaño y densidad de las partículas que se van a remover, sino de sus propiedades superficiales para la fijación de las burbujas de aire.

V.2.- Tratamiento primario requerido.

Uno de los puntos importantes en el tratamiento de las aguas residuales es disminuir el contenido de sólidos y lograr las condiciones adecuadas para el tratamiento secundario. Esto permite que los costos de construcción y operación de las plantas de tratamiento disminuyan considerablemente, además considerando que en el municipio, existen enormes variaciones horarias y espaciales tanto en cantidad como en calidad en los efluentes descargados, hacen necesario considerar a los procesos de homogenización-neutralización y sedimentación en nuestro proyecto en particular.

Homogenización-Neutralización.

La homogenización es una operación unitaria que tiene como finalidad uniformar el flujo, la carga de contaminantes y las condiciones físico-químicas (pH, temperatura, etc) de las aguas residuales en la planta de tratamiento.

El proceso de homogenización y/o neutralización se aplica cuando se tienen las siguientes condiciones:

- Para amortiguar variaciones cuantitativas de flujo de varias descargas, de manera que se tenga una corriente compuesta con un flujo relativamente constante en la planta de tratamiento.
- Cuando existan variaciones horarias, cuantitativas o cualitativas en los flujos de desechos ácidos y alcalinos y se desee uniformar el efluente final.
- Cuando se tienen variaciones en la DBO de la descarga.
- Antes de descargar las aguas residuales a los cuerpos de aguas receptores, para evitar el deterioro de la vida acuática ya que ésta es sensitiva a las variaciones de pH cercanas a 7, (6.5-7 y 7-8.5).
- Antes de los tratamientos químicos o biológicos. En los tratamientos biológicos el pH se debe mantener en un ámbito de 6.5 a 8.5 para optimizar la actividad biológica. el proceso biológico en sí mismo, proporciona una neutralización o una capacidad amortiguadora del pH como resultado de CO₂, el cual forma carbohidratos y bicarbonatos en solución. El grado de preneutralización necesario para los tratamientos biológicos depende de 2 factores: la alcalinidad o acidez presentes en el agua residual, y la DBO degradada en el tratamiento biológico.

Cabe mencionar que para el proceso existen diversas variantes, como son el uso de tanques de nivel constante y variable, así como tanques

auxiliares de retención del efluente. Para este caso en especial, se sugiere utilizar la modalidad de tanque variable dado que ésta nos permitirá obtener un flujo constante hacia las etapas subsiguientes de tratamiento. En el caso del tanque de nivel constante, se tendrían enormes variaciones en el flujo ya que sólo se realizaría la neutralización, y en el caso del tanque auxiliar de retención, éste no podría ser usado para neutralizar el gasto.

En lo que respecta al proceso específico de neutralización, otros procesos comunes de tratamiento además de la homogenización, son los métodos directos de control del pH que se fundamentan en la adición de ácidos o bases para neutralizar las descargas alcalinas o ácidas. Cabe mencionar que una gran parte de los giros industriales que se caracterizan por presentar descargas ácidas o alcalinas, se encuentran presentes en la planta industrial del municipio, destacando las correspondientes a pulpa y papel, metalúrgicas, de galvanoplastia, productos químicos, textiles, embotelladoras y enlatadoras entre otras.

Dentro de los métodos más comunmente utilizados, y que pueden aplicarse a este proyecto de tratamiento en particular, se encuentran la lechada de cal o el uso de sosa cáustica o hidróxido de sodio (OH): los lechos de piedra caliza no son adecuados dadas las posibles variaciones de pH en el influente. En cuanto a la neutralización de las aguas residuales alcalinas, puede emplearse en principio cualquier ácido fuerte como el H_2SO_4 (de uso común), o el HCl, las reacciones son casi instantáneas; un tratamiento alterno y no común es el uso de los gases de combustión que contengan más del 14 % de CO_2 , aunque la reacción es un poco más lenta.

Sedimentación.

La sedimentación es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción únicamente de la gravedad. El proceso de sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre el material sedimentable y el agua, por consiguiente, cualquier factor que afecte tal característica afectará la velocidad de sedimentación.

La sedimentación se realiza en tanques de diversas formas y diseños, los cuales de acuerdo con su diseño y operación se clasifican en:

- * Tanques o fosas sépticos
- * Tanques de dos pisos (tipo Imhoff)
- * Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos
- * Clarificadores secundarios con eliminación mecánica de lodos

Para nuestro caso particular, los tanques de sedimentación simple o primaria, con dispositivos mecánicos de recolección y extracción de lodos, resultan una opción viable dada la gran cantidad de lodos que se tendrá al realizar el tratamiento del gasto total generado en el municipio, (1.747 m³/s en 1996). La eficiencia de dichos tanques depende de numerosos factores como son: características del efluente, tamaño y densidad de las partículas, temperatura, velocidad de sedimentación, pretratamiento, tiempo de retención, remoción de lodos y profundidad del tanque entre otros.

Son dos los tipos principales de sedimentadores generalmente usados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, rectangulares y los de tipo circular. Ambos presentan características similares en cuanto a la eficiencia de sedimentación de sólidos, por lo que se propone un tanque de tipo rectangular.

Estos sedimentadores están constituidos por tanques de forma rectangular, para los cuales se recomiendan los siguientes lineamientos generales de diseño, según la publicación: Ramírez Cortina, Clementina. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. UAM-A. México, 1992:

Ancho. Los sedimentadores rectangulares generalmente presentan anchos anchos entre 1.5 y 6 m.; los que son mayores

a los 6 m presentan problemas para mecanismos de remoción de lodos.

Longitud. Para lograr un mayor grado de eficiencia se debe tener la menor relación posible largo-ancho; se recomienda que sea en el rango 1:3 y 1:5.

Profundidad. Ésta no debe ser mayor a 3 m. Se considera que los sedimentadores con equipo mecánico para remoción de sedimentos deben tener una profundidad mínima de 2.1 m.

Además, en los sedimentadores rectangulares es importante el diseño adecuado de los dispositivos de entrada y salida al tanque, tales como los tubos de entrada, deflectores perforados y vertedores de demasías, para lograr un mínimo de turbulencia y distribución uniforme del flujo. Otro factor en este tipo de sedimentadores es el tiempo de retención, el cual para los rectangulares debe ser de 60 a 150 minutos.

V.3 Tratamiento secundario requerido.

El tratamiento secundario es el proceso complementario de la depuración de las aguas residuales, consistente en una serie de operaciones y procesos químicos y/o biológicos al que son sometidos los efluentes del tratamiento primario.

Durante el pretratamiento y tratamiento primario de las aguas residuales se separa principalmente una gran parte de los sólidos suspendidos y sedimentables, aquellos que fueron retenidos por el sistema de rejillas, canal desarenador y los que tuvieron tiempo de sedimentar con el tiempo de retención del sedimentador primario. Así, tenemos que los efluentes de un tratamiento primario, contienen aun sólidos finos, sedimentables (principalmente coloides) y solubles, los cuales deben ser separados para obtener un agua que cumpla con las características necesarias y así poder ser reutilizada posteriormente en diversas acciones y procesos que llevan a cabo cotidianamente las industrias de la zona.

El tratamiento secundario agrupa los procesos y operaciones unitarias capaces de eliminar de los efluentes primarios los sólidos que contienen todavía; estos procesos se clasifican en físico-químicos y biológicos. Los físico-químicos son especialmente útiles para eliminar la materia coloidal y los sólidos orgánicos e inorgánicos disueltos, los cuales sin reactivos jamás sedimentarían; son también en términos generales más costosos que los procesos biológicos, sin embargo, las limitaciones de los biológicos para tratar residuos tóxicos como metales pesados y sustancias orgánicas sintéticas (como es el caso), han hecho que los procesos físico-químicos sean considerados como un tratamiento previo al biológico; la precipitación y coagulación químicas, la floculación y sedimentación o filtración, son sus métodos más representativos.

En lo referente al proyecto específico de tratamiento de aguas residuales en Naucalpan y considerando que es necesario remover una cierta cantidad de metales pesados, se propone la coagulación química por medio de un tanque también denominado clarifloculador, y posteriormente un tratamiento de tipo biológico.

Tratamiento físico-químico. Coagulación química.

Trata de separar material coloidal y finamente dividido que no ha podido ser eliminado en las fases de pretratamiento y tratamiento primario. La coagulación se lleva a cabo por medio de compuestos químicos que son adicionados al agua residual para propiciar la formación de flóculos; en ella se efectúan reacciones químicas que desestabilizan las partículas en suspensión, propiciando su unión y mediante una agitación controlada, se facilita el encuentro de las partículas, acelerando el mencionado proceso de floculación. Posteriormente, dichos flóculos se separarán por sedimentación en el mismo tanque.

Los tipos más comunes de coagulantes son las sales de hierro y aluminio, tales como la cal, alumbre, cloruro férrico, sulfato ferroso y férrico, y aluminato de sodio. Para lograr una adecuada selección de los coagulantes químicos deben ser considerados los siguientes parámetros:

a) Los tipos y cantidades de productos químicos que van a ser utilizados como coagulantes, floculantes y controladores del pH.

b) Su manejo y forma de alimentarse.

