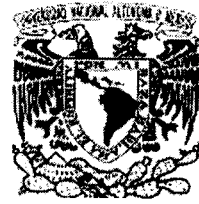




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERIA CIVIL TOPOGRÁFICA Y**  
**GEODESICA**



**TEMA DE TESIS**

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**  
**POR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**  
**“LA ESPERANZA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M.I CESAR VALDEZ**

**INTEGRANTES:**

**DIAZ MARTINEZ CARLOS ALBERTO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

INTRODUCCION  
CARACTERISTICAS FISICAS Y SOCIECONOMICAS DEL AREA DE  
INFLUENCIA DEL PROYECTO.  
ESTUDIOS BASICOS  
ALTERNATIVA DE PROCESOS DE TRATAMIENTO  
DISEÑO DEL SUBSISTEMA PRI MARIO  
DISEÑO DEL SUBSISTEMA SECUNDARIO  
DESINFECCION DEL EFLUENTE  
SISTEMA DE MANEJO DE LODOS  
PRESUPUESTO  
CONCLUSIONES  
ANEXOS

## **Introducción**

En la actualidad uno de los mayores problemas que presenta el municipio de Nezahualcóyotl es el abastecimiento de agua potable debido a que en algunos puntos no cuenta con un suministro continuo de agua potable, este problema se ve más en la zona centro y norte, donde algunas colonias no cuentan con la mínima cantidad de agua potable para satisfacer sus necesidades primarias. Además si agregamos que en la red de agua potable se encuentran grandes fugas provocando que disminuya considerablemente el suministro de agua potable en la población y en las industrias.

Considerando que el municipio de Nezahualcóyotl ha crecido considerablemente en los últimos años, reflejándose en demandas de servicios públicos, ya sean estos como el servicio de agua potable, drenaje, pavimentación, luz, agua tratada, etc.

Actualmente se cuenta con una planta de tratamiento de agua residual, siendo insuficiente para las demandas que se requieren en el municipio, debido a que un gran número de comercios requieren el servicio de agua y no necesariamente que esta sea potable, sean estos auto lavados, industrias, parques recreativos, centros comerciales, entre otros.

La realización de una planta de tratamiento en la zona oriente del municipio de Nezahualcóyotl, abarcaría un gran número de comercios que demandan este servicio, sin contar el riego de las áreas verdes que se encuentran en esta zona. El volumen de agua residual a tratar será a través del suministro que se obtiene en el cárcamo La Esperanza, siendo de origen residual domestico.

## **OBJETIVO GENERAL**

Relacionar las diversas áreas de la Ingeniería civil y aplicarlos en el desarrollo de la ingeniería básica de un proyecto ejecutivo de sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Elaborar el diagnósticos del manejo de agua residual en la localidad en estudio.
- Determinar los parámetros de diseño del sistema de tratamiento a través de los estudios específicos correspondientes.
- Analizar las características promedio del agua residual generada en la localidad y con base en ellas proponer alternativas de procesos de tratamiento.
- Evaluar las alternativas de tratamiento con criterios económicos, de eficiencia, calidad del efluente requerida y seleccionar el mas conveniente.
- Proponer el diagrama de flujo del sistema seleccionado.
- Diseñar funcionalmente y de manera preliminar los elementos de los subsistemas de tratamiento primario y secundario.
- Diseñar funcionalmente y de manera preliminar los elementos del sistema de manejo de lodos.
- Estimar el costo de la construcción de la planta.

## CAPITULO I

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIECONOMICAS DEL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

#### 1.1 UBICACIÓN

El municipio de Ciudad Nezahualcóyotl, al Sur Oriente del Estado de México y al Oriente del Distrito Federal, es el más poblado del país; de acuerdo con el censo del 2000 levantado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) cuenta con 1,224,924 habitantes. La mancha urbana cubre un área aproximada del orden de 5,000 hectáreas.

**Cuadro 1.1. Población total por género 1970 – 2000**

AÑO	TOTAL	HOMBRES	PORCENTAJE	MUJERES	PORCENTAJE
1970					
ESTADO	3833185	1931257	50.4	1901928	49.6
MUNICIPIO	580436	295078	50.8	285358	49.2
1980					
ESTADO	7564335	3755869	49.7	3808466	50.3
MUNICIPIO	1341230	666106	49.7	675124	50.3
1990					
ESTADO	9815795	4834549	49.3	4981246	50.7
MUNICIPIO	1256115	615947	49.0	640168	51.0
1995					
ESTADO	11707964	5776054	49.3	5931910	50.7
MUNICIPIO	1233868	604881	49.0	628987	51.0
2000					
ESTADO	13083359	6377610	48.7	6705749	51.3
MUNICIPIO	1224924	592747	48.4	632177	51.6

FUENTE: Para 1970 –1990: INEGI. Estado de México, Resultados Definitivos. IX, X y XI Censos Generales de Población y Vivienda, 1970, 1980 y 1990.  
Para 1995: INEGI. Estado de México, Resultado Definitivos; tabulados Básicos; Tomo I, conteo de Población y Vivienda, 1995.  
Para 2000: INEGI. Estados Unidos Mexicanos. XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Resultados Preliminares.

Coordenadas geográficas extremas Al norte 19° 22' de latitud; al este 98° 58', al oeste 99° 04' de longitud oeste.

Porcentaje territorial El municipio de Nezahualcóyotl representa el 0.3 % de la superficie del estado

FUENTE: INEGI. Marco Geoestadístico, 1995.

El municipio de Nezahualcóyotl está dividido en las siguientes zonas geográficas:

### **ZONA CENTRO**

Esta zona colinda hacia el norte con la Av. Bordo de Xochiaca, hacia el sur con la Av. Texcoco, hacia el oriente la Av. Sor Juana Inés de la Cruz, y hacia el poniente con el Anillo Periférico (Av. Calle 7) y tiene un área de 22'047,003 m<sup>2</sup>, la cual está delimitada por las Delegaciones de Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza (Fig1.1.)

#### Colonias:

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. El Sol                            | 20. Raúl Romero                    |
| 2. El Barco I                        | 21. San Lorenzo                    |
| 3. El Barco II                       | 22. Atlacomulco                    |
| 4. El Barco III                      | 23. Metropolitana 1ª. Sección      |
| 5. Juárez Pantitlan                  | 24. Metropolitana 2ª. Sección      |
| 6. Peterete                          | 25. Nezahualcóyotl                 |
| 7. Los Volcanes                      | 26. Ampliación Raúl Romero F.      |
| 8. Porvenir                          | 27. Porfirio Díaz                  |
| 9. Xochitenco                        | 28. Modelo                         |
| 10. Juárez Pantitlan                 | 29. Evolución Poniente             |
| 11. La Joyita                        | 30. Evolución                      |
| 12. Nuevo mi México Retiro Pantitlán | 31. Sección Poniente               |
| 13. Angel Vergaza                    | 32. Maravillas Secc. Central       |
| 14. Martínez del Llano               | 33. Agua Azul                      |
| 15. México I                         | 34. Tamaulipas Sección Virgencitas |
| 16. México II                        | 35. Tamaulipas Sección Las Flores  |
| 17. México III                       | 36. Estado de México               |
| 18. Aurorita                         | 37. La Aurora I Benito Juárez      |
| 19. Pavón                            |                                    |

## ZONA ORIENTE

Esta zona colinda hacia el norte con la Av. Bordo de Xochiaca, hacia el sur con la Av. Texcoco, hacia el poniente la Av. Sor Juana Inés de la Cruz, y hacia el oriente con el municipio de La Paz y Chimalhuacán y tiene un área de 23'313,707m<sup>2</sup>, la cual está delimitada por la delegación Iztapalapa y los municipios de Los Reyes y Chimalhuacán (Fig. 1.2.)

### Colonias:

- |                                       |                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. La Aurora II Benito Juárez         | 12. Constitución de 1857            |
| 2. Benito Juárez                      | 13. Manantiales                     |
| 3. Aurora Oriente Benito Juárez       | 14. Santa Martha                    |
| 4. Ampliación Evolución               | 15. Loma Bonita                     |
| 5. Ampliación Vicente Villada         | 16. La Perla Reforma                |
| 6. Metropolitana 3ª. Sección          | 17. La Esperanza                    |
| 7. Ampliación Vicente Villada Oriente | 18. La Reforma                      |
| 8. La Perla                           | 19. San Agustín Atlapulco           |
| 9. Vicente Villada                    | 20. Ejidos de san Agustín Atlapulco |
| 10. Las Aguilas                       | 21. Reforma "A" Sección 1           |
| 11. Ampliación las Aguilas            | 22. Reforma "A" Sección 2           |

## ZONA NORTE

Esta zona colinda hacia el norte con la Av. Río de los Remedios, hacia el sur con la Av. Veracruz, hacia el oriente la Av. Valle Alto, y hacia el poniente con el Anillo Periférico y tiene un área de 11'623,099 m<sup>2</sup>; esta delimitada por la delegación Gustavo A. Madero y los Municipios de Ecatepec y Texcoco (Fig 1.3.).

### Colonias:

1. Ampliación Campestre
2. Ampliación Ciudad Lago
3. Ampliación Ciudad lago "Comunicaciones"
4. Bosques de Aragón
5. Campestre Guadalupana
6. Ciudad Lago
7. Impulsora Popular Avícola
8. Jardines de Guadalupe
9. Las Armas
10. Plazas de Aragón
11. Prados de Aragón
12. Unidad "Antonio Álzate"
13. Valle de Aragón Primera Sección
14. Valle de Aragón Segunda Sección
15. Vergel de Guadalupe



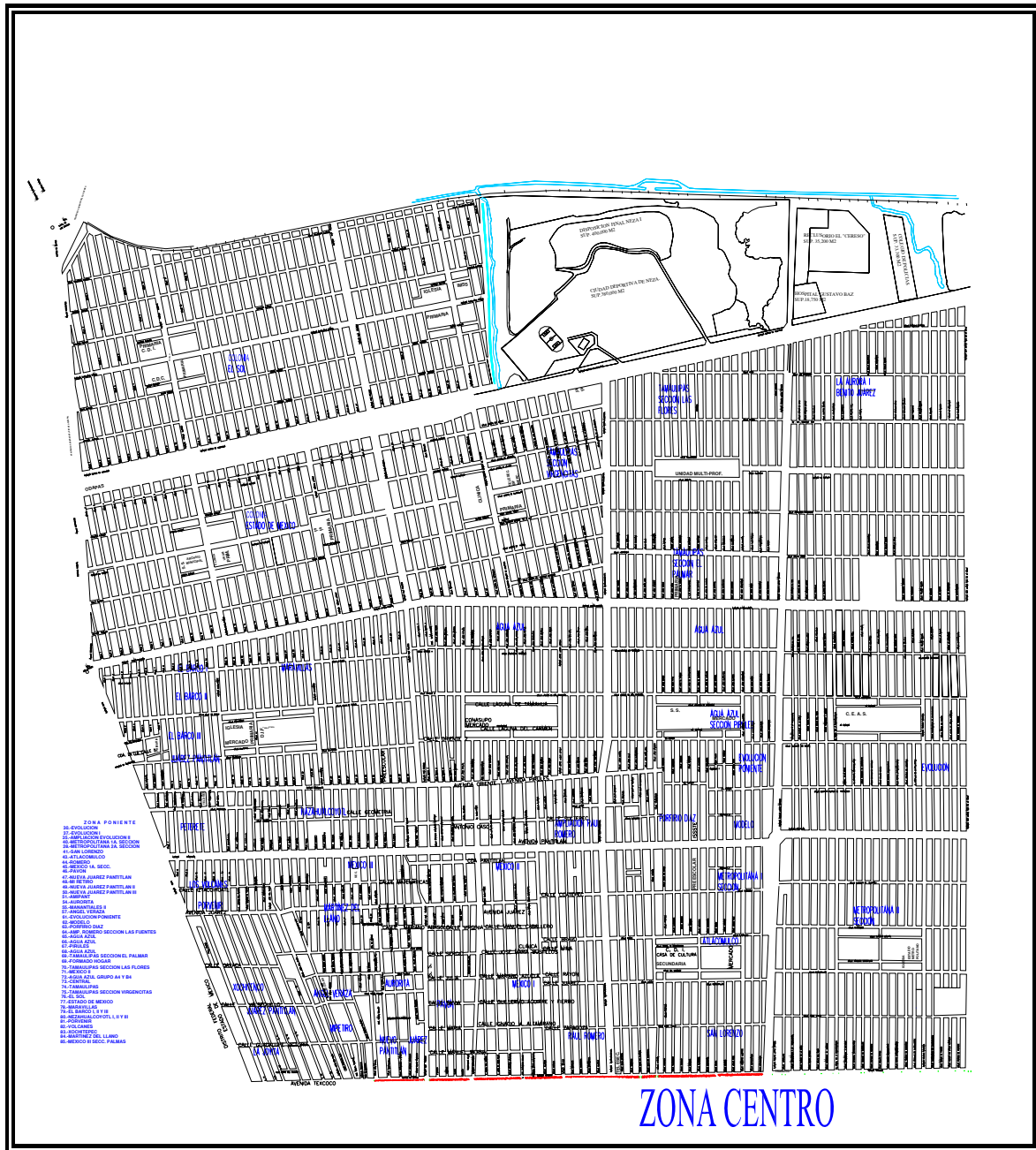


FIG 1.1 ZONA CENTRO DE CIUDAD NEZAHUALCOYOTL

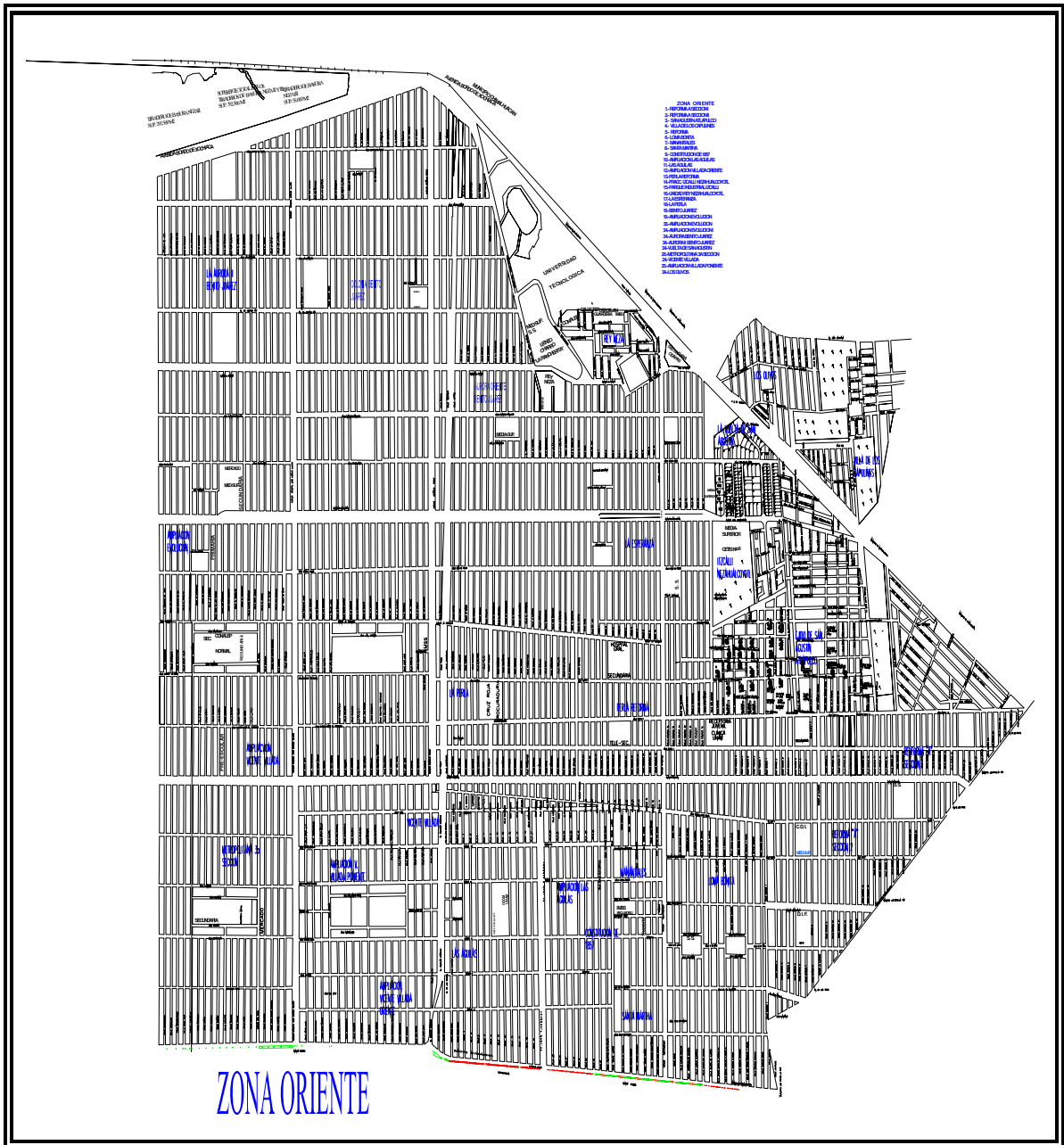


FIG 1.2 ZONA ORIENTE DE CIUDAD NEZAHUALCOYOTL



FIG 1.3 ZONA NORTE DE CIUDAD NEZAHUALCOYOTL

Hoy en día el Municipio de Nezahualcóyotl, está delimitado por las delegaciones: Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa y los Municipios de: Ecatepec, Texcoco, Chimalhuacan y La Paz (Fig. 1.4).

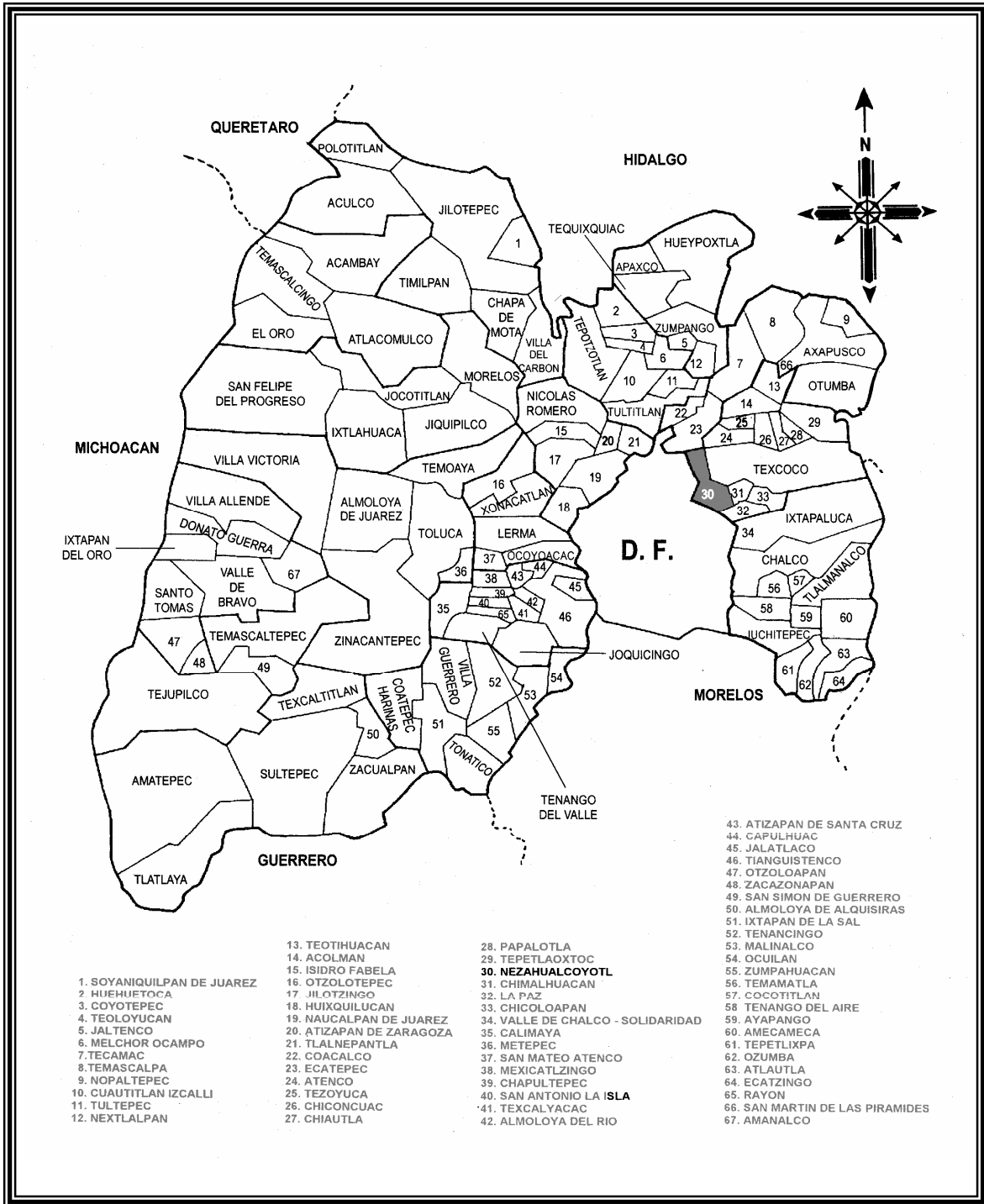


Fig. 1.4 Ubicación del municipio en el Edo. de México

## 1.2 CLIMA

El clima predominante de la zona en estudio es Semiseco templado, con lluvias en verano, estas zonas son las más secas del estado, en ellas la precipitación anual va de 500 a 639 mm, la temperatura media anual es de 12° a 18° C y el verano se considera cálido pues la temperatura media anual es mayor de 18° C, y en invierno la ocurrida en los meses de enero, febrero y marzo, corresponde al rango de 5 a 10.20 % de la lluvia total anual.