La selección más adecuada del coagulante deberá estar basada, tanto en una determinación empírica de la cantidad aproximadamente exacta del mismo por medio de la denominada “prueba de jarras”, y por su correspondiente medición teórica, al determinar el potencial Z; ambos procedimientos deberán realizarse para optimizar el tratamiento y evitar el uso excesivo de coagulantes que provocaría incluso, un efecto contrario al deseado. Evidentemente, estas determinaciones solo podrán llevarse a cabo hasta que se realicen las correspondientes caracterizaciones al efluente residual, mismas que deberán ser continuas y representativas de las variaciones horarias del caudal.

Tratamiento biológico. Lodos activados.

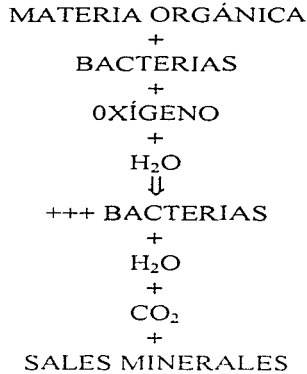
El tratamiento biológico de las aguas residuales, tiene como finalidad remover la materia orgánica en estado coloidal y disuelta que no fue removida en los tratamientos precedentes. En los sistemas biológicos, se tienen complejas poblaciones de microorganismos mezcladas e interrelacionadas, en las que cada uno de ellos tiene su propia curva de crecimiento, la cual depende de las condiciones del sistema, pH, temperatura, aereación o anaerobiosis y disposición de nutrientes.

Los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales, se clasifican de acuerdo a la dependencia de oxígeno para los microorganismos utilizados en la biodegradación de la materia orgánica en:

Tratamientos aerobios: Donde la estabilización de la materia orgánica tiene lugar en presencia de oxígeno.

Tratamientos anaerobios: La biodegradación de la materia orgánica tiene lugar en ausencia de oxígeno.

En particular el proceso aerobio puede resumirse de la siguiente forma:



Dentro de los procesos aerobios más comunes se encuentran los diversos filtros biológicos existentes como los lechos de contacto, los filtros de arena intermitentes y los filtros percoladores, el proceso de lodos activados, los biodiscos y las lagunas de estabilización.

Se eligió el tratamiento a base del proceso de lodos activados denominado convencional o con recirculación, sobre los otros sistemas porque se tiene una mayor experiencia teórico-práctica en el mismo, se pueden conseguir las tasas de remoción más altas de DBO₅, además de que la experiencia señala diversas problemáticas en los otros métodos tales como, la afectación o eliminación de la población microbiana en los biodiscos ante cualquier tipo de paro de alimentación o de aereación, los malos olores, la proliferación de moscas y la relativa baja carga de DBO₅ que aceptan los filtros percoladores, la obsolescencia de los lechos de contacto, y la dificultad de

mantener bajo control todas las variables, y consecuentemente la calidad, en las lagunas de estabilización.

En cuanto al proceso anaerobio, no obstante sus ventajas como son la baja producción de lodos residuales y la estabilidad que presentan, el principal inconveniente reside en los largos tiempos de retención que son necesarios (de 8 hasta 28 días, según el proceso), lo que sería prácticamente imposible en el caso de Naucalpan dado el altísimo caudal total a tratar, (1.747 m³/s en 1996, sin considerar los flujos pluviales).

El proceso específico denominado como lodos activados, fue desarrollado hacia el año de 1916 en Manchester, Inglaterra por los científicos Edward Arden y W.T Lock, y en la actualidad es uno de los procesos biológicos más populares y eficientes en todo el mundo.

Consiste esencialmente en un tratamiento por contacto de flóculos biológicos suspendidos en tanques de aereación con sistema de secundario anexo. Tiene la particularidad de recircular los lodos o flóculos maduros, también llamados biomasa, para mantener una especie de "siembra" de microorganismos adaptados (lodos activados), al tanque.

Los flóculos abundantes en bacterias, hongos y protozoarios se mantienen aerobios, en circulación y suspensión por medio de un sistema de agitación mecánica. En el tanque de aereación o reactor biológico se suministra el oxígeno por aire inyectado a presión. En este sistema el agua residual llega al tanque de aereación y permanece bajo un flujo turbulento durante un tiempo de retención adecuado para la degradación de la materia orgánica hasta un nivel fijado por el diseño del proceso.

El efluente denominado "licor mezclado", se envía al sedimentador secundario en donde es separada el agua clarificada de los lodos formados por los microorganismos sedimentados. después que el sistema ha alcanzado un estado estable, una parte de los lodos sedimentados y maduros debe desecharse y la otra es recirculada para mantener una concentración

óptima de lodos o flóculos suspendidos. El porcentaje preciso de recirculación puede establecerse hasta que se tenga experiencia del funcionamiento específico de la planta, además de que éste suele variar estacionalmente o en el caso de un cambio importante de las características del influente.

La remoción de la materia orgánica por el uso de este sistema más la sedimentación es del 85 al 95 % de DBO, 75 a 85 % de DQO y del 85 al 95% en cuanto a los sólidos suspendidos, dependiendo del tipo de aguas residuales que se traten. Otras ventajas de este tipo de tratamiento son la obtención de un efluente final claro, considerablemente estable y biodegradado, ausencia relativa de olores durante el proceso y altos rendimientos en remoción de materia orgánica. Los inconvenientes asociados a él son el considerable volumen de lodos generados, comparativamente con otros procesos, y un relativo alto costo de operación por concepto del fluido eléctrico que requieren los diversos equipos.

Sedimentador secundario o Clarificador secundario con eliminación mecánica de lodos.

En este caso, se buscará lograr la sedimentación de los lodos o biomasa resultante del reactor aerobio o tanque de aereación, parte de los mismos se recirculará hacia el reactor a efecto de mantener la cantidad necesaria de biomasa. asimismo, en esta estructura se remueven las natas sobrenadantes y se purgan lodos mecánicamente hacia el espesador correspondiente; por lo demás, el sedimentador secundario, será análogo en forma y dimensiones al primario. A diferencia del sedimentador primario, éste tendrá rastras mecánicas para remoción de lodos exclusivamente en el fondo del tanque.

El porcentaje de recirculación varía comunmente entre el 25 y el 75 % del caudal que entra al reactor, asimismo, la cifra exacta de lodos que deben ser reincorporados al mismo no es única ya que depende de las caracterizaciones que se tengan en el influente en cuanto a la DBO, la concentración de sustancias tóxicas o metales pesados, las edad del lodo que se tenga y el tipo de bacterias que se desarrolle, (como por ejemplo las llamadas

filamentosas). Por consiguiente, los rangos de variación solo pueden establecerse hasta lograr la "aclimatación" de las bacterias a través de la operación de la planta por un periodo mediato de tiempo.

V.4 Tratamiento terciario requerido.

El tratamiento terciario se define así, porque generalmente se aplica a los efluentes de los tratamientos secundarios para lograr un mayor grado de calidad del agua, de acuerdo a las normatividades existentes y/o usos que se les quiera dar posteriormente. En este caso, efluente final deberá presentar una calidad suficiente para poder ser reutilizada en diferentes procesos industriales que no demanden el uso exclusivo de agua potable y para labores de riego principalmente.

Existen muchos tratamientos terciarios, siendo los principales la adsorción con carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, desinfección, electrodiálisis, precipitación química y ultrafiltración. La precipitación química se recomienda cuando sea necesario proporcionar agua de buena calidad a la industria, en nuestro caso se propuso llevarlo a cabo en la fase del tratamiento secundario, previo al tratamiento de lodos activados. Es por ello que únicamente se considerará un tratamiento para lograr la desinfección del efluente final.

Las enfermedades humanas se producen por tres tipos de organismos entéricos: bacterias, virus y quistes de amibas. Las enfermedades bacterianas típicas causadas por el agua son la tifoidea, cólera, paratifoidea y la disentería bacilar; los virus ocasionan entre otras, la poliomeilitis y la hepatitis infecciosa. El proceso de desinfección se referirá a la destrucción selectiva de los organismos patógenos, a diferencia de la esterilización en donde el objetivo se centra en la destrucción de todos los organismos presentes en el agua

Desinfección con cloro.

Es el método de desinfección más común no sólo en México, sino a nivel internacional, debido a que satisface la mayoría de los requerimientos especificados para un desinfectante considerado como ideal, tales como toxicidad para los microorganismos, estabilidad, homogeneidad, penetración, costo relativamente moderado y disponibilidad entre otras.

Los objetivos de la cloración a nivel general se resumen como sigue:

1. *Desinfección.* Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
2. *Reducción de la DBO.* El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
3. *Eliminación o reducción de olores.* Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante cloro.
4. *Oxidación con iones metálicos o de los cianuros.* Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro; asimismo, se emplea para oxidar los cianuros a productos inocuos bajo un medio alcalino de más de 8.5 en la escala pH.

Dado que el tren propuesto de tratamiento de las aguas residuales de Naucalpan, contempla un alto grado de eliminación de la materia orgánica en las fases precedentes, además de los sólidos gruesos y diversas sustancias inorgánicas, la dosis necesaria de cloro para eliminar los microorganismos patógenos, se reduce considerablemente hasta alcanzar un rango de 2 a 5 mg / l de agua residual, el valor exacto debe determinarse una vez que entre en

operación el tren de tratamiento propuesto y de que se realicen las caracterizaciones del efluente.