Entre la variedad de climas que se presentan en el Estado de México predomina el templado o mesotérmico. Los climas templados se concentran en los valles altos de la parte norte, centro y este de la entidad, particularmente en las inmediaciones del Valle de México. Sigue en importancia, por su influencia y extensión, el clima semifrío, que se encuentra distribuido en las regiones del centro y este, principalmente en las cercanías de Toluca. (Fig. 1.5)

En el 99.65% de la superficie municipal el clima es Semiseco templado, con lluvias en verano, con verano cálido y en un 0.35% templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad. Con una temperatura media anual de 25° C. Se registran ligeras bajas de temperatura desde noviembre hasta febrero. La precipitación pluvial promedio anual es de 58.6 mm/hr.(Cuadro 1.2)

Cuadro 1.2. Clima predominante en el municipio.

TIPO O SUBTIPO	SÍMBOLO	% DE LA SUPERFICIE MUNICIPAL
Semiseco templado, con lluvias en verano, con verano cálido	BS1k	99.65
Templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad	C(w0)	0.35

FUENTE: INEGI, CARTA DE CLIMAS, 1: 1 000 000

Los vientos dominantes que se presentan en la zona de Nezahualcóyotl tienen dos etapas a lo largo del año: la primera es de marzo a agosto, donde los vientos dominantes se presentan en dirección noreste, con intensidades hasta de 6.3 m/s que se generan en mayo. Una segunda etapa está comprendida entre septiembre y marzo, con vientos hasta de 11.0 m/s en dirección norte, intensidad máxima registrada durante el mes de febrero.



FIGURA. 1.5 Mapa de climas en el Estado de México, fuente INEGI

### 1.3. GEOLOGÍA

La litología del estado de México está constituida por afloramientos de rocas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, siendo las rocas ígneas extrusivas las que ocupan una mayor extensión. Las rocas de esta entidad datan del Triásico (las metamórficas) hasta el Cuaternario (representado por rocas ígneas de composición basáltica, así como por depósitos lacustres y aluviales).

Las principales estructuras geológicas que se presentan son aparatos volcánicos, algunos de los cuales se cuentan entre los más notables del país: el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl y el Nevado de Toluca. Además existen fracturas y fallas regionales, asociadas a los fenómenos de vulcanismo y mineralización. Los aspectos de geología económica más importantes están relacionados con las rocas que por su naturaleza primaria y las estructuras que las han afectado, constituyen zonas favorables para la explotación de acuíferos, de yacimientos minerales y de bancos de materiales para la construcción.

El estado de México está comprendido dentro de dos provincias geológicas que son: el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur.

Toda la planicie actual ocupada por Nezahualcóyotl, se presenta al secarse el lago de Texcoco, el suelo se formó por una sucesión de cubiertas profundas, al punto de que puede estimarse hasta más allá de los 800 metros bajo su nivel actual. Todas estas profundas oquedades fueron rellenadas paulatinamente por sedimentos y materiales finos arrancados de las montañas del entorno y transportadas por las aguas de escurrimiento; también se fueron rellenando con la gran cantidad de cenizas volcánicas que ahí se depositaron (Fig. 1.6)

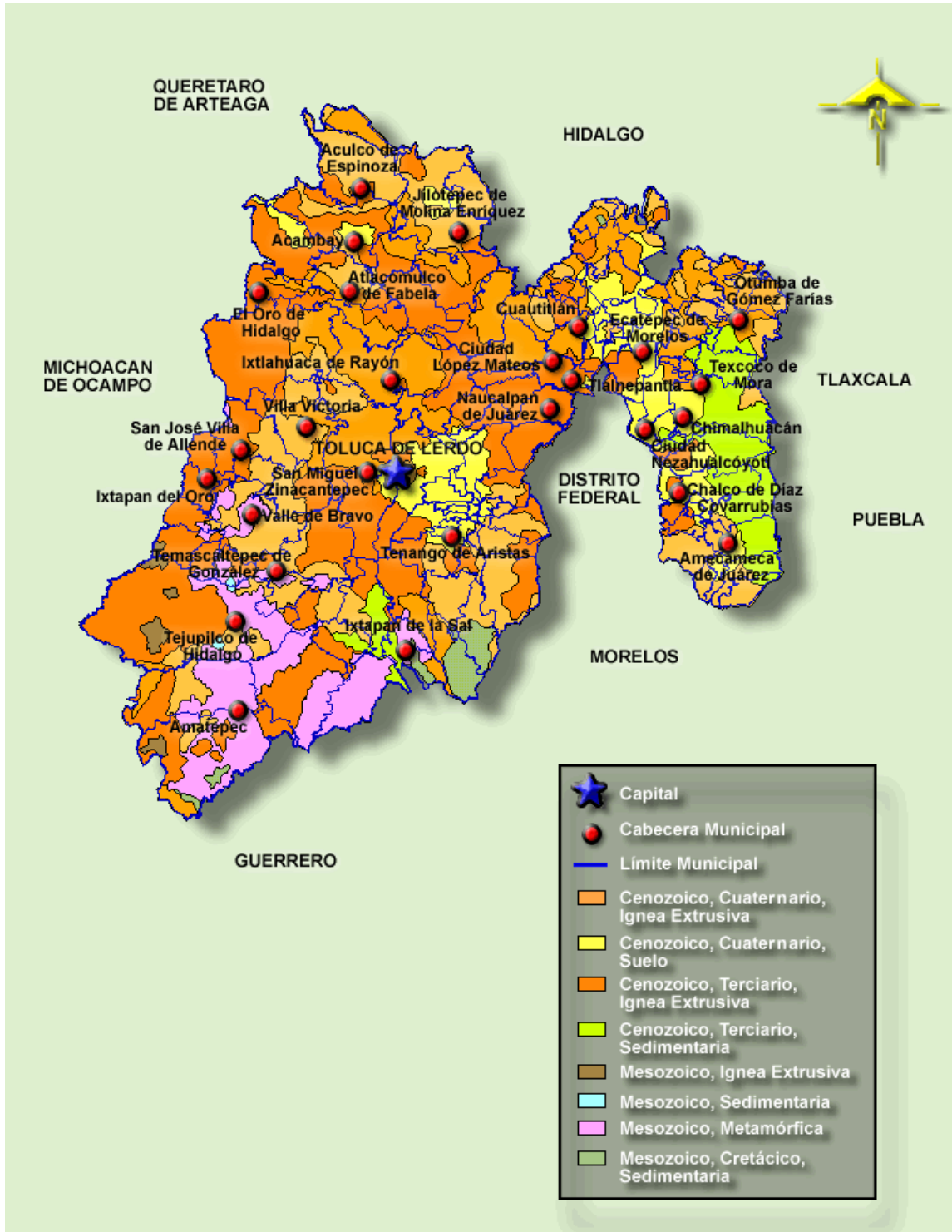


FIG. 1.6 Mapa de la Geología en el Estado de México, Fuente INEGI



## 1.4 EDAFOLOGIA

El suelo del municipio está compuesto por los sedimentos del ex lago de Texcoco, que dieron origen al tipo de suelo Solonchack gleyco, que presenta una capa de color gris o azulosa en la que el agua se estanca. Son suelos salinos con un periodo de inundación estacional, como se puede observar al norte del municipio, particularmente en sitios donde la mancha urbana no ha podido extenderse.



Fuente: GEM. (1993). Atlas General del Estado de México

FIG. 1.7 Mapa de Edafología en el Estado de México, Fuente INEGI

## **1.5 HIDROLOGÍA**

### **Aguas Superficiales**

La hidrografía municipal se reduce a lo que queda del llamado Río de la Compañía, que antaño tuviera una gran importancia como elemento fortalecedor del riego natural para una vasta área. Este río, que nace en las faldas del Iztaccíhuatl, dentro del municipio de Tlalmanalco, cruza los municipios de Chalco, Nezahualcóyotl y La Paz, para desembocar en el Lago de Texcoco.

Los recursos hidrológicos más importantes son: al Norte, una porción del lago de Texcoco, sobresalen los cuerpos de agua conocidos como Cola de Pato, La Regalada y El Tesorito; al sureste, el río de la Compañía. La región norte del municipio se encuentra protegida de posibles inundaciones por el bordo de Xochiaca, que impide que el agua del lago inunde las áreas habitadas, durante la temporada de lluvias.

### **Aguas Subterráneas**

La región carece de manantiales, ojos de agua o veneros de cualquier tipo, el agua potable se obtiene de pozos muy profundos, así como del sistema del Tanque la Caldera.

## **1.6 DEMOGRAFÍA**

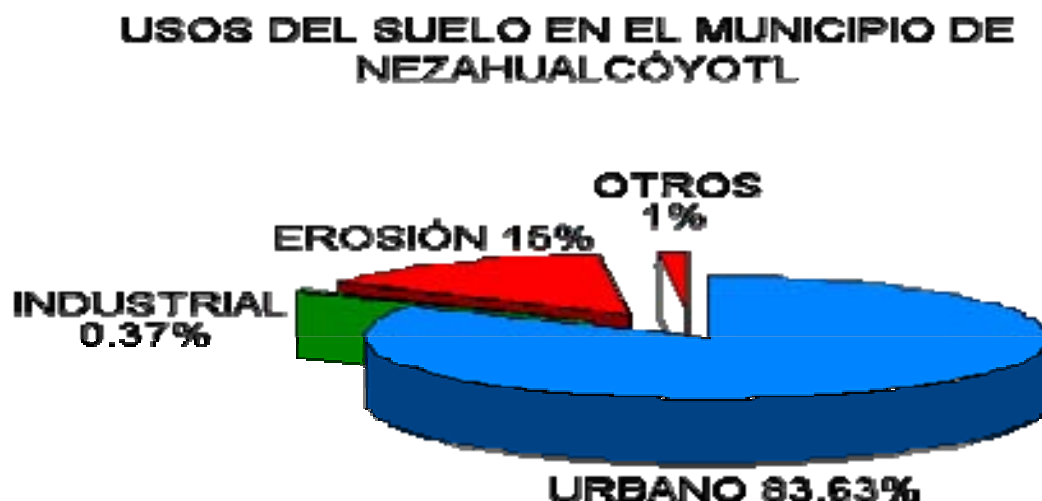
En los últimos cinco años, localidades como Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Ecatepec y Valle de Chalco han ocupado la mayor densidad poblacional de la entidad, según el Centro Estatal de Población (Coespo).

Neza continúa en primer lugar a nivel estatal con 18 mil 811 habitantes por kilómetro cuadrado, seguido de Chimalhuacán con 15 mil 673 personas, Ecatepec ocupa el tercer lugar con 12 mil 821 y finalmente Valle de Chalco con siete mil 670 habitantes.

En la actualidad los municipios más poblados en este territorio son Ecatepec, Nezahualcóyotl, Naucalpan, Tlalnepantla y Toluca, en ese orden, pero de 1980 a 1990, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl fueron las localidades que mayor crecimiento poblacional tuvieron.

## 1.7 USO DE SUELO

Los usos de suelo están distribuidos de la siguiente manera: urbano (83.63%), industrial (0.37%) y suelo erosionado (15%) correspondiente al vaso del ex-lago de Texcoco. (Cuadro 1.3)



**FUENTE:** Sistema Estatal de Información Ambiental de la Secretaría de Ecología del Estado de México.

### Cuadro 1.3 Usos del suelo en el Municipio

Fuente: H. Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 1997

La zona urbana del municipio se destina principalmente para vivienda. Nezahualcóyotl cuenta con 5 mil 165 manzanas y 220 mil predios distribuidos en las 86 colonias, de los cuales 187 mil están registrados en el padrón de contribuyentes y los 33 mil predios restantes no están regularizados.

En el año 2000 la superficie actual del área urbana alcanza las 5, 151 hectáreas. El uso habitacional comprende aproximadamente el 74.44 % del área urbana, que lo ubica como el uso predominante, por el contrario, la presencia de baldíos urbanos cada vez es menos significativa, actualmente su extensión territorial no rebasa las 5.5 hectáreas, es decir el 0.09% del área urbana.

## 1.8 VIVIENDA

En el cuadro 1.4 se muestran algunos datos estadísticos de algunos municipios, incluyendo el de interés.

Cuadro 1.4 Datos estadísticos

Municipio	Total	Con energía eléctrica (%)	Con agua entubada a/ (%)	Con drenaje (%)
Entidad	2,743,144	98	93	86
Acambay	11,103	86	75	27
Acolman	12,799	99	95	90
Aculco	7,585	80	84	33
Amecameca	9,107	98	98	83
Apaxco	4,852	98	95	85
Atenco	6,736	97	90	81
Atizapán	1,495	98	96	93
Atizapán de Zaragoza	104,778	99	99	99
Coacalco de Berriozábal	55,917	##	99	99
Coatepec Harinas	6,629	93	81	53
Cocotitlán	1,998	98	98	84
Coyotepec	6,718	98	96	83
Chalco	43,051	98	93	85
Malinalco	4,139	96	87	50
Melchor Ocampo	7,388	99	97	88
Metepec	41,733	99	97	98
Mexicaltzingo	1,651	98	90	92
Morelos	5,168	86	76	23
Naucalpan de Juárez	199,026	86	98	98
<b>Nezahualcóyotl</b>	<b>274,984</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>99</b>
Texcoco	41,473	99	94	88
Cuautitlán Izcalli	100,213	99	98	98
Valle de Chalco Solidaridad	66,901	99	99	95

INEGI. Tabulados Básicos Nacionales y por entidad Federativa. Base de datos y tabulados de la Muestra Censal. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

El municipio de Nezahualcóyotl cuenta con una variedad de tipos de vivienda, desde interés social, hasta zona residencial. Además de que existen asentamientos irregulares en los extremos del municipio, principalmente en las cercanías del tiradero de Bordo de Xochiaca.

La falta de vivienda en la Ciudad de México es la principal causa de la expansión física hacia los municipios conurbados asentados en el Estado de México.

La zona Centro de Nezahualcóyotl mantiene un uso habitacional predominante, mezclado con comercio y servicios de todo tipo, así como talleres familiares; por otro lado, cuenta con una densidad media de 300 hab/ha, un promedio de 2 niveles y una vivienda cada 120 m<sup>2</sup> de lote.

La zona Norte se caracteriza en su mayoría por un uso habitacional plurifamiliar, multifamiliar y dúplex con densidad alta, mezclado con servicios de oficinas, comercio y abasto, el promedio de altura es de 3 niveles en donde existe una vivienda por cada 120 m<sup>2</sup> de lote; sin embargo, algunos sectores llegan a presentar hasta 5 niveles y una vivienda por cada 40 m<sup>2</sup> de lote.

El uso del suelo dedicado a equipamiento urbano representa una superficie total de 789.2 hectáreas. El uso industrial ocupa un mínimo porcentaje de superficie (0.26%) que no supera las 16.47 ha y se concreta al Parque Industrial Izcalli Nezahualcóyotl, adicionalmente, existen micro y pequeñas empresas distribuidas en todo el centro de población, en donde predominan las industrias manufactureras y textiles, situación que da origen a la mezcla de usos habitacionales, comerciales e industriales. Generalmente, estas micro y pequeñas industrias, se han instaurado como talleres familiares de manufactura “casera” (talleres de corte y confección, elaboración de manualidades, artesanías, etc.). (Cuadro 1.5).

Finalmente, la zona Federal ocupa una superficie de 802.89 ha (12.66% con respecto a la superficie municipal), mientras que 206.22 ha (3.25 % del total municipal) corresponden a la zona Estatal y 7.95 ha (0.13% del territorio municipal) corresponden a los cuerpos de agua. En esta zona, los impactos ambientales derivados de actividades humanas tales como el confinamiento clandestino de residuos sólidos y la ocupación irregular de superficies para la construcción de viviendas marginales, son algunas expresiones que muestran el creciente deterioro del área. Las características edafológicas y geomorfológicas de la superficie a desarrollar, limitan el uso del suelo, excluyendo la posibilidad de ampliar las zonas habitacionales debido a la naturaleza y a los impactos generados por los tiraderos clandestinos.

Con respecto a los usos comerciales, estos tienen un peso importantes dentro del municipio, sin embargo, la localización de estas actividades no corresponde a áreas perfectamente definidas, debido principalmente a la dispersión del comercio local que se encuentra mezclado principalmente con vivienda, sobre todo a lo largo de los principales corredores comerciales.

Cuadro 1.5 Distribución de los usos de suelo.

<b>Distribución de los usos del suelo, 2000.</b>							
	Habitacional	Area libre	Equipamiento	Industria	Zona Federal	Zona Estatal	Cuerpos de Agua
Has	3,834.40	4.64	472.35	13.39	652.12	167.41	6.70
% A.U	74.44	0.09	9.19	0.26	12.66	3.25	0.13

## 1.9.- SERVICIOS

En el desarrollo de las localidades urbanas, sus servicios en general se inician con un precario abastecimiento de agua potable y van satisfaciendo sus necesidades con base en obras escalonadas en bien de su economía, como consecuencia se presenta el problema del desalojo de las aguas servidas o aguas residuales, se requiere así la construcción de un Sistema de Alcantarillado Sanitario para eliminar las aguas negras que produce una población, incluyendo al comercio y a la industria.(Cuadro1.6)

Cuadro 1.6 Viviendas particulares habitadas, con agua entubada, con drenaje y con energía eléctrica según principales localidades al 5 de noviembre de 1995.

LOCALIDAD	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS ES	VIVIENDA PARTICULARES HABITADAS CON AGUA ENTUBADA	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS CON DRENAJE	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS
ESTADO	2437704	2224622	2075009	2385632
MUNICIPIO	271278	269712	269735	270945
CIUDAD NEZAHUALCOYOTL	271241	269712	269735	270919
URBYNA PRI (TIRADERO NEZA 3)	28	-	-	24
TIRADERO PRI (URBYNA PRI TIRADERO NEZA 2)	7	-	-	1
RESTO DE LOCALIDADES	2	-	-	1

FUENTE: INEGI

## CAPITULO II ESTUDIOS BÁSICOS

Para la estimación de la población de proyecto es necesario conocer los datos básicos de la localidad en estudio, tomando en cuenta un periodo económico de proyecto de 6 a 15 años de acuerdo a la magnitud y características de la localidad por servir y del costo probable de la obra.

### 2.1.- PROYECCIONES DE POBLACIÓN

Según la información censal disponible, el Municipio solamente tiene una localidad representativa en términos de población, esto obedece a que solamente 187 personas habitaban en 1951 en el resto de las localidades. La localidad que realmente tiene importancia corresponde al área urbana principal pues concentra cerca del 99.95 % del total de los habitantes.

En el 2000 tenía un total de 1, 225, 972 habitantes de acuerdo con la información de COESPO. Cabe hacer mención que esta cifra corresponde a la que reporta para la misma fecha el INEGI.

El desarrollo del municipio de Nezahualcóyotl es consecuencia del proceso de poblamiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). La conformación de la ZMCM a través del tiempo ha tenido una serie de cambios en términos de conurbaciones de los municipios periféricos, de manera que para 1995 la ZMCM estaba conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 58 municipios metropolitanos.

Como ejemplo de la dinámica del crecimiento, considérese que en 1970 Nezahualcóyotl participaba con 580, 436 habitantes, presentando una tasa de crecimiento media anual de 6.86%, superior a la presentada por la ZMCM que fue en conjunto de 2.61 % y al interior del primer contorno con una tasa de 3.62 % en promedio.

En la década de los 80's la tasa de crecimiento presentada por el primer contorno muestra una disminución considerable, pues pasó del 3.62% al 0.74 %. Los aumentos se reflejaron en las delegaciones y municipios del tercer contorno, cuyas tasas en promedio se situaron por arriba del 6 por ciento.

El desarrollo demográfico de Nezahualcóyotl está caracterizado por dos grandes etapas. La primera, que coincide con el proceso de expansión de la Ciudad de México, se presentó un poco antes de 1970, mientras que el crecimiento importante del primer periodo para el municipio se dio en la década de 1970 a 1980; la población en términos absolutos se incrementó en el orden de 760,794 habitantes en tan sólo diez años, con una tasa de crecimiento de 8.42%, tasa significativa a nivel del sector oriente.

La segunda etapa es considerada a partir de 1980 a 1995, caracterizada por una importante desaceleración del crecimiento demográfico, ya que de 1980 a 1990 presentó un decremento de la población en términos absolutos, pues pasó de 1, 341,230 habitantes en 1980 a 1,256,115 para 1990. Como reflejo de este proceso de expulsión de población la tasa refleja una caída hasta alcanzar  $-0.67\%$ , tendencia que se conserva y se hace más fuerte para el periodo de 1990 a 1995, ya que registró 1,233,868 habitantes y el decremento fue de 22,247, con una tasa de  $-0.31\%$ . Nezahualcóyotl sigue la tendencia pues para el año 2000, se registra una población de 1, 226, 167 habitantes con una tasa negativa de 0.13 por ciento.

Este proceso demográfico se puede atribuir a los importantes movimientos migratorios que se han presentado como consecuencia de la escasa oferta de suelo para vivienda y de la atracción de mano de obra en otros lugares fuera del municipio. Este tipo de movimientos poblacionales se ven referidos en que la tasa de crecimiento social para el quinquenio de 1990 a 1995 era de  $-2.82\%$  el cual para el segundo quinquenio de esta década se hace más agudo  $-2.91\%$ , indicador que ubica a Nezahualcóyotl como un municipio de fuerte expulsión de población, como resultado de importantes movimientos migratorios de la población.

No obstante lo anterior, el municipio en el momento de conformación representa un importante destino para la población emigrante, por lo que la población nacida dentro de la entidad en esta primera etapa fue menor a la nacida en otra entidad, lo que significa que Nezahualcóyotl creció a partir del crecimiento social más que natural; esta es una característica más del primer periodo del proceso de crecimiento poblacional, no obstante en el segundo periodo de crecimiento aumentó el número ligeramente de personas nacidas en el municipio. Cabe señalar que un poco más de la mitad de la población nacida fuera de la entidad, que reside dentro del municipio, era población nativa del Distrito Federal, la cual representa un poco más del 50% de la población no nativa total.

En el periodo 1990-1995, el crecimiento natural del Municipio registro una tasa de 2.53%, situación que permite ver que si bien Nezahualcóyotl se ubica como un municipio de fuerte expulsión poblacional, por sus tasas negativas de crecimiento social, su crecimiento natural muestra tasas positivas, lo que compensa sus tasas totales de crecimiento medio anual, aunque los movimientos migratorios son la principal causa de la pérdida de población. Cabe señalar que la tasa de crecimiento natural sigue una tendencia a la baja, pues entre 1997 y 1998 se registró en 2.41 % y para el año siguiente bajó 1% con respecto a la tasa anterior. Para el periodo 1999-2000, la tasa sigue la tendencia y se sitúa en 2.39 por ciento.



Las tasas de crecimiento natural del Estado se comportan de manera similar a lo descrito para el municipio, salvo el periodo de 1990-1995, en el cual presentó 2.18 %, localizándose por debajo de la de Nezahualcóyotl en 0.4 puntos porcentuales. Por otro lado, el comportamiento de las tasas de crecimiento social, guarda diferencia con las tasas de crecimiento natural, pues el municipio se caracteriza por ser expulsor de población, con una década importante dentro de su conformación poblacional. Esta década es la de 1970-1980, la cual reportó una tasa social del orden de 4.63%, porcentaje que es positivo con respecto a las tasas reportadas en las restantes décadas, pues todas reportaron tasas negativas. Esta tasa muestra claramente que en la década de 1970 se dio la más fuerte migración poblacional al municipio, mientras que en las décadas posteriores a 1980, se presentaron los periodos más importantes de emigración hacia otros lugares aledaños. (Fig 2.1)

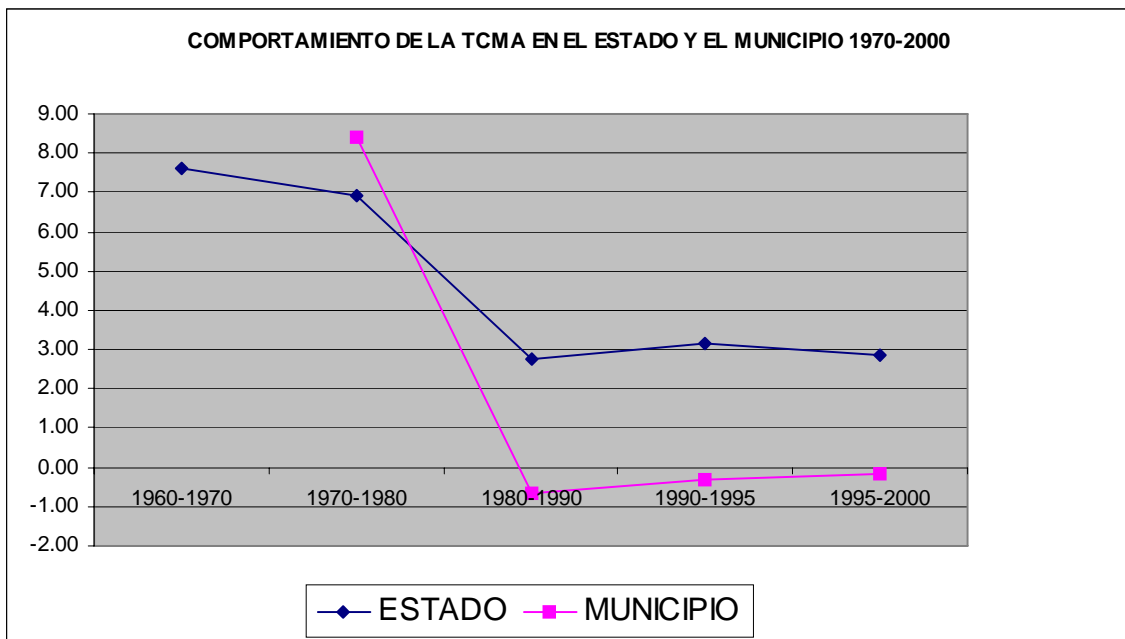


FIG. 2.1 TENDENCIA POBLACIONAL EN EL ESTADO Y EL MUNICIPIO 1970-2000.

A partir de 1970 y hasta 1980 el municipio recibió 89, 591 emigrantes. Los principales estados de origen de esta población fueron: Michoacán, Oaxaca, Guanajuato y Puebla. Posteriormente, después de 1980, el municipio siguió recibiendo población de Oaxaca, Puebla y Veracruz, en menores proporciones con respecto a l periodo de 1970-1980.

En la participación de la población por sexo, tenemos que para el año de 1995, el porcentaje de hombres era del 49 %; mientras que las mujeres representaban al 51% restante con respecto al total de la población. Para el año 2000 no cambió esta participación, pues el municipio sigue manteniendo los mismos porcentajes. En comparación con los porcentajes del Estado, éstos son similares a los del municipio.

## Proyección de población

Como resultado del análisis de la dinámica demográfica y socioeconómica que actualmente presenta el municipio y según las correspondientes tendencias, se puede presumir un escenario en el que en términos de la población, la disminución de la tasa de crecimiento continuará. También es previsible una estabilización de la tasa de crecimiento hasta alcanzar un punto de equilibrio, es decir, es probable un repunte de estos indicadores hasta que se reviertan los saldos demográficos negativos y llegue a niveles muy cercanos al crecimiento cero.

Atendiendo a lo anterior, para el año 2005 la población del municipio disminuirá hasta llegar a 1, 182, 285 habitantes, es decir se presentará una disminución de 43, 687 personas. Esto significa que el municipio tendrá una tasa de crecimiento media anual de  $-0.51\%$ . Para el año 2010 el municipio tendrá una disminución de su población de 1.06 veces con respecto a la población del año 2000. Esta tendencia se reproduce a través de los periodos siguientes, hasta llegar a disminuir 1.15 veces la población actual, lo que representa en términos absolutos que el municipio perderá un total de  $-162,976$  habitantes, lo que equivale al  $13.92\%$  del total de población actual (Cuadro 2.1)

### Cuadro 2.1. Población proyectada 2000-2025.

<b>ESCENARIO TENDENCIAL</b>		
AÑO	POBLACIÓN TOTAL ESPERADA	T.C.M.A
2000	1,225,972	-0.15
2005	1,182,285	-0.50
2010	1,152,463	-0.51
2015	1,122,641	-0.53
2020	1,092,819	-0.54
2025	1,062,996	-0.56

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, CON BASE EN DATOS DE COESPO, 2000

## **2.2.- CONFIGURACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO Y SELECCIÓN DEL SITIO DE LA PLANTA**

El suministro del agua es sólo una parte del problema que se vive en este Municipio, casi toda el agua potable se convierte en agua residual que debe recolectarse y evacuarse fuera del Municipio sin causar problemas de salud a la población. Debido a que el valle de México es una cuenca cerrada que carece de salidas naturales y en la que se presentan lluvias intensas y de corta duración, sumando que cada día se reduce el área de infiltración por el incremento de la mancha urbana y de los hundimientos del suelo que provocan fracturas a las redes de drenaje, es indispensable mejorar día a día la infraestructura para captar y evaluar las aguas pluviales y así evitar inundaciones.

Se entiende por alcantarillado a una red de conductos subterráneos, extendida en toda la localidad y a través de los cuales se evacuan las aguas residuales en forma rápida y segura. Un alcantarillado es el sistema más apropiado para la eliminación de las aguas servidas.

Los elementos que constituyen el sistema de alcantarillado del Municipio se pueden clasificar en dos grupos: tuberías o conductos y obras o estructuras accesorias.

- a) Alcantarilla: Es cualquier conducto de la red que va de pozo a pozo conservando uniforme su sección pendiente y dirección.
- b) Albañal: es una tubería que recoge las aguas sucias dentro de los domicilios posteriormente son captados en una atarjea. El albañal se divide en interior y exterior. A la parte que va de los muebles sanitarios al paramento exterior de la fachada de la residencia se le llama albañal interior y a la parte que va del paramento exterior a la atarjea se le llama albañal exterior. El diámetro interior de estos albañales es de 15 cm y la pendiente nunca menor de 20 milésimas.
- c) Atarjeas: son los conductos de menor diámetro de la red. Colocados generalmente por el eje de la calle, reciben directamente las aguas residuales domiciliarias. Las atarjeas dentro de los predios urbanos o industrial son de 20 cm de diámetro mínimo y reciben el nombre de albañal.
- d) Subcolectores: los subcolectores son tuberías que reciben las aguas recolectadas por las atarjeas. Generalmente los subcolectores son de mayor diámetro que las atarjeas, sin embargo, en un principio pueden tener el mismo diámetro.
- e) Colectores: los colectores reciben el agua de los subcolectores y de las atarjeas, por lo cual son de mayor diámetro que los subcolectores.
- f) Emisor: el emisor es generalmente el conducto al cual ya no se conectan descargas de agua residuales ni de aguas pluviales, y tiene como objetivo el conducir los

volúmenes de agua captados por todo el sistema de tuberías, que constituye la red de alcantarillado, hasta el lugar donde se tratarán o se verterán las aguas residuales.

- g) Pozos de visita: son estructuras que se eligen para inspección y limpieza, por tanto, deben tener las dimensiones necesarias para facilitar el acceso a las tuberías, así como la extracción de las herramientas de limpieza. Estos pozos de visita se colocan en tramos rectos a una distancia máxima de 120 y hasta 125m y deben construirse en todo cambio de dirección. El diámetro máximo sobre el que se construyen estos pozos es de 60 centímetros.
- h) Pozos de caída: son estructuras que fundamentalmente sirven para absorber desnivel.
- i) Cajas de unión: desempeñan la función de pozos de visita, sólo que se construyen sobre tuberías de 0.76 a 1.83 m de diámetro.
- j) Pozos especiales: pozos de visita que se construyen sobre los colectores.
- k) Coladeras pluviales: elementos que sirven para llevar aguas pluviales a la atarjea.

El servicio de drenaje cubre un 99.80 por ciento, lo que representa una población servida de 1,221,421 habitantes (fig. 2.2). La zona carente de servicio, es la colonia San Agustín Atlapulco, la cual no cuenta con el servicio de drenaje debido a problemas de carácter territorial.

Por la configuración topográfica del terreno, el sistema de drenaje del municipio es casi de forma rectangular, el cual, canaliza las aguas residuales de sur a norte y las deposita en el Dren Xochiaca y Río de la Compañía, a través de las cárcamos ubicados en el Bordo de Xochiaca y Av. de los Reyes, así como el Río Churubusco, en el caso de la zona centro-oriente. El Río de los Remedios es el principal cauce federal de la zona norte y lugar de depósito de aguas residuales.

### **Localización y diámetro de drenes**

Para el desalojo de las aguas servidas del municipio, se cuenta con el Río de los Remedios, Río churubusco, canal de Compañía y Dren Xochiaca.

Dentro del lago de Texcoco se construyó el Dren General del Valle, el cual recibe agua residual del río de la Compañía en el puente Xochiaca, con un desarrollo aproximado de 18 kilómetros hasta su descarga en el Gran Canal de Desagüe, a través del canal de la Draga. Recibe las aportaciones del canal de la Compañía, los drenes de Chimalhuacán 1 y II, el dren Xochiaca, las aportaciones de los lagos de Regulación horaria, Churubusco y del dren Perimetral.

El canal de la Compañía drena la parte oriente del Valle de México, desde su origen en las Sierras Nevadas y río Frío hasta su descarga al dren General.

El dren natural de la zona sureste de la Zona Metropolitana del Valle de México, es el río de la Compañía, el cual esta formado por el Canal General y el río Miraflores, este a su vez lo conforman los ríos San Francisco y San Rafael que descarga a lo largo de Texcoco y drena los municipios de Chalco, ixtapaluca y Nezahualcóyotl.

Con respecto a la infraestructura sanitaria y pluvial del municipio, esta se compone de colectores que presentan diámetros que van desde 107 a 244 centímetros y conducen las aguas residuales y pluviales hacia los cárcamos.

Los subcolectores presentan un diámetro entre 45 y 91 centímetros, estos subcolectores conducen las aguas negras y pluviales a los colectores principales (Cuadro 2.2).

Las atarjeas, identificadas como tuberías de concreto simple de 30 a 38 centímetros de diámetro, conducen las aguas negras de las descargas domiciliarias a los subcolectores.

### **Emisores**

Se cuenta con 2.6 kilómetros de emisores, que corresponden a los cárcamos Villada, Carmelo Pérez, Esperanza y los Reyes.

Es importante mencionar que el funcionamiento hidráulico de los colectores fue diseñado para trabajar por gravedad, pero desafortunadamente es afectado por la poca pendiente y los asentamientos diferenciales y regionales que sufre el municipio, razón por la cual se requiere de plantas de bombeo para canalizar las aguas residuales a los cauces federales.

Los encharcamientos producidos por lluvias intensas y de corta duración, son fenómeno muy notorio en las zonas urbanas, originado por la antigüedad de la infraestructura hidráulica y la baja capacidad de desalojo de las plantas de bombeo.

### **Plantas de bombeo**

En los municipios conurbados del Estado de México se dispone aproximadamente de 122 plantas de bombeo, de las cuales diez se ubican en el municipio de Nezahualcóyotl. Estas plantas operan todo el año, en época de estiaje para desalojar las aguas residuales y durante la época de lluvias, para dar mayor flexibilidad a la operación del sistema de drenaje combinado, sin embargo su funcionamiento permanente depende del mantenimiento, de las políticas establecidas por la administración, así como de la disponibilidad de recursos financieros para mejorar su condición.

Tales plantas se construyeron hace más de 30 años, utilizándose hasta la fecha para el bombeo las aguas negras a los Ríos de la Compañía, churubusco, los Remedios y del Dren Xochiaca.

Además de estos cárcamos, existen dos plantas de bombeo de aguas residuales: "Plazas de Aragón" y "Ciudad Lago" en la zona norte.

Ante la demanda de agua en usos en donde no se requiere la cantidad de potable, se ha buscado optimizar el manejo y distribución del agua residual tratada mediante su utilización en el riego de áreas; el nivel de cobertura de este servicio, es del 2.88 por ciento.

Actualmente el municipio cuenta con una planta de tratamiento de agua residual, la cual se encuentra ubicada dentro de las instalaciones del Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nezahualcóyotl (ODAPAS), la cual tiene una capacidad nominal de 200 litros por segundo y actualmente opera a 70 litros por segundo. La red existente de agua tratada es de aproximadamente 32.3 km, que van desde 3" hasta de 16" de diámetro, ubicándose principalmente en los camellones de las Avenidas principales, con la finalidad del riego de áreas verdes.

Dentro del área urbana se ha determinado que existe una demanda considerable de agua y no necesariamente esta sea potable, por lo que sea considerado realizar el proyecto y la construcción de una planta de tratamiento de agua residual que abarque principalmente esta zona del municipio y se pueda ampliar la red de agua tratada.

Se ha considerado que puede ser factible la construcción de una planta de tratamiento a un costado del cárcamo La Esperanza, debido a que existe un terreno propiedad del municipio. Esto permitiría tener un caudal constante en épocas de estiaje y lluvias dentro del cárcamo.