La cloración se realizará en un tanque de contacto de flujo de pistón con movimiento de serpentina (ida y vuelta). El tiempo de retención según el documento: "Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México. *Bases para el Diseño Hidráulico de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado*. Gobierno del Edo. de Méx. 1994, será del orden de 12- 15 minutos para el gasto máximo. Asimismo, la relación de la longitud de la trayectoria al ancho del canal según la misma fuente, debe ser de 50:1 ó superior y la relación tirante a ancho de la sección transversal no podrá exceder de 2:1.

V.5 Tratamiento de lodos.

En todas las plantas de tratamiento de aguas residuales, los procesos de remoción de sólidos, (floculación, sedimentación, biológicos, etc) originan lodos, los cuales constituyen un desecho bastante importante, debido a sus volúmenes, características, composición y problemas de disposición final. En este proyecto, los lodos residuales generados provendrán de fuentes diferentes como son el sedimentador primario, el tanque de floculación o clarifloculador, una parte de los generados en el reactor biológico o tanque de aereación y del tanque de sedimentación secundario. Igualmente, debe mencionarse que debido a que el influente original contiene un porcentaje mucho mayor de agua residual de tipo doméstico (más del 90 %), que de aguas característicamente industriales, puede preverse de manera análoga, que los lodos generados por el proceso de tratamiento también presentarán esa característica.

Existen varias características importantes de los lodos residuales, las cuales se deben valorar para así conocer los tipos de tratamientos que es necesario aplicarles antes de su disposición final. Entre esas características, tenemos la cantidad de sólidos totales y volátiles, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y concentración de metales pesados, entre otras.

Es así que debido a las características y composición que presentan, los lodos residuales tal y como salen del proceso de tratamiento antes mencionado, no pueden ser depositados directamente al ambiente, ya que ocasionaría problemas de olores debido a que la materia orgánica separada de los procesos biológicos no se encuentra totalmente estabilizada, y generaría una contaminación en el lugar de disposición debido a las concentraciones más elevadas de los compuestos químicos (mayor que en las aguas residuales originales); además, la consistencia de los lodos hace que sean problemáticos para su transportación y disposición final.

Por lo anterior, se hace imprescindible su tratamiento para la total estabilización de la materia orgánica y eliminación de la mayor cantidad posible de agua para su transportación y disposición en el relleno sanitario municipal. Existen, asimismo, numerosos procesos para este fin, tales como el espesamiento o concentración, elutriación, la digestión aerobia y anaerobia, la deshidratación, secado, incineración y disposición final. Se propone iniciar el tratamiento con la operación de espesado.

Espesamiento (concentración) de lodos.

El objetivo esencial de esta operación lo constituye la reducción en volumen de los lodos residuales generados, además de hacer más accesible y económico su transportación y manejo en las operaciones posteriores a las que será sometido.

Las ventajas que traerá consigo son las siguientes:

1. Mejora la operación y reduce sus costos
2. Se reduce el volumen de los equipos de acondicionamiento
3. Aumenta la economía del sistema de deshidratación de los lodos a base del sistema de filtro prensa
4. Facilita el manejo y transportación de los lodos

Un espesador de lodos generalmente consiste de un tanque equipado con brazos rastrillos giratorios; éstos agitan lentamente los lodos, dejando en libertad algo de los gases atrapados y también algo del agua. Mediante el espesamiento, el volumen de lodos que va al digestor se reduce y la capacidad efectiva del digestor se aumenta. Considerando que es deseable, en la medida de lo posible, tener el más alto contenido de sólidos como sea posible para reducir el costo del proceso, el espesamiento es deseable después del proceso de lodos activados, dado que en él se producen lodos con un bajo contenido de sólidos. Puede esperarse un espesamiento de los lodos de 3 a 6 veces su volumen mediante su agitación durante 8-10 horas.

Finalmente, los lodos resultantes de este proceso, contienen patógenos y presentan un olor desagradable y para reducir su potencial de putrefacción pueden estabilizarse con cal o bien, oxidarse con cloro, aunque con el primero es más económico; el proceso de estabilización por digestión aeróbica es mucho más costoso, y no obstante que el anaerobio representa en general un costo inferior, la adición del óxido de calcio (cal), ha demostrado alcanzar eficiencias superiores en cuanto a la reducción de patógenos.

Deshidratación con filtro prensa.

La deshidratación es una operación física unitaria utilizada para reducir el contenido de humedad de los lodos y traerá consigo las siguientes ventajas específicas en este caso:

1. El lodo deshidratado resulta más fácil de manejar que el solamente espesado o líquido y puede generalmente ser manejado por cucharas y palas antes de su puesta en un camión de volteo.
2. Evidentemente, los costos de transportación hasta el sitio de disposición última, resultarán considerablemente inferiores al tenerse un volumen menor.
3. La eliminación del exceso de humedad provoca que el lodo sea inodoro y no putrescible.

4. La deshidratación de los lodos es necesaria antes de su evacuación y disposición final en el relleno sanitario para reducir la producción de lixiviados en ese sitio.

Existen varios métodos para llevar a efecto este proceso tales como la centrifugación, filtración por lechos de arena, al vacío, por filtros prensa o por filtros de gravedad rotatorios. La elección del tipo específico de tratamiento dependerá de las características del mismo y del espacio disponible para ello. Para el caso de las aguas residuales del municipio de Naucalpan, se considera adecuada la deshidratación por filtros prensa dado que existe mayor experiencia en su funcionamiento en el país, además de que no resulta tan costoso como otros análogos.

En el filtro prensa, la deshidratación se realiza formando la evacuación del agua presente en el lodo por la aplicación de una presión elevada. El más común de los filtros consiste en una serie de placas rectangulares ranuradas a ambos lados; las mismas se mantienen juntas de manera que se adhieran herméticamente para resistir la presión provocada por el proceso de filtración; generalmente se trata de equipos hidráulicos.

Durante el funcionamiento, el lodo, previamente estabilizado químicamente, es bombeado al espacio existente entre las placas y se aplica una presión del orden de 40 a 150 N/m², la que se mantiene de 1 a 3 horas, forzando al líquido a pasar a través de una tela filtrante que se encuentra entre cada placa. Éstas se separan seguidamente y se extrae la torta del fango; el tiempo de filtración varía usualmente entre 2 a 5 horas.

Las ventajas particulares de los filtros prensa resultan ser una alta concentración de sólidos en la torta, y una obtención de un líquido filtrado muy clarificado; la desventaja única puede ser la vida limitada de las telas del filtro.

Disposición final de los lodos residuales.

Considerando que del volumen total de lodos residuales, éstos serán predominantemente de procedencia orgánica y escasa la concentración de compuestos tóxicos como metales pesados, surgen necesariamente como los sitios más viables para la disposición final de los mismos, el actual tiradero controlado denominado como “Rincón Verde” o bien, el nuevo sitio de disposición final de residuos sólidos (relleno sanitario), que se encuentra proyectado para el inicio de operaciones hacia mediados del año de 1997 y del cual aun no se precisa su ubicación exacta.. Otra opción pudiera constituirse por la utilización de tales lodos como *soil additive* o fertilizante orgánico en forma de *pelets* en las grandes áreas erosionadas del Parque Nacional Los Remedios o del municipio en general, previo estudio de caracterización de los mismos para constatar que efectivamente no representan algún peligro potencial de afectación al sustrato edáfico del lugar.

Como los lodos se encontrarán ya deshidratados, su transporte puede llevarse a cabo con camiones normales de volteo o trailers hacia los sitios de disposición final con una periodicidad de 2 veces por semana. Los mismos pueden alojarse temporalmente en alguna zona destinada exclusivamente para ese fin en el vaso regulador mencionado dado que ya no presentarán características de putrefacción o de malos olores.

V.6 Posibilidad de reuso de las aguas residuales.

Es claro que para la realización de las numerosas actividades humanas que precisan la utilización de agua, ésta debe de cumplir diversas características mínimas a efecto de asegurar la realización de las mismas. Considerando que la presente propuesta para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Naucalpan, pretende reutilizar por lo menos parte del efluente final en diversas actividades que no precisen la utilización exclusiva de agua potable, el sector industrial surge en primera instancia, como el objetivo inicial para la búsqueda del mercado potencial, razón por la que a continuación se presenta un resumen de los usos que se le da al agua en la industria en general.

Enfriamiento: En diversos procesos como en el enfriamiento de condensadores de plantas de energía, plantas químicas, en las máquinas de combustión interna, plantas de bombeo y en plantas de fundición, entre otros. Esta agua debe cumplir con normas de calidad específicas de acuerdo a los usos y tipo de industria. Los problemas que se pueden presentar en un sistema de enfriamiento debido a la mala calidad del agua empleada son la formación de depósitos e incrustación, corrosión, obstrucción de los sistemas de distribución, crecimiento de organismos y un incremento en los costos de mantenimiento y operación.

Calderas: La misma permite la generación de vapor o energía. En general, la calidad debe ser tal que no deposite sustancias incrustantes, no corra al metal de las calderas o de las líneas de conducción y no ocasione espumas. Un agua de tales características es difícil de encontrar en estado natural por lo que las condiciones de calidad se logran mediante tratamiento.