**Cuadro 2.2. Cuadro comparativo de alcantarillado.**

ASPECTO	FORTALEZAS	DEBILIDADES
Drenaje	<p>El nivel de Cobertura del municipio es de 99.80%. Solo existe una comunidad sin drenaje.</p>	<p>Los equipos no están en óptimas condiciones y ya rebasaron su vida útil y es necesaria la rehabilitación integral de los equipos electromecánicos de bombeo de las aguas residuales.</p> <p>La topografía del Municipio dificulta el desalojo de las aguas residuales. Los hundimientos diferenciales del terreno provocan que algunos colectores y subcolectores no trabajen adecuadamente, ocasionando fuertes inundaciones en época de lluvias.</p>
Alcantarillado (Saneamiento)	<p>Se tienen bien identificados los rubros municipales donde es factible el uso de aguas saneadas o tratadas.</p> <p>La mayor parte de las aguas residuales del municipio son captadas o canalizadas a los cárcamos de bombeo, por lo que se facilita el tratamiento de las mismas, con las instalaciones adecuadas.</p>	<p>No se cuenta con la infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales.</p> <p>La cobertura de tratamiento es del 2.88% comparada con la disposición de aguas residuales, por lo que en este rubro, la potencialidad es muy alta.</p> <p>Las aguas pluviales no son utilizadas y cuesta mucho dinero el desalojarlas del territorio municipal.</p>

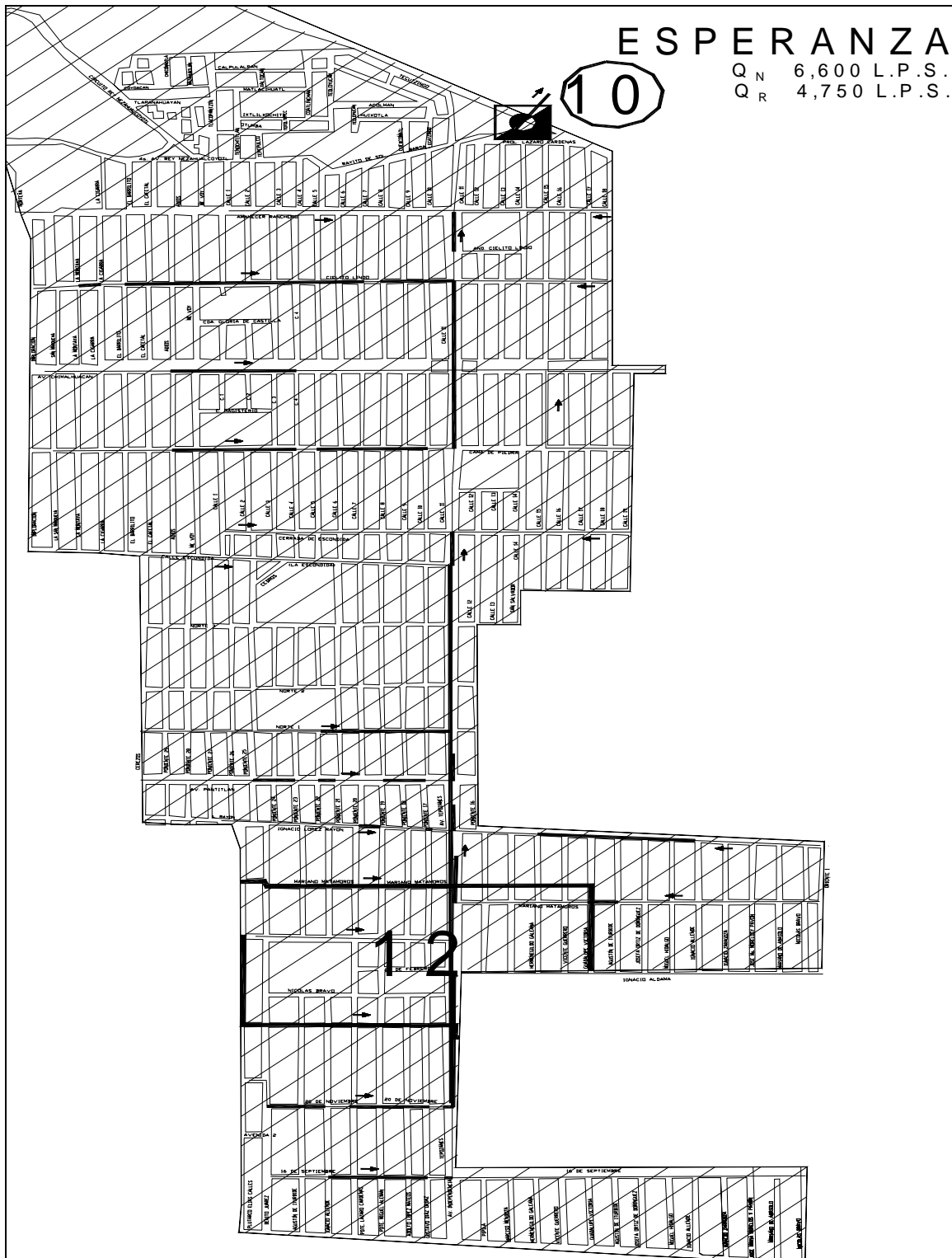


FIG. 2.2 INFRAESTRUCTURA MUNICIPAL EN LA ZONA DE INTERES



El agua ha sido un factor indispensable para la existencia y el desarrollo del hombre. El uso de este líquido tan preciado se ha diversificado tanto a través del tiempo, que actualmente son muy variadas las actividades donde se requiere. El agua al usarse pierde su calidad de potable con que fue entregada a la población, pues se le agrega una gran cantidad de residuos de diversos tipos, los cuales modifican sus características físicas, químicas y biológicas, por tal es necesario realizar el tratamiento de las aguas residuales y así disminuir el consumo de agua donde no necesariamente se requiera que sea potable.

### **2.3 SELECCIÓN DEL SITIO DE LA PLANTA**

El proyecto tiene como objetivo el reúso del agua residual que se genera en este municipio para el riego de áreas verdes, camellones, campos deportivos, etcétera.

Con base en el estudio de alternativas de localización que considero los aspectos de mejor distribución del agua residual tratada para su reúso, así como los de acceso y funcionalidad, el sitio seleccionado es el localizado en el predio formado por las calles, Av. La Esperanza, el libramiento del ferrocarril (Canal de la Compañía) y el lindero con la escuela Primaria, Col. Benito Juárez. En este predio se encuentra el Cárcamo de Bombeo de Aguas Negras la Esperanza, que hace posible su integración funcional a la planta de tratamiento, con las grandes ventajas operativas que esto representa, ya que se garantiza entre otras cosas una aportación continua de por lo menos 30 l/s en estiaje.

Cabe mencionar, que el área es propiedad del municipio, lo que permite aún sea mejor esta alternativa para la construcción de una Planta de Tratamiento.

### **2.4 - ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS**

El sitio en estudio se ubica en la denominada provincia fisiográfica del eje Neovolcánico, esta provincia comprende una amplia franja que cruza la República Mexicana de Este a Oeste, abarcando parte de los Estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Morelos, Michoacán, Jalisco, Colima y la totalidad del Estado de México, Tlaxcala y el Distrito Federal, está caracterizada por ser una altiplanicie situada a más de 2000 m sobre el nivel medio del mar, donde sobresalen numerosos cerros de varios cientos de metros de altura, la mayoría de estos representan elevaciones volcánicas, con sus respectivas lavas, brechas y cenizas, cuya composición litológica va desde el Plioceno Tardío hasta el Reciente, entre los cerros volcánicos se abren llanuras y cuencas que están formadas en gran parte por rellenos aluviales o lacustres, como es el caso del Valle de México.

La cuenca del Valle de México, se formó después de una época de intensa actividad volcánica, en la cual aparecieron las sierras. El conjunto de montañas formó un vaso de almacenamiento natural en el que se depositaron rellenos cuaternarios.

Entre la aparición de las sierras de Río Frío y las Cruces, que ocurre en el Plioceno y el cierre total de la cuenca durante el Cuaternario Superior (que corresponde a la formación de la Sierra del Chichinautzin) existían dos grandes Valles que drenaban hacia el Río Amacuzac, hacia el sur.

Durante el desarrollo de estos valles se formaron acarreos aluviales que alcanzaron un espesor de hasta 1000 metros, y después por la actividad volcánica ocurrió el cierre de la Cuenca y se inició la formación de los depósitos lacustres a los que subyacen los depósitos aluviales antes mencionados.

Estos depósitos provienen de la sedimentación de cenizas volcánicas producidas por las emisiones volcánicas de la Sierra del Chichinautzin, las cuales fueron transportadas por efecto del viento o por corrientes de agua hacia los lagos de la cuenca; observando las formaciones de abajo hacia arriba; lo constituyen las formaciones Tarango y Tacubaya, finalmente las formaciones Becerra, Barrilaco, Totolsigo. Esta clasificación es de origen Geológico y de ella se derivan las definiciones para la llamada Zona de Lago de la Ciudad de México cuya estratigrafía general descendente es la siguiente:

- Costra superficial
- Formación arcillosa superior
- Primera capa dura
- Formación arcilla inferior
- Depósitos profundos

#### ZONIFICACION GEOTECNICA

De acuerdo a la zonificación geotécnica de CIVITUR (1978), el sitio en estudio se encuentra en la denominada ZONA DE LAGO y específicamente en la subzona de Lago Virgen.

La Zona de Lago se caracteriza por grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad, que subyacen a una costra endurecida de espesor variable en cada sitio, dependiendo de la localización e historia de cargas. Por ello la zona de lago se ha dividido en tres subzonas y propiedades de la capa superficial; y b) la consolidación inducida en cada sitio.

El Lago Virgen corresponde al sector oriente del lago, cuyos suelos prácticamente han mantenido sus propiedades mecánicas desde su formación, la costra superficial varía de 1.00 a 2.50 m; sin embargo, el reciente desarrollo de esta zona de la ciudad y el bombeo profundo, está incrementando las sobrecargas en la superficie.

## TRABAJOS DE CAMPO

Con el objeto de tener un conocimiento estratigráfico completo de los materiales que constituyen el subsuelo del lugar, se llevó a cabo la excavación de 4 pozos a cielo abierto (PCA'S) hasta 2.70 m de profundidad promedio. Adicionalmente a la excavación de los pozos se realizó un sondeo mixto con recuperación de muestras alteradas con penetración estándar e inalteradas utilizando tubo shelby, denominado SM-1 hasta 25.15 m de profundidad. (Cuadro 2.3)

### SONDEO MIXTO

De acuerdo con la especificación ASTM-D-1585-67, el método de penetración estándar consiste en hincar en el suelo un penetrómetro estándar de pared gruesa de 60 cm de largo, por medio de golpes aplicados con una masa de 64 kg de peso, que se deja caer desde una altura de 75 cm contándose el número de golpes (N) necesarios para penetrar en el suelo los 30 cm centrales del tubo muestreador.

El tubo de pared delgada (Shelby), empleado para obtener muestras de tipo inalteradas, consiste en un tubo de pared delgada de un metro de largo y 3 mm de espesor, achaflanado en el extremo inferior, en la parte superior se conecta a un cabezal de balín; el muestreo se realiza hincado a presión el tubo en el suelo a razón de 5 a 10 cm/s de acuerdo a la Norma ASTM-D-1587-74. Una vez que el tubo Shelby se llena con el material muestreado se deja en reposo un par de minutos para propiciar la adherencia del material al tubo, posteriormente se saca del fondo del barreno a la superficie, se le retira el azolve y se cubren sus extremos con parafina para conservar el contenido natural de agua de la muestra y evitar alteraciones que pudieran modificar las características mecánicas del material.

La excavación de los PCA'S se realizó con pala y pico a una profundidad de 2.50 m o hasta donde la presencia del nivel de aguas freáticas lo permitió, como se muestra en la tabla siguiente:

**Cuadro 2.3. Resultado de pozos a cielo abierto**

POZOS A CIELO ABIERTO		
POZO No.	PROF. (m)	OBSERVACIONES
1	3.00	NIVEL DE AGUAS FREATICAS A 1.90 m
2	2.30	NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS A 1.90 m
3	1.90	NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS A 1.50m
4	1.60	NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS A 1.40m

## 2.5. - ESTUDIO TOPOGRÁFICO

El reporte del levantamiento topográfico que se presenta muestra el estado actual de las instalaciones del Cárcamo de Bombeo, así como del predio aledaño del que se dispone para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

El Cárcamo de Bombeo La Esperanza se ubica al Oriente del Municipio de Ciudad Nezahualcóyotl en la colonia Esperanza, Estado de México; sobre Av. Esperanza. Colinda al Poniente con una Escuela Primaria, y al Oriente con un jardín disponible para construir la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que juntos integran una superficie triangular, al Noroeste del predio existen unas vías de tren que marcan el límite del Municipio de Ciudad Nezahualcóyotl y el Municipio de Chimalhuacán. Al sur del predio se encuentra una Zona Habitacional entre las Calles 13, 14, 15 y 16.

### PLANIMETRÍA

El levantamiento se realizó con tránsito y cinta, el sistema de ejes coordenados se ubicó a partir de la coordenada (100,100) sobre el banco de nivel.

El predio es de forma triangular donde los lados miden 133.59 m, 70.16 m y 111.83 m, la superficie aproximada es de 3,911.968 m<sup>2</sup> y un perímetro de 311.113 m, en el cual se encuentra ubicado el Cárcamo de Bombeo La Esperanza de forma trapezoidal con una superficie aproximada de 2,712.122 m<sup>2</sup> y un perímetro de 218.772 m, además de un jardín de forma triangular con superficie aproximada de 1,034.3 m<sup>2</sup> y un perímetro de 159.986 m; el Cárcamo de Bombeo cuenta además con cuatro estructuras: Cárcamo rectangular de 36.21 m de largo por 6.95 m de ancho con superficie aproximada es de 251.681 m<sup>2</sup>, caseta rectangular de 12.2 m de largo por 8.22 m de ancho con superficie aproximada de 99.571 m<sup>2</sup> donde se encuentran el centro de control de motores (C.C.M.), el almacén y el baño, un tanque de descarga rectangular de 20.46 m de largo por 60.03 m de ancho con superficie aproximada de 123.363 m<sup>2</sup>; por otra parte en la zona arbolada de diámetro menor existe una cisterna para agua potable de 2.23 x 2.75 m, limitada por una cerca de maderos y alambre de púas; el jardín tiene una parte de la cerca que lo limita, rebasando los límites de derecho de vía del tren, mientras que los demás predios se encuentran alineados dentro del límite establecido en un promedio de 21.56 m a partir del eje de las vías del tren.

### ALTIMETRÍA

La nivelación se efectuó con nivel y estadal sobre los puntos previamente ubicados. El banco de nivel que se tomó se ubica sobre un punto marcado sobre el Cárcamo de Bombeo, tomándose 100.000 m como elevación de partida.

El predio es plano no presenta diferencias abruptas de nivel, en donde el menor nivel (99.592 m) y el mayor nivel (100.468m) tiene una diferencia máxima de 87.6 cm entre sí, a lo largo del predio (90.319 m), con una pendiente aproximada de 0.97%.

La losa del Cárcamo se encuentra en la elevación 100.022 m, la corona del tanque de descarga está en la 102.516 m, la losa de la caseta y el C.C.M. están en la elevación 99.754 m y la cisterna para agua potable se encuentra en la elevación 100.433 m. Como información adicional, las vías del tren se encuentran en la elevación 101.512 m en promedio.

## 2.6. – CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Como sabemos el agua dulce es un recurso natural y escaso que dependiendo de su origen necesita de diferentes tratamientos para su uso y consumo humano y en estas circunstancias sabemos que se ve afectado por diversos contaminantes de tipo municipal, industrial y agrícola, es por esto que es necesario realizar acciones que nos ayuden a preservar la calidad del agua. (Cuadro 2.4)

**Cuadro 2.4 Parámetros de control y frecuencia de análisis en una PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales).**

Parámetro	Sitio de monitoreo				Frecuencia
	Sedimentador primario	Tanque de aireación	Sedimentador secundario	Agua tratada	
PH	X		X	X	Diario
Sólidos sedimentables	X		X		Diario
Sólidos suspendidos volátiles		X			Diario
Índice volumétrico de Iodos		X			Diario
Oxígeno disuelto		X			Diario
Demanda bioquímica de O <sub>2</sub>	X			X	Diario
Demanda química de O <sub>2</sub>	X			X	Diario
Coliformes totales				X	Diario
Coliformes fecales				X	Diario
Cloro residual				X	Diario

La demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno son dos parámetros utilizados para determinar el contenido de materia orgánica en el agua. Las materias decantables, los sólidos suspendidos y la turbiedad nos indican la cantidad de materia orgánica y mineral que se encuentra en suspensión en el agua.

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de los sólidos disueltos (sales minerales) que contiene el agua. El grado de acidez o de basicidad de una muestra de agua se determina por medio del pH.

## Parámetros fisicoquímicos

**Definición y uso:** Son los análisis físicos y/o químicos requeridos para determinar la calidad del agua para consumo humano y diversos usos que no requieren la calidad de potable (Planta de tratamiento de aguas residuales).

**Potencial de hidrógeno pH:** Es la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua que pueden ser alteradas por la presencia de sales inertes, como son el nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) o el cloruro de sodio (NaCl). Se mide en unidades de pH en una escala de 0-14.

Es necesario realizar los ajustes de pH para la estabilización del proceso de tratamiento como por ejemplo en una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) donde el valor óptimo para el crecimiento de las bacterias oscila entre 6.5 y 7.5 o en la precipitación química donde es necesario subir el valor del pH al agregar cal o sosa cáustica.

En la **sedimentación:** la velocidad de sedimentación de los flóculos disminuye a bajas temperaturas, por lo tanto se debe reducir el flujo para aumentar el tiempo de retención del agua o ajustar las dosis de reactivos.

En la **desinfección:** La efectividad de la desinfección disminuye a altas temperaturas ya que la reacción es más rápida y el cloro se consume más rápido, por lo tanto se requiere de mayores tiempos de contacto o incrementar las dosis de cloro. A bajas temperaturas permanece más el cloro a lo largo de la red.

**Sólidos:** Cantidad de materia que se encuentra presente en el agua y permite evaluar el proceso apropiado para su tratamiento y reuso.

**Sólidos suspendidos volátiles:** sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, capaces de volatilizarse por efecto de la calcinación a 832K (550° C) en un tiempo de 15 a 20 minutos.

En aguas residuales y lodos, se acostumbra efectuar esta determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente.

**Sólidos sedimentables:** la denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán por acción de la gravedad.

La importancia de esta determinación radica en el uso para verificar la eficiencia de los sedimentadores, así como el efecto que producen en los organismos que viven en el fondo de los cuerpos de agua pues puede formarse una capa que cubra el fondo e impida la respiración y actividad de los organismos.

El exceso de sólidos en el agua crea problemas tales como:

- Asolvamiento en las líneas del drenaje, canales del desagüe y depósitos.
- Causan incrustaciones en las líneas de conducción.
- La importancia principal de esta propiedad es en el diseño y operación de plantas de tratamiento ya sean potabilizadoras o de aguas negras.

**Conductividad:** Es una medida de la habilidad de una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Se utiliza para conocer el grado de mineralización del agua.

Las soluciones que contienen una mayor cantidad de sales son relativamente buenas conductoras.

Un efecto inverso sucede con las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en solución acuosa.

La conductividad se utiliza para:

Conocer el grado de mineralización del agua para evaluar el efecto de la concentración total de los iones en plantas o animales y tuberías de conducción que pueden provocar incrustaciones.

Evaluar las variaciones en la concentración de minerales disueltos del agua cruda y residual.

Estimar el total de sólidos disueltos (mg/l) en una muestra multiplicando la conductividad (umho/cm) por un factor empírico. Este factor puede variar de 0.55 a 0.9, dependiendo de los componentes solubles del agua y de la temperatura.

**Alcalinidad:** Es la capacidad para neutralizar ácidos. La alcalinidad se debe a los componentes de bicarbonato, carbonato o hidróxido del agua natural o tratada.

En la mayoría de las aguas naturales el valor de pH es menor a 8.3 y la alcalinidad total es causada en su mayoría por los iones bicarbonato.

Es importante la determinación de la alcalinidad en el tratamiento de agua cruda para calcular las dosis de reactivos necesarios en los procesos de coagulación y ablandamiento.

Los problemas causados por los componentes alcalinos disueltos en las aguas son generalmente de tipo industrial, ya que producen incrustaciones en los equipos.

**Dureza:** Es la suma de las concentraciones de calcio (Ca) y magnesio (Mg), expresados como carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) en miligramos por litro.

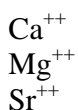
Como aguas duras se consideran aquellas aguas que requiere de cantidades considerables de jabón para producir espuma y ocasionan **incrustaciones en las tuberías** de calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse de la siguiente manera:

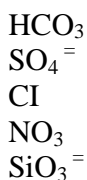
0 – 75 mg/I	Blanda
75 – 150 mg/I	Moderadamente dura
150 – 300 mg/I	Dura
> 300 mg/I	Muy dura

Los principales cationes que causan la dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son los siguientes:

Cationes que causan dureza



Aniones



Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas, sin embargo las aguas duras requieren demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado.

El valor de la dureza determina su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento.

En la mayoría de las aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones de calcio y magnesio es decir:

$$\text{Dureza total} = \text{dureza por Ca} + \text{dureza por Mg}$$

La distinción anterior es importante para el cálculo de las dosis de cal y soda Ash usada en la precipitación de la dureza con estos materiales.

**Oxígeno disuelto:** Es la concentración de oxígeno libre que se encuentra presente en el agua, dependiendo dicha concentración de la temperatura, presión, salinidad y otros parámetros.

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en el agua dependen de las actividades físicas, químicas y bioquímicas en el cuerpo de agua.

La reducción del oxígeno libre en el agua ocasiona que la fauna y flora acuática mueran.