Proceso: Es el agua que se incorpora en la manufactura del producto, la que pasa a formar parte del producto terminado o el agua empleada como medio de transporte de los productos. La calidad del agua requerida para proceso varía ampliamente de un sector industrial a otro. Por ejemplo, en el caso de la manufactura de alimentos, la calidad de agua necesaria debe ser de calidad potable, y en el caso de la fabricación de celulosa Kraft sin blanquear, puede ser de calidad similar a la de un efluente doméstico con tratamiento primario con cloración; ambos representan una parte importante de la planta industrial en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México. Para cada caso en particular, los procesos industriales demandan condiciones de calidad de agua particulares.

Servicios generales: En este uso del agua se incluye la limpieza de las instalaciones, servicios sanitarios, usos personales y en ocasiones, riego de áreas verdes. En este caso, solo cuando es requerida para usos personales de aseo directo, deberá ser de calidad potable.

Del total de agua que consume la industria en México se estima que el 58 % corresponde al agua empleada para enfriamiento, 32 % a procesos diversos, el 6.5 % en calderas y un 3.5 % en servicios generales. Por otra parte,

diversas fuentes bibliográficas concuerdan que por lo menos un 60 % del total del agua empleada por la industria, no requiere ser forzosamente de calidad potable.

De la misma forma, el Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento (OAPAS) de Naucalpan establece el siguiente orden de prioridad para el uso y aprovechamiento del agua que proporciona al municipio:

1. Usos domésticos
2. Servicios públicos urbanos
3. Abrevaderos de ganado
4. Riego de terrenos
 - a) Ejidales y comunales
 - b) De propiedad privada
5. Industrias
 - a) Generación de energía eléctrica para servicio público
 - b) Otras industrias
6. Acuacultura
7. Generación de energía eléctrica para servicio público
8. Lavado
9. Otros

Como puede advertirse, la preocupación fundamental se centra en la dotación de agua para consumo humano y para actividades no privadas, lo que aunado a los índices actuales de crecimiento poblacional en el municipio y a los costos crecientes de extracción, transporte y tratamiento del agua potable,

provocarán necesariamente en los próximos años, la paulatina disminución en las dotaciones de agua potable para las actividades industriales y comerciales.

En este sentido, surge la imperiosa necesidad de mejorar el aprovechamiento y promover el reuso del agua, no solo en el municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, sino en toda la zona conurbada a la Ciudad de México y en algunas otras regiones de la República. Es así que el tratamiento de las descargas residuales de Naucalpan puede servir, no únicamente para evitar el creciente deterioro en la calidad del agua que se vierte y las consecuencias negativas que esto tiene asociado, sino también para fomentar una nueva cultura en cuanto al uso de agua residual tratada en las diversas actividades industriales, comerciales y hasta domésticas, al posibilitar el uso de la misma en diversas labores que no demanden el uso exclusivo del agua de calidad potable, además de ser económicamente más atractivo, dadas las normatividades sobre el particular del Distrito Federal y el Estado de México que establecen una tarifa máxima del 75% del precio corriente del agua potable.

Dado que es previsible que este cambio tenga inicialmente una acogida mucho mayor entre los usuarios de mayor consumo unitario de agua, esto es, en una parte determinada de la planta industrial del municipio o zonas circunvecinas, la oferta y el fomento de uso del agua residual tratada debe realizarse en una primera fase precisamente en ese sector. Puede establecerse un servicio de distribución por medio de pipas o bien, considerar la opción de construir una red especial de abastecimiento de la misma, pero esto es materia de un análisis muy detallado de inversión y de los costos-beneficios asociados que presenta, no objeto del presente capítulo.

El grado esperado de calidad del efluente tratado con el sistema de tratamiento considerado, debe resultar considerablemente superior a los límites máximos permisibles establecidos en la norma aplicable a la descarga municipal (NOM-001/ECOL-1996) y no obstante, la diversidad de calidades específicas requeridas por el sector industrial en sus actividades, dicha agua tratada, con toda seguridad, podrá ser considerada para la sustitución de la mayor parte del caudal industrial demandado sin necesidad de ningún

tratamiento adicional por parte del particular y sin menoscabo de los procesos productivos o de la calidad de los productos o servicios finales.

VI.- FACTIBILIDAD ECONÓMICO - FINANCIERA DEL TRATAMIENTO

Una vez que ya han sido establecidos los objetivos generales, las características particulares y las restricciones específicas que presenta el municipio de Naucalpan, la decisión final acerca de la instrumentación del proyecto de tratamiento de sus aguas residuales, deberá basarse primordialmente en los aspectos técnicos que den solución a la problemática detectada, para que así se garantice que el tipo de proceso y operación seleccionadas, efectivamente cumplan con los propósitos establecidos de la forma más eficiente posible.

No obstante, un factor determinante en la inmensa mayoría de los casos, para la concepción, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de cualquier tipo de proyecto, público, privado o mixto, es el referente a su factibilidad económica, es decir, a su relación costo - beneficio, a los montos de inversión necesarios, a su distribución temporal, su rentabilidad, posibles requerimientos de financiamiento y sus costos asociados, etc.

Por consiguiente, el proyecto propuesto para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Naucalpan, requiere necesariamente de evaluarse económica y financieramente por medio de las metodologías y procedimientos establecidos por diversas instituciones rectoras en la materia como son, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el Banco Mundial (BM), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), el Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social (ILPES), o Nacional Financiera (NAFINSA) entre otros.

Con respecto al proyecto técnico, se requiere conceptualizarlo, ya no únicamente como un medio de tratamiento para las aguas residuales municipales generadas y de solución a los problemas inmediatos o mediatos que origina su vertimiento sin tratamiento alguno, sino como todo un esquema integral que permitirá la solución a dicha problemática y que posibilitará a la vez, la consecución de beneficios económicos a mediano y largo plazo para el operador de la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea este el propio

ayuntamiento o bien, un concesionario del mismo y sujeto a regulación continua de parte del propio ayuntamiento.

Para la consecución de los beneficios económicos antes mencionados y como vía primaria, puede optarse por la venta del agua residual tratada a todos los sectores industriales o comerciales que no requieran exclusivamente para sus actividades cotidianas de agua de calidad potable. Resulta lógico prever que inicialmente, la mayor demanda correspondería al sector industrial, no solo de Naucalpan, sino también de Tlalnepantla y de la delegación Azcapotzalco en el D.F.

En el mismo sentido, para la evaluación económica del proyecto también deben considerarse las posibles multas y sanciones que contempla el gobierno federal por medio de la Comisión Nacional del Agua y tipificadas en los artículos 119 fracción I y 120 de la Ley de Aguas Nacionales vigente, si es que el ayuntamiento de Naucalpan no cumple con los límites máximos establecidos por la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996; dichas multas pueden variar de los 500 a los 10,000 días de salario mínimo vigente por mes a partir del 1° de enero del año 2000.

Por lo anterior, el proceso para el tratamiento de la aguas residuales domésticas e industriales del municipio de Naucalpan, puede y debe concebirse como un verdadero proyecto de inversión, aceptándose comunmente la siguiente definición sobre el mismo:

"Es una unidad de actividad de cualquier naturaleza que requiere para su realización del uso y o consumo inmediato o a corto plazo de recursos escasos o al menos limitados (ahorro, divisas, mano de obra calificada, etc), aun sacrificando beneficios actuales asegurados, con la esperanza de obtener en un período más amplio dividendos mayores, sean éstos financieros, económicos o sociales".

Asimismo por motivos de planeación, debe establecerse un orden secuencial de desarrollo para el proyecto, para así contar con un control preciso

de los ingresos y egresos previstos. La literatura nacional e internacional, consigna el siguiente desglose por fases para un proyecto de inversión:

- a) Identificación de la idea o perfil del proyecto
- b) Anteproyecto preliminar o prefactibilidad
- c) Anteproyecto definitivo o factibilidad
- d) Proyecto definitivo o Ingeniería de detalle
- e) Ejecución y puesta en marcha
- f) Evaluación de resultados

La realización de un estudio de este tipo demanda adicionalmente un análisis muy detallado y específico de factores como el mercado potencial y sus características, encuestas y muestreos industriales, sistema de precios de venta del agua residual y su diferenciación por tipo de consumidor, estrategia de marketing, necesidad, características, costos y periodicidad de los recursos financieros si es el caso, punto de equilibrio del proyecto, análisis de sensibilidad para variaciones de costos o ingresos y del factor de riesgo, política fiscal impositiva, tasa interna de retorno de la inversión, tanto para el inversionista como de tipo social, etc, razón por la cual únicamente se presentan algunos factores primarios que conformarán la etapa preliminar o de prefactibilidad de este proyecto para que eventualmente y si es el caso, se proceda a formular el proyecto de inversión con todo el detalle que éste demanda.

VI.1.- Factibilidad económica.

VI.1.1.- Anteproyecto preliminar. Costos del Tratamiento.

El proyecto de tratamiento del gasto total generado totaliza un valor promedio de 1.747 m³/s para el año de 1996. Para estimar el caudal que existirá en el año 2006, se considerará la mitad del incremento teórico que se

tendría abasteciendo a la totalidad de la población calculada para ese año, esto por que la dotación prevista difícilmente cubriría el déficit de abastecimiento que existe y porque es imprescindible promover una nueva cultura de ahorro del vital líquido que permita reducir los consumos per cápita, por lo que el gasto objetivo total se estima en:

$$(2.69 - 1.747) / 2 + 1.747 = 2.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal estimado será dividido para su tratamiento en tres fases secuenciales de $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ cada una, correspondientes a igual número de módulos del sistema de tratamiento. El objetivo debe centrarse en lograr la mejor relación *costo de tratamiento - flujo tratado - gasto entregado para venta*.

Es importante mencionar el hecho de que el presente proyecto será analizado preliminarmente considerando el tratamiento de la totalidad del gasto generado y no el gasto potencial de venta que se pueda llegar a tener, y que evidentemente resultaría ser la opción económicamente óptima. Esto es porque el presente proyecto debe ser concebido con una visión social, lo que incluso posibilitará al operador de la planta de tratamiento el tener una mayor aceptación de la comunidad aledaña, así como una mejor imagen ante las autoridades municipales y estatales.

En razón de que la gran mayoría de los equipos y sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen patentes extranjeras, y con el fin de contar con un parámetro de estimación de costos más homogéneo y constante en el tiempo, los costos de construcción y de diversos equipos del tren de tratamiento previsto, pueden preverse *grosso modo* de manera preliminar a través de gráficas de origen estadounidense que relacionan el gasto máximo diario esperado vs. costo unitario de proceso o costo del equipo, según la publicación: Ramírez Cortina, Clementina. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México, 1992, p.p. (183-199). los cuales se presentan a continuación para el presente proyecto, considerándose la división del gasto estimado total de tratamiento de $2.22 \text{ m}^3/\text{s}$, en 3 fases secuenciales de $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondientes a igual número de módulos del sistema de tratamiento.

Cuadro VI.1.- Costos preliminares de tratamiento de algunos procesos comunes.-

<u>Tipo de Tratamiento a utilizar</u>	<u>Costo en millones de dólares</u>
Tratamiento preliminar	0.69
Coagulación	1.66
Sedimentación primaria	1.00
Lodos activados	5.00
Sedimentación secundaria	1.00
Total:	9.35 mill. usd.

Los conceptos anteriores abarcan los aspectos generales de construcción de la obra civil e instalación de equipos generales, de acuerdo al tipo de tratamiento y conforme a las condiciones actuales en Estados Unidos calculadas a partir de los datos base en el año de 1984., considerando un índice inflacionario promedio del 3.5 % anual.

Considerando el tipo promedio de paridad peso-dólar esperado por el Banco de México para 1996 de \$ 7.75 / dólar, se tiene un equivalente en moneda nacional por módulo de \$ 72'462,500, por lo que el monto requerido para tratar la totalidad del caudal, demandará otros 2 módulos de características semejantes, que a precios del año de 1996, representaría una erogación total aproximada de \$ 217'387,500.

Por otra parte, la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS), órgano del Estado de México encargado de la administración del recurso hídrico en el estado, cuenta con un desglose de los costos de obra civil, equipamiento e instalaciones complementarias para un proceso de tratamiento a base de lodos activados para un módulo unitario de 750 lps, correspondiente a la macroplanta de tratamiento denominada "Toluca Norte", para un caudal mayoritariamente doméstico aunque con ciertos contaminantes industriales característicos. La misma se encuentra ubicada en el municipio de Lerma,

Estado de México y sus costos calculados para el año de 1996, se presentan a continuación:

Cuadro VI.2.- Inversión estimada por concepto de obra civil a precios de 1996, para un módulo de tratamiento de 750 lps. para la Macroplanta de tratamiento de aguas residuales denominada "Toluca Norte", ubicada en el municipio de Lerma, Estado de México.-

<i>Concepto</i>	<i>Costo aproximado</i>
• Sistema de pretratamiento	\$ 850,000
• Sedimentador primario	\$ 2'350,000
• Tanque homogenización y floculación (clarifloculador)	\$ 2'500,000
• Reactor biológico aereación	\$ 9'000,000
• Sedimentador secundario (clarificador)	\$ 2'350,000
• Tanque de desinfección	\$ 1'350,000
• Espesador de lodos	\$ 4'100,000
• Filtro prensa	\$ 3'550,000
• Edificio de operación y control	\$ 1'400,000
• Edificio de almacenamiento de cloro y sala de dosificación	\$ 1'400,000
<i>Subtotal:</i>	<i>\$ 28'850,000</i>

Cuadro VI.3.- Inversión estimada por concepto de equipamiento a precios de 1996, para un módulo de tratamiento de 750 lps. para la Macroplanta de tratamiento de aguas residuales denominada "Toluca Norte", ubicada en el municipio de Lerma, Estado de México.-

<u>Concepto</u>	<u>Costo aproximado</u>
• Sistema de aereación y proceso	\$ 36'000,000
• Sistema de cloración	\$ 2'250,000
• Equipo complementario	\$ 1'750,000
• Instalaciones complementarias	\$ 1'800,000
<i>Subtotal:</i>	<i>\$ 41'800,000</i>
<i>Total por módulo de 750 lps:</i>	<i>\$ 70'650,000</i> <i>(\$ 9.11 mill. usd.)</i>

Dado que son necesarios 3 módulos para tratar la totalidad del gasto de 2.22 m³/s en el año 2006, se tendría que erogar un estimado de \$211'950,000, (27.33 millones de usd.) a precios del año 1996 por concepto de obra civil y equipamientos diversos. Como puede advertirse, la estimación primaria de los costos parciales y totales de construcción para dicho sistema de tratamiento son apreciablemente similares, con una diferencia cercana al 3%.

Por otra parte, y a manera de referencia comparativa, existe en el municipio de Cuautitlán, Estado de México, la planta de tratamiento de aguas residuales "Lechería", otorgada en concesión por la Comisión Nacional del Agua a la empresa "Compañía Mexicana de Aguas SA de CV", misma que tiene una capacidad instalada para tratar 1 m³/s, pero solo realiza el tratamiento de un promedio de 400 lps proveniente del emisor del poniente, utilizando el proceso de tratamiento a base de lodos activados con recirculación; asimismo, realiza la venta de aproximadamente 0.27 m³/s del agua tratada a la vecina termoeléctrica "Jorge Luque" y a algunas empresas en esa zona por una red especial de conducción de agua tratada de 6 km de longitud y eventualmente.

por camiones pipa propios; el resto del agua tratada se entrega al municipio de Cuautitlán para los usos que éste considere pertinentes.

Los costos directos de operación de dicha planta de tratamiento para el mes de junio de 1996 se desglosan de la siguiente manera:

Cuadro VI.4.- Costos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales "Lechería" con un gasto promedio de entrada de 400 lps, ubicada en el municipio de Cuautitlán, Estado de México.

<u>Concepto.</u>	<u>Costo mensual. (promedio)</u>	<u>Costo anualizado.</u>
Energía eléctrica	\$ 100,000	\$ 1'200,000
Sueldos personal técnico y admvo	\$ 80,000	\$ 1'040,000
Costos de insumos y gastos de mantenimiento en general. (calculados proporcionalmente con respecto al total del año de 1995)	\$261,250	\$3'135,000
Otros gastos, (operación de camiones pipa p/ distribución, etc)	\$ 92,000	\$ 1'104,000
Total estimado para 400 lps:	\$ 533,250 (68,806 usd)	\$ 6'479,000 (836,000 usd)

Por lo que para el presente proyecto y tomando como referencia los datos antes mencionados, el concepto global anual de operación, mantenimiento y comercialización del agua residual tratada, puede estimarse inicialmente en relación proporcional al gasto tratado, esto es para el año de 1996 en: $(1.747 \text{ m}^3/\text{s} / 0.4\text{m}^3/\text{s}) = 4.37$ veces, más un 100% por cuestión de seguridad puesto que la planta de tratamiento "Lechería" no realiza el tratamiento de los lodos residuales generados; por lo que los costos de operación anuales para el proyecto de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Naucalpan de Juárez pueden establecerse en:

$$(\$ 6'479,000)(4.37)(2) = \$ 56'626,460 \text{ (7.31 millones usd)}$$

Cabe destacar que para lograr el mayor grado de seguridad posible, no son tomados en cuenta los beneficios de la denominada "economía de escala", que evidentemente traerían consigo considerables disminuciones en los costos de operación.

Todos estos costos se pueden considerar preliminares; en la fase de proyecto definitivo o de Ingeniería de detalle, si es el caso, deberán precisarse con mayor exactitud y amplitud todos estos conceptos, determinarse como se dará el servicio de distribución del agua tratada, las exenciones tributarias y beneficios fiscales que se deriven de las diversas modalidades que puedan adoptarse en la constitución de la sociedad mercantil que de soporte al presente proyecto, etc.

VI.1.2.- Beneficios económicos asociados al proyecto.

Una vez que se ha concebido al presente proyecto no solo para resolver un problema técnico, sino de manera integral para que también se obtengan dividendos monetarios al ofertar el agua residual tratada a los diferente consumidores que la demanden, es previsible que en una primera etapa, ésto solo pueda instrumentarse para la planta industrial que no requieran forzosamente de agua potable para la realización de sus actividades. No obstante, dado que la calidad del agua tratada resultante será muy aceptable, el universo potencial de usos resultaría muy amplio.