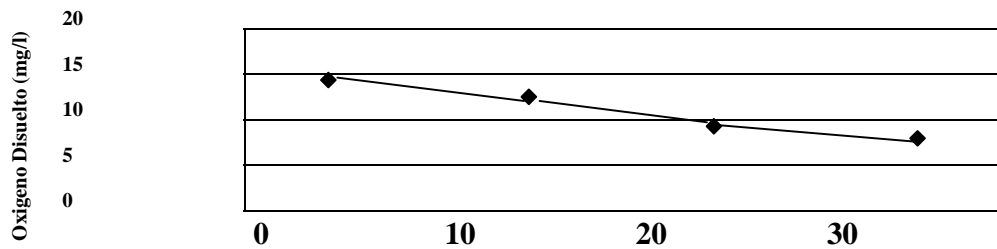


Las bacterias que requieren oxígeno para realizar la descomposición desaparecen y aparecen las anaerobias que no lo requieren produciéndose contaminantes nocivos como el metano, amoniaco y ácido sulfhídrico.

El oxígeno es un factor importante en la corrosión del hierro y acero, particularmente en los sistemas de distribución.

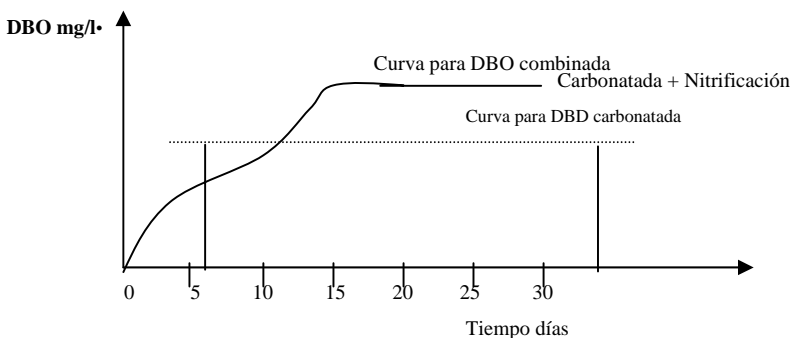
El escaso oxígeno en el agua se debe a su baja solubilidad y se ve afectado directamente por la temperatura. Fig 2.3

**F**



**fig. 2.3 Concentración de oxígeno disuelto en agua**

**Demanda bioquímica de oxígeno:** Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20° C.



**Figura 2.4 curva típica de dbo.**

**La demanda bioquímica de oxígeno** es la medida de la cantidad de materia orgánica degradable por la vía biológica que existe en un desecho.

Mientras mayor sea la cantidad de materia orgánica biodegradable presente mayor será la cantidad de oxígeno requerido para descomponerla, valores elevados de DBO representan aguas contaminadas con elevadas cantidades de materia orgánica.

La prueba en el laboratorio tarda 5 días para tener resultados, ya que la oxidación bioquímica es un proceso que teóricamente toma tiempo infinito para efectuarse completamente, en un período de 5 días, la oxidación de la materia orgánica en aguas residuales domésticas se sitúa entre el 60 y 70 % mientras que para 20 días, este valor corresponde a cerca del 95 a 99 % de degradación. Por lo anterior para no tomar mucho tiempo en la determinación se considera la prueba de la DBO en 5 días.

El agua potable tiene una DBO de 0.75 ppm de oxígeno y se considera que el agua está contaminada si la DBO es mayor de 5 ppm.

El problema más importante de las aguas residuales con valores elevados de DBO en cuerpos de aguas naturales es que **causan la disminución o el agotamiento del oxígeno disuelto en el cuerpo de agua**, lo cual tiene fuertes efectos sobre los organismos que habitan en él y sobre las condiciones generales del cuerpo de agua. En las aguas residuales domésticas casi toda la demanda de oxígeno se debe a materiales orgánicos.

Se estima que dependiendo del tipo de descarga de agua residual a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, provenientes de las industrias, de servicios, mantenimiento, automotriz, gasolineras, tintorerías y otros establecimientos, podemos esperar los siguientes rangos estimados para DBO.

**Cuadro 2.5. Intervalos de dbo estimados para diferentes tipos de descargas.**

TIPO DE DESCARGA	DBO5 en mg/I (ESTIMADA)
Desecho Industrial O Concentrado	500 – 5000
Aguas residuales domesticas	100 – 500
Efluentes tratados	20 – 100
Aguas superficiales contaminadas	5 - 20

**Demanda química de oxígeno:** La importancia de este parámetro radica en el interés cuando se trata de caracterizar muestras de corrientes, de cuerpos receptores o de desecho, corresponde a la cantidad de materia orgánica e inorgánica capaz de ser susceptible a la oxidación por un agente químico fuerte.

La importancia de la determinación de este parámetro radica en que permite realizar estudios de corrientes y desechos industriales, así como para el control de plantas de tratamiento ya que es de medición rápida y más reproducible.

Altas concentraciones de DQO, en donde la DBO sea baja indica que existe poca materia orgánica biodegradable y altas concentraciones de materia inorgánica, por lo tanto el efluente puede pertenecer a empresas textiles, industria química, metal mecánica, etc.

El análisis de la DQO se basa en el hecho de que todos los compuestos, con algunas excepciones, pueden ser oxidados por la acción de un agente oxidante fuerte bajo condiciones ácidas.

La determinación de la DQO en una planta de tratamiento se utiliza para calcular la eficiencia del tratamiento. También se usa para conocer la concentración de la carga contaminante que ingresa a diario a la planta de tratamiento, así como para el cálculo de la relación sustrato/microorganismos (F/M).

La determinación de DQO por medio de dicromato de potasio se utiliza ampliamente para establecer la contaminación en materia orgánica de aguas residuales.

### **Informe de pruebas**

A continuación se presenta el muestreo realizado al agua residual considerada para este proyecto.

#### **I.- Descripción de la muestra**

Tipo de muestra: agua residual

Estado físico: líquido

Numero de muestras: 7(6 simples y 1 compuesta)

Volumen aproximado: 18,500 ml

Identificación :agua residual

Fecha de recepción de la muestra en el laboratorio: 2005/03/15

Fecha de realización de análisis: 2005/03/15 al 2005/03/30

#### **II.- Muestreo**

Método y/o norma empleada: NOM-AA-O3-1980

Fecha y hora del muestreo: 2005/03/14

Punto del muestreo: Canal de la Compañía, Av. La Esperanza, el libramiento del ferrocarril (Canal de la Compañía) y el lindero con la escuela primaria, Col. Benito Juárez

#### **III.-Descripción del procedimiento de muestreo**

El muestreo de agua residual fue llevado a cabo por personal técnico el día 14 de marzo del 2005, colectándose una muestra compuesta, que resulta de la mezcla de 6 muestras simples. Se tomaron muestras del canal de la compañía.

## IV.- Equipo utilizado

- 1.- Incubadora 20° C
  - 2.- Incubadora 35° C
  - 3.- Potenciómetro PC-18
  - 4.- Manómetro
  - 5.-Balanza Granataria
  - 6.-Horno de esterilización
  - 7.-Baño Maria para medios de cultivo
  - 8.-Baño Maria para coliformes fecales
  - 9.- Balanza analítica
  - 10.-Bomba de vacío
  - 11.-Destilador
  - 12.-Digestor
- 
- 13.-Equipo soxiet
  - 14.-Estufa horizontal
  - 15.- Generador de hidruro GBC

## VI.- Resultados obtenidos del análisis

Muestra : Agua Residual identificada Canal de la Compañía  
Líquido amarillo con sólidos sedimentables y suspendidos, de olor fétido.

DETERMINACIONES	RESULTADOS	LIMITE	LIMITE DE DETECCIÓN	INCERTIDUMBRE
Demanda bioquímica de oxígeno	60 mg/l	60 mg/l	-----	-----
Sólidos sedimentables	2.0 ml/l	2.0 ml/l	-----	-----
Grasas y aceites(promedio)	25.32 mg /l	No especificado	-----	-----
Nitrógeno total	44.38 mg/l	25 mg/l	-----	-----
Fósforo total	2.97 mg/l	10 mg/l	-----	0.00245 mg/l
Sólidos suspendidos totales	40.03 mg/l	60 mg/l	-----	-----
Arsénico total	0.0107 mg/l	0.2 mg/l	-----	0.0032 mg/l
Cadmio total	N.D.	0.2 mg/l	0.04 mg/l	0.0274 mg/l
Cianuro total	N.D.	2.0 mg/l	0.0024 mg/l	0.00248 mg/l
Cobre	N.D.	6.0 mg/l	0.25 mg/l	0.0010 mg/l
Cromato total	0.11 mg/l	1.0 mg/l	-----	0.0007 mg/l
Mercurio total	N.D.	0.01 mg/l	0.041 mg/l	0.0070 mg/l
Niquel total	N.D.	4.0 mg/l	0.35 mg/l	0.0048 mg/l
Plomo total	N.D.	0.4 mg/l	0.2 mg/l	0.0074 mg/l
Zinc total	0.069 mg/l	20 mg/l	-----	0.0073 mg/l
pH	7.63	No especificado	-----	-----
Temperatura	21.37 °C	40° C	-----	-----
Huevos de helminto	0 huevos / litro	5 huevos / litro	-----	-----
Organismos coliformes fecales M1	28 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	-----	-----
Organismos coliformes fecales M2	28 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	-----	-----
Organismos coliformes fecales M3	28 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	-----	-----
Organismos coliformes fecales M4	28 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	-----	-----
Organismos coliformes fecales M5	28 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	-----	-----
Organismos coliformes fecales M6	28 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	-----	-----
Grasas y aceites M1	28.72	25 mg/l	-----	-----
Grasas y aceites M2	29.00	25 mg/l	-----	-----
Grasas y aceites M3	22.85	25 mg/l	-----	-----
Grasas y aceites M4	22.33	25 mg/l	-----	-----
Grasas y aceites M5	34.16	25 mg/l	-----	-----
Grasas y aceites M6	32.86	25 mg/l	-----	-----

Los limites son tomados de la NOM-001-SEMARNAT-1996

## 2.7.- GASTOS DE DISEÑO

En este capítulo se presentan los cálculos correspondientes al diseño del tratamiento preliminar o pretratamiento.

### CONDICIONES DE DISEÑO

- **GASTO MEDIO:**

$$Q_m = 30 \text{ l/s}$$

- **GASTO MINIMO**

El gasto mínimo se calcula con la ecuación:

$$Q_{\text{mín}} = 0.5 \times Q_{\text{med}}$$

$$Q_{\text{mín}} = 0.5 \times 30 = 15 \text{ l/s}$$

- **GASTO MÁXIMO INSTANTÁNEO**

El gasto máximo ordinario se calcula considerando el coeficiente de mayoración; para este caso se empleo la formula, propuesta por Harmon.

$$n = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{p}}$$

Donde p es la población de proyecto en miles de habitantes.

$$Q_{\text{max. Inst.}} = M \times Q_{\text{med}}$$

Donde  $M = 3$

$$Q_{\text{max. Inst.}} = 3 \times 30 = 90 \text{ l/s}$$

- **GASTO MAXIMO EXTRAORDINARIO**

El gasto máximo extraordinario se calcula con la siguiente expresión

$$Q_{\text{máx. Ext.}} = 1.5 \times Q_{\text{máx. Inst}}$$

donde 1.5 es el coeficiente de previsión que toma en cuenta la posibilidad de ingreso de agua pluvial a la red de alcantarillado sanitario.

$$Q_{\text{máx. Ext.}} = 1.5 \times 90 = 135 \text{ l/s}$$

## **RESUMEN DE CAUDALES**

$$Q_{\text{mín}} = 15 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{med}} = 30 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{máx. Inst.}} = 90 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{máx. Ext.}} = 135 \text{ l/s}$$

### CAPITULO III ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO

#### 3.1.- DIAGRAMAS DE FLUJO PROPUESTOS

En virtud de que las aguas residuales tienen diversos contaminantes se requiere una variedad de procesos unitarios de tratamiento para separar los diversos contaminantes que con seguridad se encontrarán.

En las figuras 3.1 a 3.6 se presentan los diagramas de flujo de las alternativas que se consideraron para el tratamiento de las aguas residuales.

##### 3.1.1 ESTANQUES AEROBIOS NATURALES

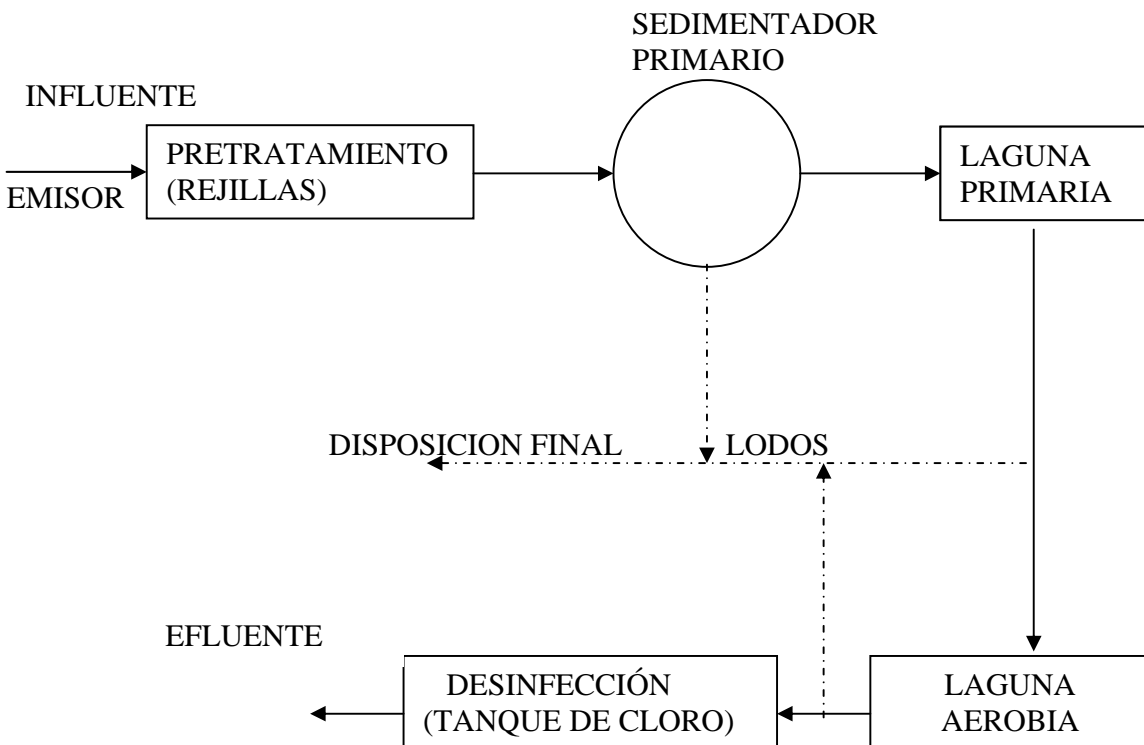


FIG. 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE ESTANQUES AEROBIOS NATURALES



### 3.1.2 LAGUNA FACULTATIVA

#### Tren de tratamiento:

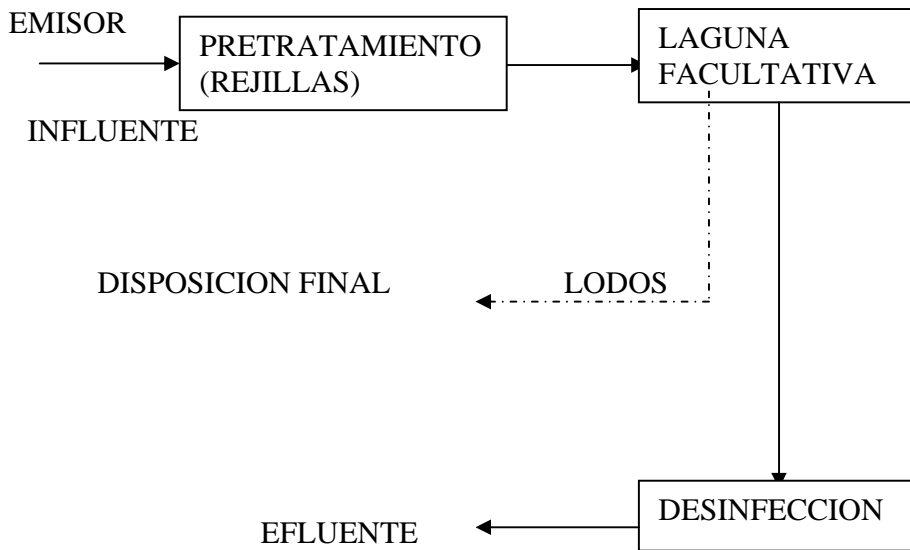


FIG. 3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAGUNA FACULTATIVA

### 3.1.3 LAGUNA ANAEROBIA-LAGUNA FACULTATIVA

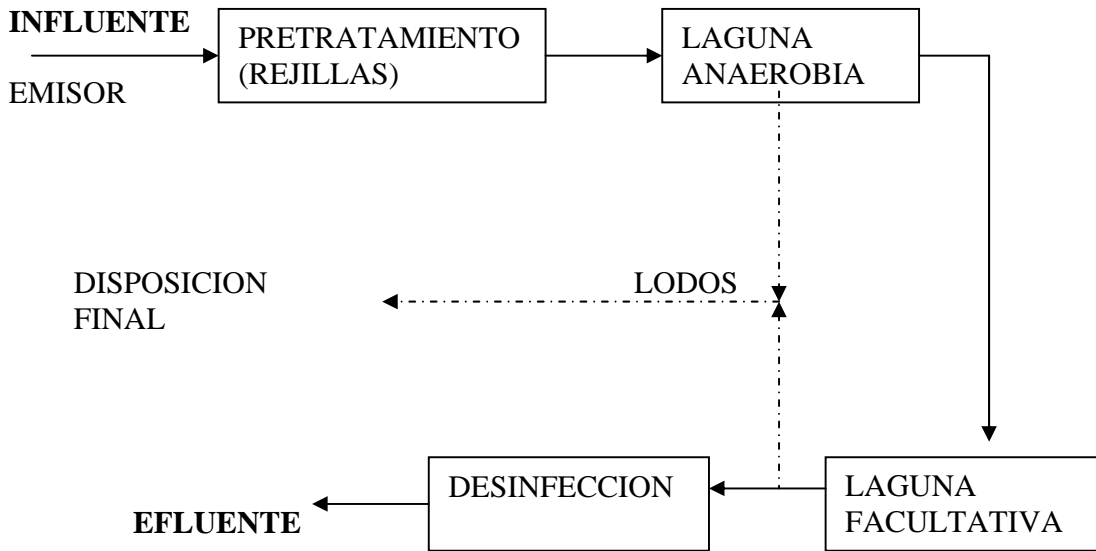


FIG. 3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAGUNA ANAEROBIA-LAGUNA FACULTATIVA

### 3.1.4 ZANJAS DE OXIDACIÓN O AERACION PROLONGADA

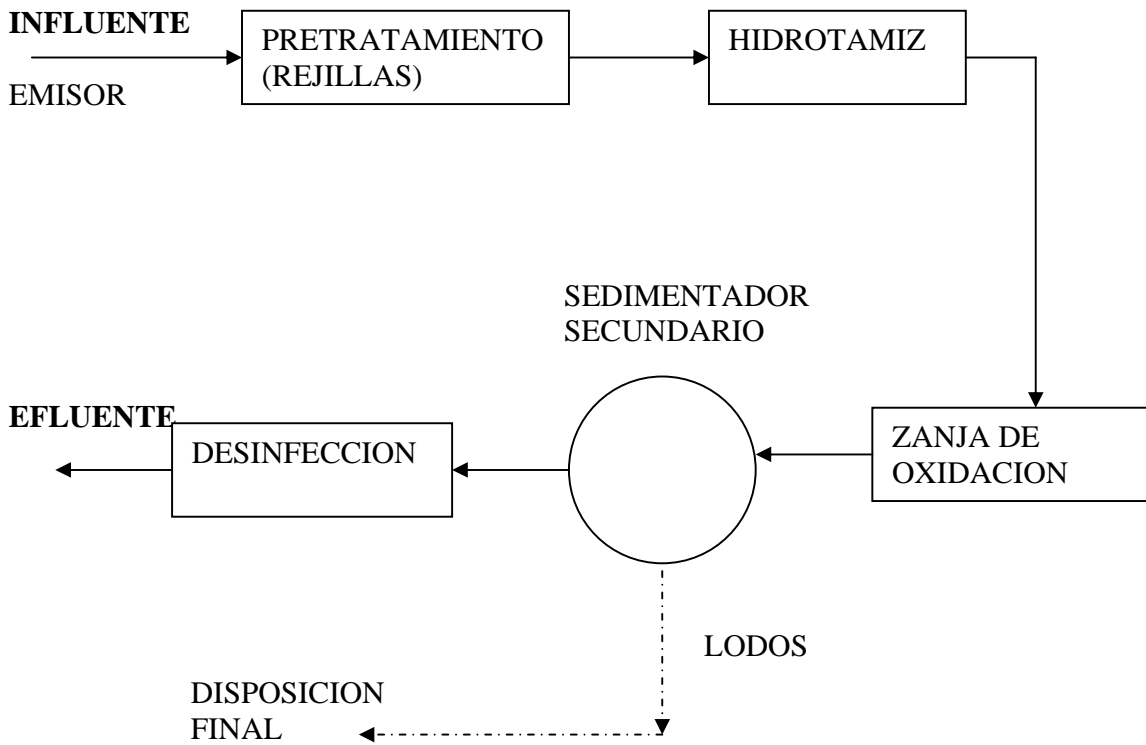


FIG. 3.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE ZANJAS DE OXIDACIÓN O AERACION PROLONGADA

### 3.1.5 LODOS ACTIVADOS

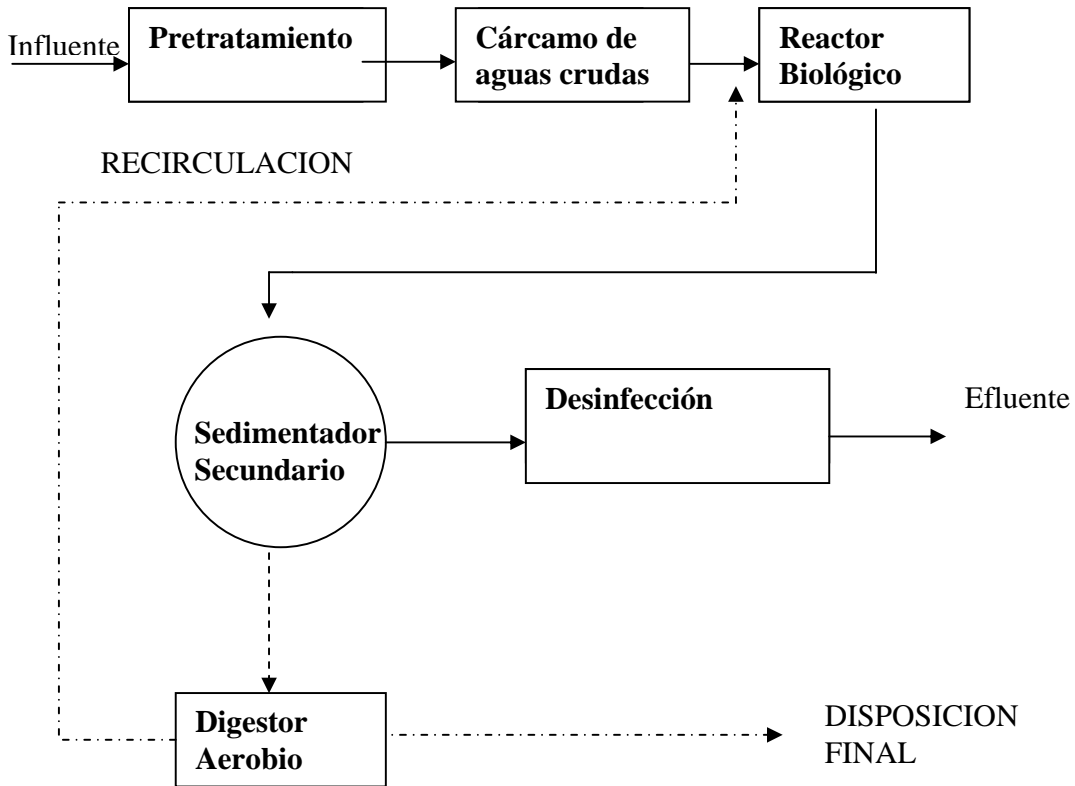


FIG. 3.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE LODOS ACTIVADOS

### 3.1.6 LAGUNAS ANAEROBIAS- ZANJAS DE OXIDACIÓN

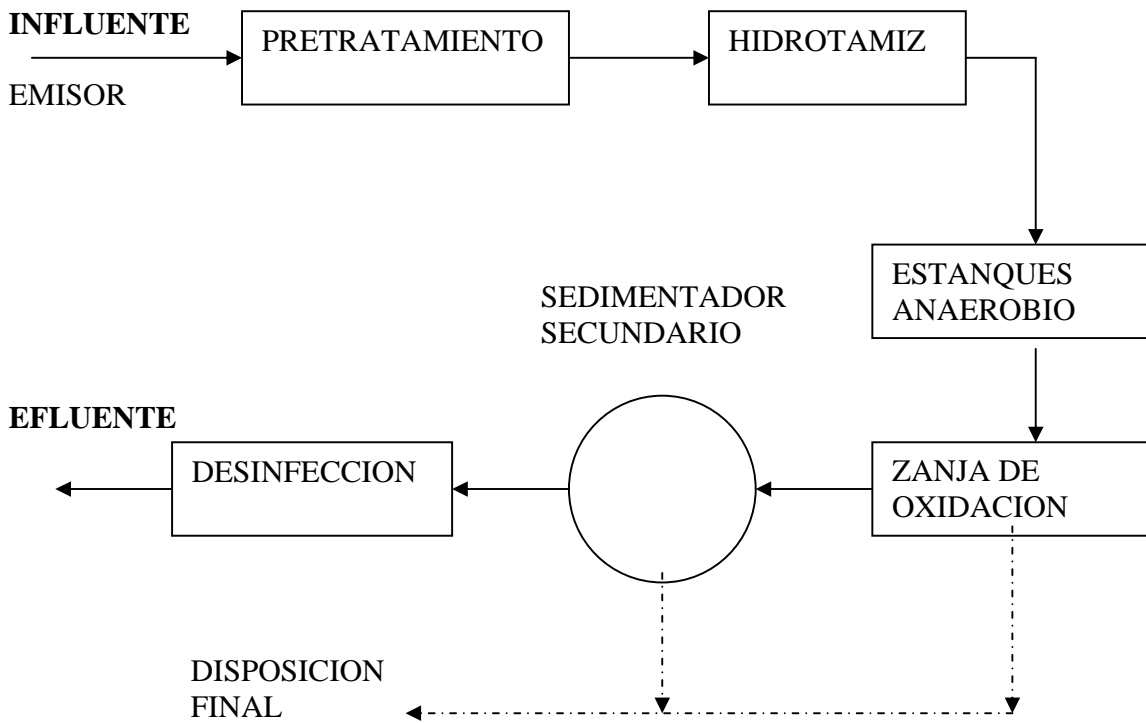


FIG. 3.6 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAGUNAS ANAEROBIAS-ZANJAS DE OXIDACIÓN

### **3.2.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.**

Con el objeto de definir el proceso más conveniente para tratar las aguas residuales, se revisaron los planteamientos de las alternativas factibles a fin de evaluarlas desde el punto de vista técnico, funcional y económico.

Se analizaron las seis alternativas para el tratamiento del agua residual, que se indican a continuación:

- 1.- Estanques aerobios
- 2.- Laguna facultativa
- 3.- Lagunas anaerobia – lagunas facultativa
- 4.- Zanjas de oxidación o aireación prolongada
- 5.-Lodos activados
- 6.- Laguna anaerobia – zanjas de oxidación

La descripción de cada uno de estos procesos se presenta a continuación.

### 3.2.1 Estanques Aerobios Naturales

La principal ventaja de este tipo de procesos es que no requiere de equipo mecánico para el suministro de oxígeno, ya que éste es provisto a través de algas, vía fotosíntesis y por la aereación superficial propiciada por el oxígeno disponible en el medio. Los estanques aerobios se caracterizan por ser poco profundos (1 a 1.5m), lo cual lo permite el desarrollo de los microorganismos que degradan de manera natural la materia orgánica contaminante.

La principal desventaja, es el área requerida, ya que en general este tipo de procesos demanda grandes extensiones de terreno.

La eficiencia de remoción de DBO en los estanques aerobios es de 80 a 95%. Los SST en el efluente son de 80 a 140 mg/l, por lo que se requiere de un pulimento, el cual generalmente es una laguna de maduración (laguna aerobia) con igual profundidad que la aerobia convencional pero con cargas de contaminantes menores.

El tren de tratamiento de agua es el siguiente:

- 1.- Pretratamiento (Rejillas)
- 2.- Sedimentador primario
- 3.- Lagunas aerobias
- 4.- Lagunas de maduración
- 5.- Desinfección

### 3.2.2- Laguna Facultativa

Este tipo de lagunas es indiscutiblemente el más empleado a nivel mundial(en el contexto de estanques y lagunas) ya que al igual que los estanques aerobios, no requiere de equipo mecánico.

Las lagunas facultativas son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno a bajo costo y cuando la calidad requerida para el efluente no es muy estricta.

La principal característica de las lagunas facultativas es la simbiosis entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los lodos sedimentados en el fondo de la laguna.

El principal problema de este tipo de procesos es la producción de algas en el efluente, lo que se refleja en un exceso de SST los cuales pueden superar a los requerimiento en la descarga

El tren para tratamiento de agua quedaría constituido por:

- 1.- Pretratamiento (cribas y desarenador).
- 2.- Lagunas facultativas.
- 3.- Desinfección con cloro.

Los lodos separados del fondo ya están digeridos y espesados, por lo que solamente se requiere su extracción y deshidratación para su disposición final.



### 3.2.3 Zanjas de Oxidación o Aireación Prolongada

Este proceso, al que se conoce también por oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activados. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional de lodos activados, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia porque el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activados.

Existen cuatro características básicas que distinguen la aireación extendida del proceso convencional de lodos activados:

- Mayor tiempo de retención en el reactor
- Cargas orgánicas menores
- Mayores concentraciones de sólidos biológicos en el reactor
- Mayor consumo de oxígeno

La principal ventaja de este proceso es que no se requiere de digestión de los lodos lo que facilita la operación y mantenimiento de la planta. Cabe señalar que es posible omitir la sedimentación primaria.

El tren para tratamiento propuesto es el siguiente:

- 1.- Pretratamiento (cribas y desarenador)
- 2.- Hidrotamices estáticos o dinámicos (mecánicos)
- 3.- Zanja de oxidación
- 4.- Sedimentador secundario
- 5.- Desinfección

Los lodos separados del fondo del sedimentador requieren solamente de deshidratación, la cual puede realizarse a través de equipo mecánico y uso de polímero o lechos de secado.

Los lechos tienen que estar cubiertos para evitar la inundación de los mismos durante la época de lluvia.

### 3.2.4 Lodos Activados

El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo, de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación enérgica durante un periodo de tiempo relativamente corto, se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

El proceso de lodos activados se ha desarrollado como una operación continua mediante el reciclado biológico.

El lodo producido requiere digestión ya que presenta características biológicas indeseables. Esta propuesta considera la construcción de un digestor aerobio.

El tren para tratamiento de agua es el siguiente:

- 1.- Pretratamiento (cribas y desarenador)
- 2.- Tanque de aireación
- 3.- Sedimentador Secundario
- 4.- Desinfección

El tren para tratamiento de lodos está constituido por:

- 1.- Digestión aerobia
- 2.- Deshidratación

### **3.3.- TREN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SELECCIONADO**

Se considera que el sistema bajo el concepto de lodos activados en su modalidad convencional (alternativa 3.2.4) es la alternativa mejor y más factible, para el caso del Tratamiento de las Aguas Residuales de Cd. Nezahualcóyotl, Edo. De México.

Este proceso se seleccionó con base en las siguientes razones:

- Bajos requerimientos de terreno que hacen factible su construcción en un medio urbano.
- Elevadas eficiencias de remoción de contaminantes.
- Se logra nitrificación prácticamente total
- No genera malos olores
- No se requiere de un proceso de pulimento para cumplir con la calidad requerida
- Los requerimientos de mantenimiento son mínimos

Este proceso consume 3.4 % más energía eléctrica que la alternativa de más bajo consumo (anaerobia – zanja de oxidación) entre las tres de menor inversión, que las ventajas indicadas compensan con amplio margen.

## CAPITULO IV DISEÑO DEL SUBSISTEMA PRIMARIO

### 4.1.- DISEÑO DE CANAL DESARENADOR

Se construirán dos canales para tener siempre uno en operación y otro en mantenimiento.

#### 4.1.1.- Criterios de diseño:

- Número de canales = 2
- $Q = V * A$
- $V = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2}$
- Rango de velocidad  
 $0.30 \text{ m/s} < V < 0.70 \text{ m/s}$
- $Q = V * A$
- Rugosidad del concreto (n= 0.013)
- $\phi_{\text{partícula}} = 0.21 \text{ mm}$
- Gravedad específica G.E = 2.65
- Carga superficial C.S. =  $0.022 \text{ m}^3/\text{m}^2*\text{s}$
- Sección : Rectangular
- Ancho del canal b = 0.60 m
- No. De canales: 2 canales; 1 en operación y 1 en reserva
- Velocidad del flujo: 0.30 m/s
- Tiempo de retención: 45 a 90 s Valor típico: 60 s
- Qmáx. :  $0.135 \text{ m}^3/\text{s}$

### 4.1.2 Diseño del canal

#### 1) Área Hidráulica

- $Q = V * A$
- $V = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2}$

$$A = \frac{Q_{\max}}{V}$$

Donde:

$Q_{\max}$ : es el gasto máximo en  $m^3/s$

V: velocidad en m/s

A: es el área hidráulica del canal en  $m^2$

Se realizará el cálculo a partir del gasto máximo extraordinario

$$A = \frac{0.135 m^3 / s}{0.30 m / s} = 0.45 m^2$$

#### 2) Tirante hidráulico

Proponiendo un ancho de canal de 0.6 m

$$b = 0.6 \text{ m}$$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{0.45}{0.60} = 0.75 m$$

Donde:

A: área hidráulica del canal en  $m^2$

b: ancho del canal en m

h: tirante hidráulico en m

### 3) Pendiente hidráulica

Donde:

R: radio hidráulico en m

A: área del canal en m<sup>2</sup>

P: Perímetro mojado en m

S: Pendiente hidráulica

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.45}{0.60 + 2(0.75)} = 0.21m$$

$$S = \left( \frac{V * n}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{0.30 * 0.013}{0.21^{2/3}} \right)^2$$

$$S = 0.122 \text{ _milesimas}$$

### 4) Tirante y velocidad

Verificando con los demás gastos, se tiene:

$$Q_{\text{mín}} = 0.015 \text{ m}^3/\text{s} \quad \Rightarrow \quad Y_{\text{mín}} = 0.14 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad 0.17 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{med}} = 0.030 \text{ m}^3/\text{s} \quad \Rightarrow \quad Y_{\text{med}} = 0.22 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad 0.21 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{max. Inst}} = 0.090 \text{ m}^3/\text{s} \quad \Rightarrow \quad Y_{\text{max}} = 0.53 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad 0.28 \text{ m/s}$$

### 5) Área Superficial

$$As = \frac{Q_{\max}}{C.S.}$$

Donde:

$Q_{\max}$ : Gasto máximo en  $m^3/s$

C.S : Carga Superficial en  $m^3/m^2 * s$

$$As = \frac{Q_{\max}}{C.S} = \frac{0.135m^3 / s}{0.022m^3 / m^2 * s} = 6.14m^2$$

$$As = 6.14 m^2$$

### 6) Longitud del canal

$$As = b * L$$

Donde:

As: área superficial en  $m^2$

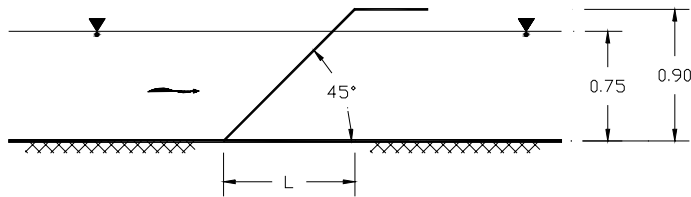
b: ancho del canal en m

l: longitud en m

$$L = \frac{As}{b} = \frac{6.14m^2}{0.60m} = 10.23m$$

**7) Longitud horizontal de las rejillas**

$$L = \frac{h}{\operatorname{tg}\theta} = \frac{0.90}{\operatorname{tg}45^\circ} = 0.90\text{m}$$



Se prolongara 50 cm de piso de rejilla para el escurrimiento del material rastrillado.

$$\text{Long. real} = 0.90 + 0.50 = 1.40 \text{ m}$$

**8) Longitud total del canal**

$$L_t = 10.23 + 1.40 = 11.80 \text{ m}$$

$$L_t = 12.00 \text{ m}$$

**9) Tiempo de retención**

$$tr = L * b * h * \frac{1}{Q}$$

Donde:

L: longitud del canal en m

tr: tiempo de retención en s

b: ancho del canal en m

Q: gasto en m<sup>3</sup>/s

$$tr = 12 * 0.6 * 0.75 * \frac{1}{0.135}$$

$$tr = 40 \text{ s.} \quad \text{Está en el rango}$$



### 10) Profundidad en la caja de acumulación de arenas

Datos de proyecto:

Rango: 0.0037 ----- 0.20 m<sup>3</sup> arena / 1000 m<sup>3</sup> agua

Valor típico: 0.015 m<sup>3</sup> arena / 1000 m<sup>3</sup> agua

$$V = \frac{Q}{10^3} a = \frac{0.135 * 86400}{10^3} (0.015) = 0.175 m^3$$

Donde:

V: volumen m<sup>3</sup>

Q: gasto máximo en m<sup>3</sup>/día

a: en m<sup>3</sup> arena / 1000 m<sup>3</sup> agua

$$V = 0.175 \text{ m}^3 \text{ arena /día}$$

Considerando que la limpieza es semanal

$$V_{\text{arena}} = 0.175 \text{ m}^3 \text{ arena /día} * 7 \text{ día / semana} = 1.22 \text{ m}^3 \text{ arena /semana}$$

Calculando la altura

$$V = b * h * L \text{ m}^3$$

V: volumen en m<sup>3</sup>

b: ancho en m

h: altura en m

l: longitud del canal

$$h = \frac{V}{b * L} = \frac{1.22}{0.6 * 12} = 0.17 m$$

$$h = 0.20 \text{ m}$$

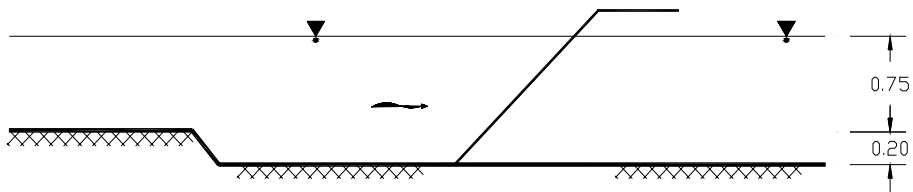
### 10) Bordo libre

Bordo libre = 0.15 m

Tirante máximo = 0.75 m

Tirante de arena = 0.20 m

Profundidad total del canal = 1.10 m



El propósito de estos canales es:

- Proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste.
- Reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducción.
- Reducción de la frecuencia de limpieza de digestores provocada por la excesiva acumulación de arenas.