A continuación se presenta un análisis preliminar resumido de cuantificación del mercado potencial existente, no únicamente en el propio municipio, sino también en las zonas industriales aledañas del municipio de Tlalnepantla de Baz y de la delegación Azcapotzalco en el Distrito Federal, con base en los documentos: "Plan de Desarrollo Municipal 1994-1996". H. Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez, Naucalpan, Edo. de Méx., 1994 y "Estudios Específicos para el Tratamiento y el Reuso de las Aguas Negras del Área Metropolitana de la Ciudad de México". Société Anonyme Française d'Etudes et de Gestion Société Générale de Techniques en d' Etudes. Tlalnepantla, Edo de Méx., 1991.

Mercado potencial preliminar:

- ⇒ En 1996, el gasto total de agua potable en el municipio de Naucalpan asciende a: 2.92 m³/s
- ⇒ Existe un porcentaje de pérdidas en el sistema de distribución de 30 puntos
- ⇒ Por lo tanto, el consumo real total de la red de abastecimiento de agua potable es de 2.044 m³/s
- ⇒ El consumo industrial corresponde al 12 % del consumo real
- ⇒ Por consiguiente, el consumo total industrial de la red de abastecimiento de agua potable en el municipio es de 0.245 m³/s
- ⇒ Se considera que por lo menos el 60 % del total del agua utilizada por la industria en general, no requiere contar con un grado de calidad potable para los procesos o actividades en que toma parte, por lo tanto, existe un mercado potencial industrial de agua residual tratada en Naucalpan de 0.15 m³/s por lo menos
- ⇒ El costo / m³ en los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla para septiembre de 1996 a los consumidores industriales asciende a \$ 10.01/m³
- ⇒ Los organismos municipales en el Estado de México, encargados del abastecimiento y alcantarillado en sus respectivas localidades, han establecido que el agua residual tratada puede venderse hasta en un 75 % de la correspondiente a la red de abastecimiento común, lo que representa un precio de venta de \$ 7.51 / m³ en septiembre de 1996. En el caso del Distrito Federal, ésta puede ofertarse en \$ 6.00 a precios de mayo de 1996
- ⇒ Es por ello que el gasto promedio total anual que las industrias erogarian en Naucalpan si existiera la disponibilidad de agua tratada es de:

(0.15 m³/s)(86,400 s)(365 días/1 año)(\$ 7.51/m³) = \$ 34'814,800 ó su equivalente en dólares al tipo de cambio de \$ 7.75, de 4.50 millones usd.

- ⇒ Otro mercado aun más importante, resulta ser el del vecino municipio de Tlalnepantla de Baz, con mayor número de industrias y con un mayor consumo unitario por cada una de ellas, en donde la demanda industrial asciende a 1.8 m³/s, según la Asociación de Industriales del Estado de México AC.
- ⇒ Asumiendo el mismo porcentaje de demanda potencial por industria (60%), se tendría una demanda potencial en todo el municipio de Tlalnepantla de 1.08 m³/s.
- ⇒ No obstante, la planta industrial en Tlalnepantla se encuentra un poco menos concentrada que su contraparte naucalpense, por lo que su eventual abastecimiento por medio de una red específica de agua tratada resultaría más complejo, además de que serán necesarias negociaciones intermunicipales y estatales no siempre fáciles, por lo que la demanda teórica podría reducirse a la mitad, o sea alrededor de 0.54 m³/s
- ⇒ Adicionalmente, debe tomarse en consideración la existencia de la planta de tratamiento de aguas residuales "Lechería", en Cuautitlán, que pudiera abastecer en un futuro la zona norte de Tlalnepantla, por lo que la demanda eventualmente pudiera verse afectada, pesimistamente hasta en un 50 %, y consecuentemente el mercado potencial disminuido a 0.27 m³/s
- ⇒ Bajo consideraciones similares, la zona industrial correspondiente a la Delegación Azcapotzalco en el Distrito Federal demandaría 0.20 m³/s
- ⇒ Por lo tanto, la demanda industrial potencial conservadoramente podría ascender hasta 0.62 m³/s, correspondiendo al Estado de México 0.42 m³/s y al Distrito Federal 0.20 m³/s.
- ⇒ Tomando en cuenta las tarifas que para septiembre de 1996 tienen contempladas el Estado de México y el Distrito Federal, establecería un ingreso estimado bruto anual de \$ 137'314,051 ó su equivalente de 17.72 millones de dólares.

Finalmente, otro aspecto que puede implicar beneficios económicos indirectos, es el correspondiente a la normatividad que ha establecido Naucalpan con relación a la obligatoriedad por parte de los

diferentes generadores industriales y comerciales de aguas residuales de cubrir una cuota por concepto de vertimiento a la red municipal anualmente, siempre y cuando la suma recaudada sea destinada al tratamiento del caudal residual final y para el mejoramiento de la calidad ambiental en el municipio. Esta reglamentación entrará en vigor previsiblemente en enero de 1997 y se encuentra asentada en el Reglamento de Protección al Ambiente de Naucalpan de Juárez promulgado en octubre de 1995.

Las cuotas antes mencionadas se encuentran validadas por acuerdo del Cabildo municipal naucalpense, mismas que se enuncian a continuación tomando como referencia la Clasificación Mexicana de Actividades Económicas y Productos (CMAP), utilizada por la Secretaría de Programación y Presupuesto para las industrias generadoras de residuos peligrosos, tal y como puede observarse en los cuadros VI.5. y VI.6, referentes a las cuotas anuales establecidas por el H. Ayuntamiento de Naucalpan para el año de 1996, a los diferentes giros industriales y actividades comerciales y de servicios por concepto del vertimiento de cada descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado.

Cuadro VI.5.- Cuotas anuales establecidas por el H. Ayuntamiento de Naucalpan para el año de 1996, a los diferentes giros industriales por concepto del vertimiento de cada descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado.-

• Productos alimenticios, bebidas y tabaco	\$ 800
• Textiles, prendas de vestir e industria del cuero y papel	\$ 1000
• Industria de la madera y productos de madera	\$ 600
• Papel y productos de papel, imprentas y editoriales	\$ 800
• Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y plástico	\$ 1200
• Productos minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo y del carbón	\$ 1000
• Industrias metálicas básicas	\$ 1200
• Productos metálicos, maquinaria y equipo, incluyendo instrumentos quirúrgicos y de precisión	\$ 1200
• Otras industrias, almacenes y actividades en donde se manejen residuos peligrosos	\$ 800
• Industrias no generadoras de productos peligrosos:	\$ 600

Cuadro VI.6.- Cuotas anuales establecidas por el H. Ayuntamiento de Naucalpan para el año de 1996, a las diferentes actividades comerciales y de servicios por concepto del vertimiento de cada descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado.-

Talleres de hojalatería y pintura	\$ 600
Lavado de autos y servicio de lubricación	\$ 600
Talleres de mecánica en general	\$ 600
Talleres de torno y rectificadoras	\$ 600
Gasolineras y gaseras	\$ 800
Lavanderías y tintorerías	\$ 600
Hospitales	\$ 1000
Laboratorios	\$ 1000
Rastros	\$ 1000
Tiendas de autoservicio en general	\$ 600
Los demás servicios	\$ 400

El análisis económico preliminar con que cuenta el ayuntamiento, ubica un ingreso esperado promedio por parte de los establecimientos industriales de \$ 800/descarga, estimándose éstas en aproximadamente 2,000 en mayo de 1996. Para el caso de los locales de comercio y servicios, se prevé una recaudación unitaria de \$ 500 en un universo susceptible de unos de 18,000 negocios censados por la Dirección General de Desarrollo y Fomento Económico del ayuntamiento en mayo de 1996, lo que generaría teóricamente un ingreso total anual del orden de \$10'600,000 ó su equivalente promedio en dólares para 1996 de 1.37 millones de usd.

VI.1.3.- Análisis preliminar costo - beneficio.

Por último, en esta evaluación primaria de los beneficios y ganancias brutas a los que se pudiera acceder, y de los costos directos asociados que necesariamente demanda el presente proyecto de tratamiento de aguas residuales de Naucalpan y su posterior oferta a las zonas industriales de la zona, lo que resta por hacer es precisamente el balance de los mismos, mismo que servirá como documento base preliminar para decidir sobre la

posible elaboración completa y detallada de un estudio de inversión sobre el proyecto, que nos proporcionará una idea mucho más detallada de los flujos de egresos que requerirá, su periodicidad, el grado de riesgo aproximado y como podría afectar éste la inversión, el periodo de retorno de la inversión, el valor presente neto de las inversiones a un periodo determinado, etc; asimismo dicho documento, será un elemento imprescindible para acceder al financiamiento nacional o incluso, internacional por parte del Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial y otros organismos de financiación similares.

Resumen preliminar de egresos e ingresos directos anuales para el proyecto de tratamiento y posterior venta de aguas residuales del municipio de Naucalpan, Estado de México:

- Ingresos directos por año. Por la venta total del mercado potencial:

\$ 137'314,051. (17.72 millones de usd)

- Ingresos indirectos por año. Por el pago de derechos correspondientes al vertimiento de aguas residuales a la red de alcantarillado, (solo con la anuencia del ayuntamiento).

\$ 10'600,000. (1.37 millones usd.)

Total de ingresos previstos por año: \$ 147'914,051. (19.09 millones usd)

- ◇ Costos directos iniciales. Por la construcción de las planta física y adquisición de equipo en general:

a) Por módulo.- \$ 70'650,000. (9.11 millones usd.)

b) Por gasto total.- \$ 211'950,000. (27.33 millones usd.)

Por la adquisición de 20 camiones pipa de 50,000 litros de capacidad cada uno.
(\$ 400,000 / unidad):

a) Por módulo (7 unidades).- \$ 2'800,000. (0.36 millones usd)

b) Por gasto total.- \$ 8'000,000. (1.03 millones usd)

Por la construcción de una red de abastecimiento de agua residual tratada de 50 km en los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla, y en la Deleg. Azcapotzalco: (\$ 325,000 / km de tubería de 60 cm de diámetro a precios de mayo de 1996):

a) Por módulo (17 km de red). \$ 5'525,000. (0.71 millones usd)

b) Por gasto total. \$ 16'250,000. (2.10 millones usd)

◇ Costos anuales. Por concepto de la operación, comercialización, salarios, gastos indirectos, mantenimiento, etc.

a) Por módulo.- \$ 18'875,487 (2.44 millones usd.)

b) Por gasto total.- \$ 56'626,460. (7.31 millones usd)

Inversión inicial total:

a) Por módulo.- \$ 78'975,000. (10.19 millones usd)

b) Por gasto total.- \$ 236'200,000. (30.48 millones usd)

Por otra parte, también pueden existir otros beneficios económicos no cuantificados en el anterior análisis debidos al ahorro de las erogaciones que tendría que efectuar el propio ayuntamiento al Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua, por el concepto de la descarga de sus aguas residuales sin tratamiento alguno al vaso regulador federal conocido como "El Cristo", una vez que entre en vigencia la norma oficial mexicana NOM-001/ECOL-1996 el próximo 1° de enero del año 2000 o bien, cualesquiera otras disposiciones que puedan expedirse en el mismo sentido de conformidad con los lineamientos que ha establecido la Secretaría del Medio Ambiente,

Recursos Naturales y Pesca por medio de la Comisión Nacional del Agua y sintetizados en su eslogan característico, “el que contamina, paga”.

Por último estableceremos el balance económico final preliminar del presente proyecto a precios de 1996, mismo que dará pauta para proseguir o no con un análisis mucho más detallado de rentabilidad y/o necesidades de financiamiento.

Balance económico primario.-

Las empresas o los proyectos de inversión de grandes magnitudes, necesariamente deben conceptualizarse como entes de mediano y largo plazos, es por ello que resulta común en estos casos, proyectar balances económicos en periodos de 10 años por ejemplo. De igual forma, los precios de venta del agua potable en el futuro, previsiblemente tenderán a incrementarse en mayor proporción a los índices inflacionarios, en especial para los consumos no domésticos como los industriales y comerciales; no obstante lo anterior, el análisis no contemplará esta beneficio económico para el proyecto, ni el factor de la tasa de descuento por motivos de simplificación, tal y como puede observarse en los cuadros VI.7 y VI.8 referentes al Análisis preliminar simplificado de ingresos-egresos para el proyecto de tratamiento de las aguas residuales de Naucalpan de Juárez, considerados tanto por módulo unitario, como el tratamiento del gasto total.

VI.7.- Análisis preliminar simplificado de ingresos-egresos por módulo unitario del proyecto de tratamiento de las aguas residuales de Naucalpan de Juárez.

<u>Año</u>	<u>Egresos</u>	<u>Ingresos</u>	<u>Balance</u>
1	\$ 197'850,487	\$ 147'914,051	- \$ 49,936,436
2	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
3	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
4	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564

5	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
6	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
7	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
8	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
9	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
10	\$ 18'875,487	\$ 147'914,051	+ 129'038,564
total	\$ 367'729,870 (47.45 m.usd)	\$ 1,479'140,510 (190.86 m.usd.)	+ \$ 1,111'410,640 + (143.41 m.usd.)

VI.8.- Análisis preliminar simplificado de ingresos-egresos para el proyecto de tratamiento del total de las aguas residuales de Naucalpan de Juárez.

<u>Año</u>	<u>Egresos</u>	<u>Ingresos</u>	<u>Balance</u>
1	\$ 292'826,460	\$ 147'914,051	- \$ 144'912,409
2	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
3	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
4	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
5	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
6	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
7	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
8	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
9	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
10	\$ 56'626,460	\$ 147'914,051	+ \$ 91'287,591
total	\$ 802,464,600 (103.54 m.usd)	\$ 1,479'140,510 (190.86 m.usd)	+ \$ 676'675,910 + (87.31 m.usd)

Como puede advertirse, el proyecto resulta económicamente muy atractivo desde un punto de vista preliminar, aun al realizar el tratamiento del gasto total generado y no el potencial de venta que sería económicamente lo óptimo, según puede advertirse.

A manera de conclusión puede establecerse con toda seguridad, que el presente proyecto de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Naucalpan, surge preliminarmente como un proyecto de inversión sumamente atractivo, restando la realización de un análisis mucho más detallado de los costos e ingresos, encuestas industriales para cuantificar con más precisión la demanda potencial, determinación del tipo de sociedad mercantil óptimo, convenios con las autoridades gubernamentales de las entidades involucradas, corridas financieras previendo numerosos escenarios, solicitud de financiamiento, etc.

VI.2.- Factibilidad financiera.

Después de conocer los resultados primarios sobre la factibilidad económica del proyecto de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Naucalpan y su posterior venta a las industrias del propio municipio, de Tlalnepantla y de la Delegación Azcapotzalco, resta por realizar un estudio mucho más detallado y preciso para constatar la viabilidad de la propuesta inicial, prever distintos escenarios y como afectaría éstos al proyecto (análisis de sensibilidad), conocer el flujo de fondos teórico, punto de equilibrio, la tasa interna de retorno, el valor presente de ingresos y egresos, etc.

Otra de las ventajas de dicho estudio radica en que el mismo constituiría la única forma de acceder al financiamiento por parte de alguna entidad nacional tal como Nacional Financiera o el Banco de México, internacional como el Banco Interamericano de Desarrollo o el Banco Mundial o incluso, particular como la banca privada comercial. Evidentemente para otorgar un posible crédito, esta entidad realizará su propia revisión y evaluación del proyecto, sujetándolo a diferentes criterios como el valor de la inversión en el tiempo, razones financieras de liquidez, rentabilidad, apalancamiento, experiencia en proyectos similares, discriminación entre créditos de avío, refaccionarios, factoraje, etc.

Desgraciadamente y aunque no está específicamente señalado en las políticas crediticias de todas las instituciones nacionales de crédito, actualmente éstas consideran indispensable que el solicitante asuma un riesgo

compartido en cuanto al capital inicial necesario y de operación, no obstante el proyecto presente un análisis económico y de rentabilidad impecable. Dependiendo del tipo de inversión y de la cuantificación del riesgo potencial, el porcentaje mínimo que debe aportar el propio solicitante oscila entre el 40 % y 75 %.

Lo anterior nos lleva a concluir que para la realización del presente proyecto y para la consecución de los fondos que demanda el mismo, debe buscarse la participación necesariamente de grandes inversionistas que lo conciban como aplicación de recursos que dará frutos en el mediano y largo plazos en un monto considerable y que además, contribuirá a la solución de una gran problemática social.

VII.- CONCLUSIONES.

Como se puede advertir la situación que presenta el municipio de Naucalpan de Juárez en cuanto a la satisfacción de las necesidades presentes y futuras de dotación de agua potable para la población civil, la industria y el comercio, así como de las afectaciones potenciales que pueda representar la descarga de sus aguas residuales sin tratamiento, resulta realmente preocupante si es que no son llevadas a cabo las medidas que permitan contrarrestar o por lo menos mitigar, toda esta problemática.

Evidentemente, esta conflictiva como se ha visto, no es exclusiva del municipio, afecta a toda la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y también a muchas otras regiones y urbes en el país. Existen obviamente, características que las diferencian, pero las cuestiones fundamentales son las mismas: ¿cómo mantener el régimen de abastecimiento de agua potable a la sociedad, sin que existan problemas de equilibrio ecológico y a un precio sostenible?, ¿qué hacer con las aguas de desecho? y ¿cómo pueden evitarse los efectos adversos de su descarga sin que ello signifique un peso económico?.

Para el cercano año 2,000, la Zona Metropolitana albergará alrededor de 27 millones de habitantes, que demandarán unos 88 m³/s de agua, reduciéndose necesariamente la cantidad total disponible para consumo, de seguir las tendencias históricas de relación oferta-demanda, se acentuará el desequilibrio ecológico, la aguda escasez de agua y los graves hundimientos. Es por ello que los enfoques de solución que han sido considerados, no pueden mantenerse. Los riesgos son muy grandes y los costos demasiado altos, tanto para la ciudad, como para las zonas de extracción.