#### 4.4.2.- DISEÑO DE LAS REJILLAS PARA RETENCION DE SÓLIDOS GRUESOS

##### DATOS:

- ✓ Número de unidades: 1 en operación y 1 de reserva
- ✓ Operación: manual
- ✓ Velocidad de aproximación: 0.60 m/s
- ✓ Angulo de inclinación: 45°

#### 4.2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA REJILLA

- Tipo: Barras metálicas verticales
- (c) Espacio entre barras: 25.4 mm (1")
- (e) Espesor de barras: 12.7 mm (1/2")
- (a) Ancho de barras: 25.4 mm (1")
- (β) Factor de forma de la barra: 1.83

##### 1) AREA TRANSVERSAL

$$A_{tr} = \frac{Q}{V} = \frac{0.135 m^3 / s}{0.6 m^3} = 0.225 m^2$$

Donde:

A<sub>tr</sub>: área transversal en m<sup>2</sup>

Q: Gasto Máximo en m<sup>3</sup>/s

V: velocidad de aproximación en m<sup>3</sup>/s

**2) TIRANTE HIDRÁULICO**

$$h = 0.75m$$

**3) ANCHO DEL CANAL**

$$b = 0.60 \text{ m}$$

**4) LONGITUD DE LA REJILLA**

$$L = \frac{0.90}{\text{Sen}(45)} = 1.27m$$

**5) NUMERO DE BARRAS**

$$Nb = \left( \frac{b + e}{c + e} \right) - 1$$

Donde:

Nb: número de barras

b: ancho del canal

e: Espesor de las barras

c: claro entre barras

$$Nb = \left( \frac{0.6 + 0.0127}{0.0254 + 0.0127} \right) - 1$$

$$Nb = 15 \text{ barras}$$

**6) VELOCIDAD A TRAVÉS DE LA REJA**

$$V = \frac{Q}{h(b - Nb * e)}$$

$$V = \frac{0.135}{0.75(0.60 - 15(0.0127))} = 0.43m/s$$

Donde:

V: velocidad a través de la reja

Q: gasto en m<sup>3</sup>/s

h: tirante en m

Nb: número de barras

e: espesor de las barras en m

**7) PÉRDIDAS DE CARGA EN LA REJILLA**

$$h = \frac{V^2 - v^2}{2g} \left( \frac{1}{0.7} \right)$$

DONDE:

h: pérdida de energía (m)

V: velocidad del agua a través de la rejilla

v: velocidad de agua arriba de la rejilla

$$h = \frac{(1.2)^2 - (0.6)^2}{2(9.81)} \frac{1}{0.7} = 0.078m < 0.15m$$

**RESUMEN:**

<b>15 BARRAS DE 1/2" @ 1/2" =</b>	<b>19.05 cm</b>
<b>14 ESPACIOS DE 1" @ 2.54 cm =</b>	<b>35.56 cm</b>
<b>2 ESPACIOS LATERALES DE 1.69 cm =</b>	<b>3.38 cm</b>
<b>HOLGURA DE CADA LADO DE 1 cm =</b>	<b>2.00 cm</b>

Se construirá 2 canales desarenadores de 0.6 m de ancho por 1.10 m de altura útil del canal y longitud total será de 12.0 m.

<b>No de Canales :</b>	<b>2</b>
<b>Ancho del canal:</b>	<b>0.60 m</b>
<b>Altura útil:</b>	<b>1.10 m</b>
<b>Longitud total:</b>	<b>12.0 m</b>

**4.3.- DISEÑO DEL VERTEDEDOR PROPORCIONAL (SUTRO)****CRESTA DEL VERTEDEDOR**

El vertedor se instalará en el extremo aguas abajo hacia la descarga al cárcamo de bombeo de la planta de tratamiento de agua residual. La altura de la cresta sobre el piso del canal, corresponde a la profundidad de 20 cm para la acumulación de arenas.

**TIRANTE MÁXIMO**

Se calculará el vertedor para el tirante máximo de 75 cm ( no incluye los 20 cm para acumulación de arenas limitadas por la cresta del vertedor).

**ANCHO DE LA BASE DEL VERTEDEDOR**

Se propone una altura de 3 cm para el corte recto vertical que marca el inicio de ambos lados curvos.

Se utilizará la ecuación para vertedores proporcionales SUTRO ( Watter Pollution Central Federation, 1991, pag 141.)

**CRITERIO DE DISEÑO**

$$Q = 2 * b * \left( h + \frac{2}{3} a \right) * \sqrt{2ag}$$

Donde:

a: altura del corte recto en ambos lados, m

b: un medio de la base del vertedor, m

g: 9.81 m/s

h: carga hidráulica medida a partir de donde se inician lados curvos. Por lo tanto la carga hidráulica sobre la cresta será  $h + a$ , m

Q: descarga total a través del vertedor proporcional SUTRO, m<sup>3</sup>/s

**CARGA HIDRÁULICA PARA Q<sub>máx</sub>**

Se propone a = 3 cm

h = Tirante máximo - a

h = 75 cm - 3 cm = 72 cm

**ANCHO**

$$b = \frac{Q}{2 \left( h + \frac{2}{3} a \right) \sqrt{2ag}}$$

$$b = \frac{0.135}{2 \left( 0.72 + \frac{2}{3} (0.03) \right) \sqrt{2(0.03)(9.81)}} = 0.1189m$$

$$b = 0.1189 * 2 = 0.237m$$

Ancho total de la base del vertedor proporcional

$$b = 0.2378$$

**PERFIL DEL VERTEDOR**

Para localizar los puntos que definirán los lados curvos

$$X = b \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{\frac{y}{a}} \right]$$

DONDE:

X: Distancia desde el eje de simetría hasta el punto en el borde curvo, localizado a una altura “y” medida a partir de donde se inician los lados curvos.

$$\operatorname{tg}^{-1} \sqrt{\frac{y}{a}} : \text{ en } \pi \text{ radianes } \sqrt{\frac{y}{a} * \frac{\pi}{180}} .$$

- a) Para  $Q_{\max} = 135$  l/s; el tirante de agua será de 72 cm porque fue la condición para obtener  $b = 0.1189$  m. Se tiene que el valor de “y” será igual a 72 cm

$$Y = h \quad \text{para } h = h_{\max} = 72 \text{ cm} \quad y = 72 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la ecuación

$$X = 0.1189 \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{\frac{0.72}{0.03} * \frac{\pi}{180}} \right]$$

$X = 0.01524$  m      Correspondiente a un medio del ancho de la base superior del vertedor proporcional.



b) Velocidad (v) para canal sin arena (Tirante de agua = 72 cm y  $Q = Q_{\text{máx}}$ ) este caso corresponde al inicio de operación después de limpieza.

$$Q = V * A \text{ m}^3/\text{s}$$

A: ancho \* tirante

$$A = 0.60 * 0.72 = 0.432 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.133}{0.432} = 0.3125 \text{ m/s}$$

$$V = 0.3125 \text{ m/s}$$

c) Velocidad para canal con arena.

$$Y_{\text{arena}} = 0.72 + 0.20 = 0.92 \text{ m}$$

$$A_{\text{arena}} = 0.92 \times 0.60 = 0.552 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.135}{0.552} = 0.2446 \text{ m/s}$$

**DISEÑO DEL CARCAMO DE BOMBEO****DATOS:****Q<sub>mín</sub> : 15 l/s****Q<sub>medio</sub> : 30 l/s****Q<sub>máx ord</sub> : 90 l/s****Q<sub>máx. ext</sub> : 135 l/s****1) Volumen del cárcamo**

$$V = \frac{60 * Q_{\max} * t_r}{4 * 1000} \text{ m}^3$$

**Donde:**Q<sub>max</sub> : 135 l/sV:volumen en m<sup>3</sup>

tr: tiempo de retención

Proponiendo un tiempo de almacenamiento de 8 minutos

$$V = \frac{60 * 135 * 8}{4000} = 16.20 \text{ m}^3$$

**2) Área superficial**

$$As = \frac{V}{hu} \text{ m}^2$$

$$As = \frac{16.20}{1.20} = 13.50 \text{ m}^2$$

**3) Ancho del cárcamo**

$$a = \sqrt{13.50} \text{ m}$$

$$a = \sqrt{13.50} = 3.67 \text{ m}$$

**4) Tiempo de retención**

- a) Nivel de paro de bomba. Se localizará a una altura de 0.60 m sobre el piso del cárcamo.
- b) Nivel de arranque de bomba. El nivel de arranque de la bomba se localizará a una altura de 1.90 m sobre el piso del cárcamo.
- c) Volumen de almacenamiento entre niveles de paro y arranque.

$$\text{Altura de agua} = 1.90 \text{ m} - 0.60 \text{ m} = 1.30 \text{ m}$$

Dimensiones superficiales de 3.7 m por lado

$$\text{Volumen} = 3.7 * 3.7 * 1.3 = 17.80 \text{ m}^3$$

d) Tiempo de retención

$$tr = \frac{V}{Q} = \frac{17.80}{0.135} = 2.19 \text{ min} \quad \text{Que será el tiempo mínimo de almacenamiento}$$

$$tr = \frac{V}{Q_{\min}} = \frac{17.80}{0.030} = 593.33 \text{ min} \quad \text{Que será el tiempo máximo}$$

Por tal motivo se recomienda que haya un descanso de por lo menos dos minutos entre paros de las bombas.

## DISEÑO DEL REACTOR BIOLÓGICO (TANQUE DE AIREACIÓN)

El tanque de aireación se diseñaran con las siguientes consideraciones.

Se considerará una modulación de 2 trenes de tratamiento de 15 LPS cada uno.

### DATOS:

Qmin:	15 LPS
Qmed:	30 LPS = 2592 m <sup>3</sup> /día
Qmax inst:	90 LPS
Qmax ext	135 LPS
Tipo:	Aereación Mecanica
Forma:	Rectangular
Número de unidades:	2
Tasa de recirculación:	50 %
DBO <sub>5</sub> influente:	255 mg/l = 0.255 kg/m <sup>3</sup>
DBO <sub>5</sub> efluente:	30 mg/l
Tiempo de retención hidráulica (θ <sub>c</sub> ):	10 d
Coeficiente de respiración (kd):	0.06 d <sup>-1</sup>
Coeficiente de crecimiento ( Y ):	0.6 mg ssv/ mgDBO <sub>5</sub>
Sólidos suspendidos de licor mezclado (SSLM):	3000 mg/l
Sólidos suspendidos volatiles de licor Mezclado (x)	2400 mg/l
Tirante útil:	3.5 m

a) Calculando el volumen del tanque

$$V = \frac{\theta_c * Q * Y * (S_o - S_e)}{X(1 + kd * \theta_c)} \quad m^3$$

$$V = \frac{10(2592)(0.60)(255 - 30)}{2400(1 + 0.06 * 10)} = 911.25 \quad m^3$$

$$V = 911.25 \quad m^3$$

**b) Calculando la relación F/M**

$$F = Q (\text{DBO}_5)$$

$$F = 30 \frac{L}{\text{seg}} * \frac{86400 \text{seg}}{\text{día}} * 255 \frac{mg}{L} * \frac{kg}{10^6} = 660.96 \text{ kg/día}$$

$$F = 660.96 \text{ kg/día}$$

$$M = V * X$$

$$M = 911 m^3 * 1000 \frac{L}{m^3} * 2400 \frac{mg}{L} * \frac{kg}{10^6 mg} = 2186.40 \text{ kg}$$

$$\frac{F}{M} = 0.30 \quad \text{Rango recomendado ( 0.20 - 0.40 )}$$

**c) Carga Volumétrica**

$$C.V = \frac{F}{V}$$

$$C.V = \frac{660.96}{911} = 0.73 \quad \text{Rango recomendado (0.32 - 0.64)}$$

**d) Tiempo de retención hidráulico**

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{911 m^3}{2592 m^3 / \text{día}} = 0.35 d = 8.4 \text{ horas}$$

$$\theta = 8.4 \text{ horas} \quad \text{Rango recomendado ( 4 - 8 hr)}$$

## 5.- DISEÑO DEL SUBSISTEMA SECUNDARIO

### 5.1.- Criterios de diseño

El tanque de aireación se diseñó con las siguientes consideraciones.

La cantidad de  $\text{DBO}_5$  a degradar en un día, por los microorganismos presentes en el tanque de aireación, es un parámetro que se debe respetar para cada tipo de sistema de tratamiento, conocida como carga orgánica (CO).

La concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque aireado, se puede calcular como la fracción que es de los sólidos suspendidos totales ( $300\text{ }^\circ\text{C}$ , SSTLM). Un intervalo de equilibrio, en tanques de aireación, para estos últimos es de 2000 – 3000 mg/l (Metcalf, 1991).

Se considerará una modulación de 2 trenes de tratamiento de 15 l/s cada uno.

#### DATOS:

Qmin:	15 l/s
Qmed:	30 l/s = 2592 m <sup>3</sup> /día
Qmax inst:	90 l/s
Qmax ext	135 l/s
Tipo:	Aereación mecánica
Forma:	Rectangular
Número de unidades:	2
Tasa de recirculación:	50 %
$\text{DBO}_5$ influente:	255 mg/l = 255 kg/m <sup>3</sup>
$\text{DBO}_5$ efluente:	30 mg/l
Tiempo de retención celular ( $\theta_c$ ):	10 d
Coefficiente de respiración endogena (kd):	0.06 d <sup>-1</sup>
Coefficiente de producción bacterial ( Y ):	0.6 mg ssv/ mg $\text{DBO}_5$
Sólidos suspendidos de licor mezclado (SSLM):	3000 mg/l
Sólidos suspendidos volátiles en licor mezclado (x):	2400 mg/l
Tirante útil (hu):	3.5 m

## Nomenclatura:

Qm:	Gasto medio de aguas residuales (m <sup>3</sup> /día)
R:	Recirculación de lodos, (%)
Qr:	Gasto de recirculación (m <sup>3</sup> /día)
θ <sub>c</sub> :	Tiempo de retención celular (d)
θ:	Tiempo de retención hidráulico (hr)
V:	Volumen del reactor (m <sup>3</sup> )
hu:	Tirante hidráulico (m)
As:	Area superficial (m <sup>2</sup> )
L:	Longitud del reactor (m)
X:	Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (mg/l)
Xr:	Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación (mg/l)
F/M:	Relación sustrato / biomasa(kgDBO/kgSSVLM-día)
So:	Demanda bioquímica de oxígeno en el influente (mg/l)
S:	Demanda bioquímica de oxígeno en el efluente, (mg/l)
Qw:	Caudal de purga de lodos (m <sup>3</sup> /día)
Y <sub>obs</sub> :	Producción observada (kg/kg)
Y:	Coeficiente de producción bacteriana (kgSSV/KgDBO)
Px:	Producción de lodos (kg/día)

**5.2.- Diseño del reactor**

a) Cálculo del volumen del tanque

$$V = \frac{\theta_c * Q * Y * (S_o - S_e)}{X(1 + kd * \theta_c)} \quad m^3$$

$$V = \frac{10(2592)(0.60)(255 - 30)}{2400(1 + 0.06 * 10)} = 911.25 \quad m^3$$

$$V = 911.25 \quad m^3$$

Considerando una modulación de dos trenes de tratamiento de 15 l/s cada uno, tenemos:

$$V = 455.625 \quad m^3 \quad \text{por tanque.}$$



**b) Cálculo de la relación F/M**

$$F = Q (\text{DBO}_5)$$

$$F = 30 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{\text{día}} * 255 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{\text{kg}}{10^6} = 660.96 \text{ kg/día}$$

$$F = 660.96 \text{ kg/día}$$

$$M = V * X$$

$$M = 911 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} * 2400 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}} = 2186.40 \text{ kg}$$

$$\frac{F}{M} = 0.30 \quad \text{Rango recomendado ( 0.20 – 0.40 ) } \text{ Referencia Metcalf \& Eddy}$$

**c) Cálculo de la carga Volumétrica**

$$C.V = \frac{F}{V}$$

$$C.V = \frac{660.96}{911} = 0.73 \quad \text{Rango recomendado (0.32 – 0.64) } \text{ Referencia Metcalf \& Eddy}$$

**d) Cálculo del tiempo de retención hidráulico**

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{911 \text{ m}^3}{2592 \text{ m}^3 / \text{día}} = 0.35 \text{ d} = 8.4 \text{ horas}$$

$$\theta = 8.4 \text{ horas} \quad \text{Rango recomendado ( 4 – 8 hr ) } \text{ Referencia Metcalf \& Hedí}$$

**e) Cálculo de las dimensiones del tanque****e.i) Área superficial**

$$As = \frac{V}{hu}$$

Proponiendo un tirante útil de 3.50 m, y recordando que se consideró un una modulación de dos trenes de tratamiento de 15 l/s cada uno.

$$As = \frac{455.625m^3}{3.50m} = 130.18m^2$$

**e.ii) Relación ancho – largo**

**Ancho**

$$A = \sqrt{\frac{As}{2}}$$

$$A = \sqrt{\frac{130.18}{2}} = 8.07 \approx 8.00m$$

**Largo**

$$L = 2 * A$$

$$L = 2 * 8.00 = 16.00m$$

## f) Cálculo de los sólidos suspendidos volátiles en recirculación

$$X_r = \frac{Q_m * X + Q_r * X}{Q_r}$$

$$X_r = \frac{30 * 2400 + 15 * 2400}{15} = 7200 \text{ mg/l}$$

## g) Cálculo de producción de lodos

$$P_X = \frac{Y_{obs} * Q(S_o - S)}{10^3}$$

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d * \theta_c}$$

Calculando

$$Y_{obs} = \frac{0.6}{1 + 0.06 * 10} = 0.375$$

$$P_X = \frac{0.375 * 2592 * (255 - 30)}{10^3} = 218.70 \text{ kg/día}$$

## g) Cálculo de purga de lodos

$$Q_w = \frac{X * V}{\phi_c * X_r}$$

La producción de lodos por día.

$$Q_w = \frac{2400 * 911.25}{10 * 7200} = 30.375 \text{ m}^3 / \text{día}$$

### 5.3.- SISTEMA DE AIREACIÓN

Para la determinación de la potencia necesaria para suministrar el oxígeno suficiente se tomará como base la siguiente consideración:

$$1.1 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

#### Determinación de la cantidad de oxígeno por día

$$\text{kg DBO} / \text{d} = 255 \text{ mg/l} * 30 \text{ lt/s} * 86400 \text{ seg/d} * 1.1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg} = 727.06 \text{ kg DBO/d}$$

#### Requerimientos de oxígeno

$$1.1 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO} * 727.06 \text{ kg DBO/d} = 799.76 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

#### Conversión de la transferencia de oxígeno a condiciones de campo

Debido a que la eficiencia de la transferencia de oxígeno del equipo esta determinada en condiciones normales se debe convertir esta transferencia a condiciones de campo, usando la siguiente relación:

$$N = N_0 \frac{\beta - C_1}{C_s} * (1.024)^{T-20} * \alpha$$

En donde:

N = Transferencia de oxígeno en condiciones de campo

N<sub>0</sub> = Transferencia de oxígeno en condiciones estándar (1.134 kg O<sub>2</sub> / HP\*hr)

β = Saturación relativa (0.95)

α = Factor de corrección por transferencia de oxígeno (0.85)

AFC = Factor de corrección por altitud MSNM (0.809)

T = Temperatura de operación 25 °C

C<sub>w</sub> = Concentración de saturación de oxígeno a 25 °C (8.263mg/l)

C<sub>s</sub> = Concentración de saturación de oxígeno a 20 °C (8.36mg/l)

C<sub>1</sub> = Concentración mínima de oxígeno disuelto (1.50 kg O<sub>2</sub> / kg DBO)

Sustituyendo los datos:

$$N = 1.134 \frac{(0.95 * 8.263) - 1.50}{8.36} (1.024)^{25-20} * 0.85 = 0.82 \frac{kgO_2}{HP * hr}$$

La transferencia de oxigeno por día es de:

$$N = 0.82 \frac{kgO_2}{HP * hr} * 24 \frac{hr}{dia} = 19.68 \frac{kgO_2}{HP * día}$$

### **Potencia requerida para aereación**

Dividiendo los requerimientos de oxígeno entre la transferencia de oxígeno, ambos términos en condiciones de campo se obtiene para las condiciones actuales y de proyecto los requerimientos de potencia para aereación.

$$P = \frac{727.06 \text{ _ } kgO_2}{19.68 \text{ _ } kgO_2 / hp / d} = 36.94 \text{ _ } HP$$

Con este dato se consulta la tabla del fabricante y se obtiene el equipo.