Desgraciadamente, las soluciones viables a esta situación, no resultan ser de carácter técnico o ingenieril, no radican exclusivamente en el diseño y construcción de obras que permitan abastecer de agua a partir de cuencas muy lejanas a una población cada vez mayor, o en la construcción de plantas y sistemas de tratamiento gubernamentales para los que no es considerada adecuadamente su componente de mantenimiento, están sujetas a políticas sexenales poco claras o que no proporcionan ingresos económicos

derivados de su operación al responsable o al concesionario. Tampoco estriban únicamente en el aumento indiscriminado de las cuotas establecidas por consumo, puesto que la experiencia nos señala que esto último finalmente solo afecta a los sectores más desprotegidos de la población y los de menor consumo relativo.

No obstante la complejidad y dimensión del problema, sí existen soluciones factibles al mismo, siempre y cuando exista voluntad y decisión política, compromiso social y visión estratégica de los sectores industrial y empresarial en general, así como una real concientización acerca de la problemática por parte de la sociedad en general. Es imprescindible la creación de una nueva cultura que valore y fomente el cuidado y aprecio por el agua, tal y como existe en casi todas las sociedades avanzadas del mundo.

Ejemplo de lo anterior, pretende ser la presente propuesta de solución a estos acuciantes dilemas, específicamente diseñada para el municipio de Naucalpan, en el Estado de México, aunque con preceptos y consideraciones de carácter general que pueden extrapolarse a ámbitos y situaciones más amplios.

Tal como fue establecido en el presente, para poder obtener una solución de carácter integral que responda a todos los objetivos para los cuales fue concebida, es imprescindible el análisis y la valoración de todas y cada una de las distintas variables que estén involucradas en esta problemática. De no ser así, se corre el riesgo de instrumentar acciones parciales, o que de respuesta solo a cuestiones muy específicas, sin la calidad requerida o bien, temporales.

Por lo tanto y de conformidad con lo anterior, fue considerado el contexto general en el que se circunscribe el municipio y las demandas específicas que esto tiene en el diseño de políticas propias y su posible éxito. También se evaluaron las características socioeconómicas y productivas del mismo, para conocer las magnitudes y orientaciones que guarden relación frente al problema y sobre todo, los requisitos que tiene que satisfacer el producto final y la relación que éste guarda con el diseño y características del proyecto en sí.

En cuanto a la determinación de los contaminantes de las aguas residuales del municipio, se obtuvo una relación de parámetros que previsiblemente se encuentran en sus descargas normales, de acuerdo a las características y tamaño relativo de su población, industria y comercio; todo ello de acuerdo a los listados correlacionados que tiene el gobierno federal al respecto. No obstante, debe mencionarse que para la realización del presente proyecto, deberá ser realizado forzosamente un muestreo completo y detallado de las características de las aguas residuales, así como las pruebas de tratabilidad para el diseño final de la planta de tratamiento.

En el mismo sentido, se valoraron muy detalladamente las consecuencias negativas potenciales que pueden llegar a darse por efecto de los contaminantes característicos que se generan continuamente en el municipio en sus aguas residuales; se revisaron las distintas normatividades que rigen al respecto y cómo afectan éstas el diseño del sistema de tratamiento propuesto, tanto en el aspecto técnico, como en cuanto a los costos de instalación y mantenimiento.

De igual forma, se realizó una revisión de los principales métodos de solución en el tratamiento de las aguas residuales para contaminantes particulares, para poder valorar las diversas opciones que existen actualmente, detallándose el proceso específico, las unidades de tratamiento, su disposición y las ventajas comparativas técnicas o económicas que éstos representan en este caso en particular.

De muy importante mención resultan ser las posibilidades de reutilizar el efluente tratado en diversas actividades industriales, comerciales y hasta domésticas, para así poder proporcionarle a éste, un mejor uso que su disposición a los cuerpos receptores de agua, además de que esto significa la principal fuente de ingresos para el proyecto en la búsqueda, no solo de su autosuficiencia financiera, sino de una rentabilidad lucrativa para el operario.

Igualmente, se dan las pautas para el tratamiento de los lodos residuales generados, los costos asociados que ello conlleva, su disposición final y el posible uso de una parte de ellos como aditivo para el suelo, con la

consecuente ganancia económica. Esto resulta importante, dado que muchos proyectos de tratamiento de aguas residuales no consideran en su tren este concepto, o por lo menos lo minimizan, quedando incompleta la tarea y en ocasiones, se generan problemas mayores por la generación de los mismos.

Posteriormente, se hace una valoración preliminar de los costos de construcción, instalación, operación y mantenimiento del sistema de lodos activados propuesto para el tratamiento con base en otras plantas análogas y a la experiencia que al respecto se tiene en el Estado de México. De la misma forma se presenta el desglose de los costos directos e indirectos del proyectos, así como una previsión de los costos asociados al mismo, mismos que deben ser considerados en etapas subsecuentes de desarrollo.

Finalmente, se lleva a cabo el análisis de costo-beneficio preliminar de todo el proyecto a un periodo de 10 años, considerando para ello las condiciones más adversas que puedan darse, es decir, la construcción y operación de la planta en una sola etapa que pueda tratar todo el gasto que se genera en el municipio y no únicamente la que pueda ofertarse favorablemente en las zonas industriales, la previsión de que solo pueda venderse la mitad del caudal potencial hasta el 4º año, algo difícil de pensar considerando las grandes reducciones de costos que implicaría para el empresariado; también fue considerado que el proyecto fuese de carácter privado y por lo tanto, sin posibilidad para hacer uso de las cuotas establecidas por el ayuntamiento por concepto de descarga a la red de alcantarillado municipal.

Como puede advertirse, la posibilidad de que se presenten todas estas condiciones conjuntamente, es prácticamente imposible; no obstante, este ejercicio teórico tuvo por objeto la determinación de la prefactibilidad económica del proyecto y de proceder posteriormente en caso positivo, a realizar un estudio amplio y detallado de las inversiones requeridas y de las necesidades de financiamiento.

BIBLIOGRAFÍA.-

1. American Society for Testing and Materials. *Manual on Water*. ASTM. Philadelphia, Penn. USA, 1969.
2. Apuntes del Curso: "Economía Ambiental". Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM. México, 1996.
3. Apuntes del Diplomado "Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión". ENEP Acatlán. UNAM. Edo. de Méx., 1996.
4. Colegio de Ingenieros Civiles de México. Revista "Ingeniería Civil" Núm. 312. México, 1995.
5. Compañía Mexicana de Aguas SA de CV. *Curso Sobre el Diseño, Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Lechería"*. Cuautitlán, Edo. de Méx., 1996.
6. Comisión de Aguas y Saneamiento del Estado de México. *Bases para el Diseño Hidráulico de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado*. CEAS. Edo. de Méx., 1995.
7. Fundación Friedrich Ebert-Stinfung. M. en Ing. Luis Manuel Guerra, compilador. *Agua y Energía en la Ciudad de México*. México, 1989.
8. Fundación Friedrich Ebert-Stinfung. M. en Ing. Luis Manuel Guerra y Geogr. Judith Mora Rodriguez, compiladores. *Agua e Hidrología en la Cuenca del Valle de México*. México, 1989.

9. Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez. *Plan de Desarrollo Municipal 1994-1996*. Naucalpan, Edo. de Méx., 1994.
10. Le Consortium SM-Dynamis Envirotech Canada. *Estudio de Prefactibilidad de la Gestión de los Residuos Peligrosos en los Corredores Industriales Toluca-Lerma y Ocoyoacac-Tianguistenco*. Edo. de Méx., 1992.
11. Mejía A., Aguilar-Ugarte J., *La Zona Metropolitana De La Ciudad De México: Un Reto Ecológico Para El Siglo XXI*. en Revista "Naucalli". Naucalpan, México, 1995.
12. Mejía A., Rodríguez H., Aguilar-Ugarte J., Et. Al. *Plan Para El Manejo Integral Del Parque Nacional Los Remedios*. H. Ayuntamiento de Naucalpan. Naucalpan, Edo. de Méx, 1995.
13. Metcalf & Eddy. *Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales*. Editorial Labor. Barcelona, España. 1985.
14. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. *Guía de Saneamiento Básico Industrial*. Instituto Mexicano del Seguro Social. México, 1987.
15. Ramírez Cortina, Clementina. *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales*. UAM-A. México, 1992.
16. Rubens S. Ramalho. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Reverté SA. Barcelona, España, 1993.

17. Universidad Nacional Autónoma de México. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. Memorias de la Planeación del Desarrollo del Valle de México. UNAM. México, 1985.
18. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Apuntes de la Ingeniería y el Medio Ambiente. UNAM. México, 1985.
19. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Evaluación Geológica del Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México para la Construcción de un Relleno Sanitario. UNAM. México, 1996.
20. Vizcaino Murray, Francisco. La Contaminación en México. Fondo de Cultura Económica. México, 1986.
21. Société Anonyme Francaise d'Etudes et de Gestion. Société Général de Techniques en d' Etudes. Estudios Específicos para el Tratamiento y el Reuso de las Aguas Negras del Área Metropolitana de la Ciudad de México. Tlalnepantla, Edo de Méx., 1991.