## 5.4.- DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

### 5.4.1.- Datos de diseño.

Gasto Mínimo	15 l/s
Gasto Medio	30 l/s
Gasto Máximo Instantaneo	90 l/s
Gasto Máximo Extraordinario	135 l/s

Tipo:	Gravitacional – mecanizado
Forma:	Circular
Número de unidades:	1
Gasto de diseño (Qm):	30 L/s
Carga hidráulica superficial (CHS):	16-32(m3/m2-dia)
Tiempo de retención (tr):	2 (hr)
Carga sobre el vertedor (CHV):	120-360(m3/m2-dia)
Tirante útil (hu):	3(m)
Bordo libre:	0.5(m)

#### i) Cálculo del volumen del tanque de sedimentación:

$$V = (Q_m + Q_r)(tr) \left( \frac{3600}{1000} \right)$$

$$V = (30 + 15)(2) \left( \frac{3600}{1000} \right) = 324.00 \text{ m}^3$$

$$V = 324.00 \text{ m}^3$$

#### ii) Cálculo del área superficial

$$A_s = \frac{V}{hu} \quad A_s = \frac{324}{3} = 108.00$$

$$A_s = 108.0 \text{ m}^2$$

**iii) Cálculo del diámetro**

$$As = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\phi = 11.72\text{m}$$

Ajustando a la Geometría existente

$$\phi = 12.00\text{m}$$

**iv) Cálculo del área superficial**

$$As = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$As = 113.09 \text{ m}^2$$

**v) Cálculo el volumen**

$$V = As * hu$$

$$V = 339.29 \text{ m}^3$$

**vi) Cálculo del tiempo de retención**

$$Tr = \frac{V * 1000}{(Qm) * 3600}$$

$$Tr = 3.14 \text{ hr}$$

**vii) Cálculo de la carga hidráulica superficial**

$$CHS = \frac{(Qm)(86400)}{(As * 1000)}$$

$$CHS = 22.92 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$$

**viii) Cálculo de la longitud del vertedor**

$$Lv = \Pi \phi$$

$$Lv = 37.69 \text{ m}$$

**ix) Cálculo de carga hidráulica sobre el vertedor**

$$CHS = \frac{(Qm)(86400)}{(Lv * 1000)}$$

$$CHV = 68.77 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

**RESUMEN DE RESULTADOS**

VOLUMEN (V)	339.00m <sup>3</sup>
AREA SUPERFICIAL (As)	113m <sup>2</sup>
CARGA HIDRAULICA SUPERFICIAL(CHS)	22.92m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d
DIAMETRO (D)	12.00m
LONGITUD DE VERTEDORES (Lv)	37.69(m)
CARGA HIDRAULICA SOBRE VERTEDORES	68.77m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d



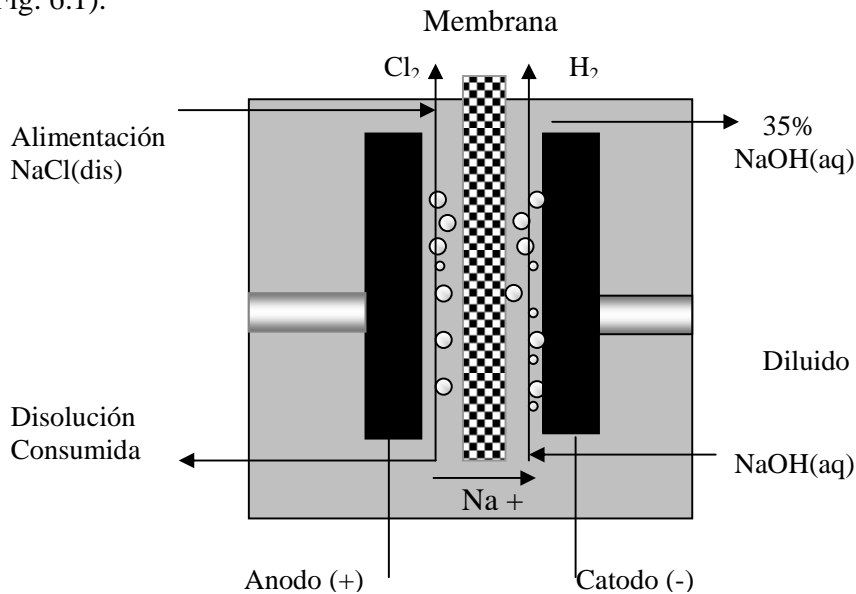
## CAPITULO VI

## DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE

Como sabemos el agua dulce es un recurso natural y escaso que dependiendo de su origen necesita de diferentes tratamientos para su uso y consumo humano y en estas circunstancias sabemos que se ve afectado por diversos contaminantes de tipo municipal, industrial y agrícola, es por esto que es necesario realizar acciones que nos ayuden a preservar la calidad del agua.

## 6.1 Pruebas de cloración.

El cloro, debido a su gran reactividad, nunca se encuentra libre en la naturaleza. Se le puede obtener por medio de una descomposición electrolítica de salmuera de cloruro de sodio (sal común) en agua haciendo pasar corriente eléctrica a través de la solución. En presentación comercial, el cloro puede encontrarse en tres estados diferentes: líquido, gaseoso y sólido. En los dos primeros es cloro puro y en el tercero (hipoclorito) está combinado con calcio o sodio. (Fig. 6.1).



**FIG 6.1 CAMARA DE DESCOMPOSICIÓN DE CLORO.**

En la cámara de ánodo (+) se introduce salmuera (agua salada). La pared intermedia es una membrana que permite pasar el sodio (Na) y al agua (H<sub>2</sub>O) a la cámara del cátodo (-). En la cámara de cátodo se introduce sosa cáustica (hidróxido de sodio), que luego de liberar hidrógeno (H<sub>2</sub>) se extrae por la parte inferior. Los electrodos de la parte superior de la celda, inducen carga eléctrica que separa al cloro en forma de gas de la salmuera. Los gases (liberados por la hidrólisis) de cloro (Cl<sub>2</sub>) y el hidrógeno (H<sub>2</sub>) son captados por la parte superior de las cámaras.

El cloro puro está clasificado como sustancia tóxica y se requiere de estrictos lineamientos de seguridad durante su manejo, transportación y almacenamiento. Se sugiere al operador acatar estos lineamientos y seguir las recomendaciones de seguridad, durante su permanencia en la planta de tratamiento.

A continuación se listan las características del cloro de mayor relevancia.

**Símbolo:** casi siempre actúa como una molécula con 2 átomos de cloro, ligados como  $\text{Cl}_2$

**Número atómico: 17**, con peso atómico de 35.457 y peso molecular ( $\text{Cl}_2$ ) DE 70.914. Los isótopos de cloro  $\text{Cl}^{35}$  y  $\text{Cl}^{37}$  ocurren de forma natural, pero al menos otros cinco han sido producidos de forma artificial. El cloro atómico ordinario es producto de la mezcla de 75.4 % de  $\text{Cl}^{35}$  y 24.6 % de  $\text{Cl}^{37}$ . El cloro forma compuestos univalentes, pero también se combina con valencia de 3, 4, 5 y 7.

**Color:** En estado gaseoso el cloro tiene color amarillo verdoso y en estado líquido su color es ámbar. En concentraciones bajas, adquiere un tono incoloro y solo es perceptible por su olor.

**Olor:** En condiciones normales de presión y temperatura atmosféricas, el cloro es un gas que posee olor irritante, picante, penetrante y sofocante. La presencia del cloro puede ser detectada por el olfato en concentraciones tan bajas como 0.3 partes por millón (ppm). Esta es una concentración extremadamente baja y muy pocas personas pueden percibirlo.

**Volumen:** Es variable; disminuye si la temperatura desciende, y aumenta si la temperatura asciende. El incremento de temperatura también genera alta presión en el interior del recipiente, debido a la gran capacidad de expansión del cloro; ya que 1 volumen de cloro líquido se expande hasta 460 veces en estado gaseoso. El cloro líquido contenido en un cilindro de 60 Kg. ocuparía fácilmente en forma de gas, un cubo de 3.1 m de lado (aproximadamente  $30 \text{ m}^3$ ). Por eso, no deben calentarse los recipientes ni la tubería. Eso los haría estallar, debido a la alta presión de expansión del gas al incrementar su temperatura.

**Densidad (r):** se refiere a la cantidad de masa que tiene un volumen de cloro gaseoso. Normalmente la densidad disminuye si la temperatura asciende, y se incrementa cuando ésta desciende. Con el **volumen** del cloro ocurre a la inversa: cuando se eleva la temperatura, el volumen aumente, y su volumen se reduce cuando la temperatura desciende. La densidad del cloro en estado líquido es de  $r = 91.67 \text{ Ib/ft}^3$  y en estado gaseoso  $r = 0.2006 \text{ Ib/ft}^3$  a 1 atm. y  $0^\circ\text{C}$

**Peso:** El cloro gas es más pesado que el aire, pro eso tiende a asentarse en las áreas bajas. Su gravedad específica es 2.5 respecto al aire, a 1 atm y  $0^\circ\text{C}$ . La gravedad específica del cloro licuado es 1.5 respecto al agua.

El cloro gas es  $2\frac{1}{2}$  veces más pesado que el aire.

El cloro licuado es 1 ½ veces más pesado que el agua

Por lo tanto cualquier escape de cloro, desde algún sistema o contenedor tenderá a buscar los niveles más bajos de los edificios o áreas donde ocurra.

**Compresibilidad:** El cloro tiene el mayor coeficiente de compresibilidad. Tal propiedad se puede ver en el laboratorio cuando se aplica presión al cloro gaseoso.

Al comprimir el gas cloro se origina un líquido color ámbar, que se solidifica a presión atmosférica y temperatura aproximada de 65.5 °C. También a presión atmosférica y a temperatura de 9.61 °C, el gas cloro, en contacto con la humedad, forma una leve capa de hielo denominada hidrato de cloro.

**Calor latente de evaporación.** Se presenta a 68.4 calorías/gramo (123 BTU/lb) al **punto de ebullición.**

**Punto de ebullición:** En estado líquido y a presión atmosférica (760 mm en la escala de mercurio), lo alcanza a -34.05 °C. Al exponer el cloro líquido a la atmósfera, rápidamente se convierte en gas cloro.

**Punto de congelación:** Se presenta a temperaturas tan bajas como -100.98 °C.

**Corrosividad:** cuando se usa acero o cobre para manejar cloro es necesario mantenerlo aislado de la humedad, ya que el cloro en presencia del agua corroe la mayoría de los metales.

**Reactividad:** El cloro es un agente oxidante muy poderoso y reacciona con violencia al contacto con aceites, grasas, otros hidrocarburos y compuestos, como la trementina y el aguarrás. Debido a su alta reactividad como anión (Cl<sup>-</sup>), nunca se encuentra en estado libre, siempre está combinado con otros elementos (cationes), como sodio Na<sup>+</sup> (NaCl), magnesio Mg<sup>++</sup> (MgCl<sub>2</sub>), calcio Ca<sup>++</sup> (CaCl<sub>2</sub>), potasio K<sup>+</sup> (KCl), por mencionar algunos.

**Toxicidad:** Es altamente tóxico para los humanos, ya que es muy irritante por inhalación y afecta al sistema respiratorio.

En concentraciones de aproximadamente 5 ppm, el gas es muy irritante y una persona no puede permanecer en esa atmósfera. En concentraciones cerca del umbral de olfato, luego de varias horas de exposición, causa leve irritación en los ojos y las membranas mucosas de tracto respiratorio. A medida que aumenta la concentración y el tiempo de exposición, provoca irritación de garganta, tos, estornudos, exceso de salivación y dificultad en la respiración.

A mayores niveles actúa sobre bronquios y pulmones, provocando vómitos y se puede alcanzar la muerte por sofocación. Sin embargo, el cloro no tiene efectos acumulativos debido a exposiciones aisladas o reiteradas.

**Explosividad:** En forma aislada, el cloro líquido o gaseoso no es explosivo; explota al contacto con diversas sustancias como; acetileno + calor o luz ultravioleta, con el metanol, la gasolina, la trementina y el aguarrás, entre otros.

**Flamabilidad:** por si solo y a temperatura ambiente, el cloro no es flamable; puede promover la combustión de algunos metales como: aluminio, polvos de antimonio, bismuto, bronce, calcio, cobre, plata, hierro, manganeso, potasio, estaño y vanadio. Si la temperatura del cloro rebasa los 200 °C, afecta rápidamente al acero, y arriba de 215 °C, lo hace flamear.

**Solubilidad:** Es poco soluble en agua. A una atmósfera de presión y temperatura de 68 °C, la solubilidad de cloro es de 7.29 gr/It ( 7,290 ppm). Por ser menos soluble en estado líquido que en estado gaseoso, es mejor utilizar el último. La aplicación del cloro licuado en el agua forma burbujas corrosivas y peligrosas que se separan como gas. En los cloradores se produce solución de cloro a presión parcial (vacío), con solubilidad aproximadamente de 5,000 mg/It (ppm); el fabricante garantiza 3,500 mg/It (ppm) debido a deficiencias durante la solubilización para su aplicación.

**Afinidad química:** El cloro tiene gran afinidad en su actividad química con los álcalis e hidróxidos de metales; esta reacción se aprovecha para hacer blanqueadores (hipoclorito) y agentes oxidantes poderosos, como ácido clorhídrico (HCl) y azufre (s), entre otros.

**Presión hidrostática.** El cloro en el recipiente está licuado se transforma en cloro gaseoso al aumentar la temperatura. El gas genera presión hidrostática en las paredes del recipiente, que se incrementa con la temperatura hasta romper el recipiente. Por lo tanto no debe aplicarse calor a los cilindros, contenedores o a la tubería con cloro. Si se llenan en exceso, también pueden romperse al rebasar la resistencia a la presión hidrostática.

### **Propiedades críticas:**

La **temperatura crítica**, 144.01 °C, es aquella arriba de la cual el cloro está en estado gaseoso, sin importar la presión a la que se someta.

La **densidad crítica** es la masa de un volumen unitario de cloro a la presión y temperatura críticas. El cloro líquido la presenta a 35.77 lb/ft<sup>3</sup>

**Presión crítica;** se presenta en el cloro licuado a 78.6 kgf/cm<sup>2</sup> (1,118.3 Lb/in<sup>2</sup>).

## **6.2 Métodos de desinfección con cloro y sus compuestos.**

El cloro debe manejarse con mucha precaución, tomando en cuenta sus características y propiedades porque éstas representan un peligro latente. Es importante acatar las recomendaciones de los proveedores de cloro, del fabricante y de los técnicos en seguridad, para lograr un manejo eficiente y seguro de cloro, de lo contrario se pone en riesgo la integridad personal y las instalaciones.

Las tres formas en las cuales los sistemas de tratamiento pueden manipular el cloro como desinfectante son:

- Hipoclorito de sodio (líquido)
- Hipoclorito de calcio (sólido)
- Gas en cilindros

La selección del método de desinfección depende de los siguientes factores:

- Cantidad y calidad de agua a ser tratada.
- Costo y disponibilidad de las sustancias químicas.
- Equipo disponible para la aplicación.
- Recursos humanos disponibles para su manejo.

### **Hipoclorito de sodio**

Como solución, el hipoclorito de sodio (NaOCI), generalmente contiene entre el 12 y el 15% de cloro disponible. Las soluciones blanqueadoras que se emplean en el hogar por lo general contienen del 3 al 5 %.

Este reactivo es más caro que el cloro gas, pero es más fácil de manipular. Es altamente corrosivo por lo que debe almacenarse en sitios fríos, oscuros y secos, lejanos de materiales susceptibles de corrosión. Debido a que el hipoclorito se descompone rápidamente, no debe almacenarse más de un mes.

El hipoclorito líquido puede ser fácilmente obtenido en el mercado, o puede ser generado en el sitio por electrólisis de cloruro de sodio en solución, en equipos también disponibles en el mercado.

El sistema básico para cloración con líquido o hipoclorador, incluye dos bombas (una sirve como reserva), un tanque para la solución, un difusor (o inyector de la solución en el agua) y mangueras.

En este proceso, la solución de hipoclorito de sodio se diluye con agua en un tanque de mezclado. La solución diluida se inyecta mediante bombeo al sistema de abastecimiento, a una tasa controlada. Siempre se debe permitir el mezclado adecuado y el tiempo de contacto suficiente.

Hipoclorito de calcio hipoclorito de calcio alta concentración puede encontrarse en forma granular o en tabletas, es soluble en agua, contienen entre el 60 % y el 70% de cloro disponible y es estable por más de un año bajo condiciones normales de almacenamiento.

El hipoclorito de calcio es un material corrosivo con fuerte olor, que requiere manipulación adecuada. Se debe conservar lejos de materiales orgánicos como la lana, las telas y productos del petróleo.

Las reacciones entre este compuesto y los materiales orgánicos puede producir suficiente calor para general un incendio o una explosión. El hipoclorito de calcio absorbe rápidamente humedad, y así forma cloro gas, por lo que el producto debe almacenarse en recipientes perfectamente cerrados, en lugares secos y frescos.

El proceso de desinfección consiste en disolver el sólido en un tanque mezclador e inyectar, la solución de la misma manera que el hipoclorito de sodio. De manera alternativa, en donde la presión puede ser más baja que la atmosférica, por ejemplo en tanques de almacenamiento las tabletas de hipoclorito de calcio se pueden disolver directamente, colocando un dispositivo adecuado para que el flujo de agua permita obtener la dosis correcta, la cual se determina mediante la curva de demanda de cloro.

El equipo utilizado para obtener la solución e inyectar al agua es el mismo que se requiere para desinfectar con hipoclorito de sodio. Soluciones de 1 % o 2% de cloro disponible pueden ser alimentadas a través de un diafragma o una bomba.

Hipoclorito de calcio de baja concentración conocido como polvo blanqueador, fue utilizado como desinfectante antes del descubrimiento del cloro líquido. Cuando se le añade agua, se descompone para producir ácido hipocloroso (HOCl).

La cal clorada fresca contiene entre el 33% y el 37% de cloro disponible, es inestable; al exponerla al aire la luz y la humedad, el contenido de cloro disminuye rápidamente, por lo que este compuesto se debe almacenar en recipientes cerrados y resistentes a la corrosión, en un lugar oscuro, fresco y seco.

En general, el hipoclorito de calcio se utiliza para apoyar a las comunidades con escasos recursos para sufragar los gastos que implica hervir el agua, y que no cuentan con red de distribución.

### **6.3 Tanques de contacto de cloro**

#### **Componentes del sistema de desinfección con cloro gas**

El principio básico de la desinfección con gas de cloro consiste en permitir la disolución del gas en una corriente de agua, saturándola. Más adelante esta solución rica en cloro es alimentada a un tanque, donde el agua residual es mezclada con solución clorada. El agua debe permanecer varios minutos en este tanque para que el cloro tenga efecto deseado sobre los microorganismos, por esta razón el tanque se conoce como tanque de contacto de cloro.

Los componentes más importantes del sistema son los siguientes:

Grúa para izar contenedor de cloro su funcionamiento es mover los contenedores hacia los camiones de carga.

Tanques de almacenamiento de cloro

El cloro se almacena como gas licuado a alta presión. Los tamaños típicos de los tanques son de 68 kg y de 907kg. Dependiendo de las necesidades de cloro en la planta es el tamaño usada de los cilindros.

El número de cilindros de cloro a mantener en existencia debe ser tal que permita su dosificación de forma segura, minimizando las interrupciones debidas a la demora en el suministro. Usualmente se debe mantener en existencia un número de cilindros igual al consumo promedio mensual de cloro.

Clorador

Es el aparato conectado en el cilindro de cloro que sirve para dosificar el flujo de alimentación de cloro. Los cloradores incluyen un sistema de medición de flujo másico de cloro (generalmente, el medidor es un rotámetro) y una válvula que permite modificar la cantidad de cloro. Si los requerimientos de cloro son muy altos se instalan dos o más cloradores en paralelo. Debido a que los cloradores son fundamentales para entregar la cantidad de cloro que requiere el agua residual, debe haber por lo menos un clorador en reversa.

En el clorador también se produce una solución concentrada de cloro de agua para ello el cloro se disuelve en el flujo pequeño de agua. Una bomba de ayuda suministra el agua para hacer la solución concentrada.

Sistema de difusión y mezcla

La solución concentrada de cloro se mezcla con flujo de agua a desinfectar es fundamental para una buena desinfección que haya un buen mezclado de la solución concentrada y el flujo de agua. El método usual es a través de un difusor, que es una tubería de plástico con perforaciones a través de las cuales las soluciones de cloro puede distribuirse uniformemente en el agua residual.

Tanque de contacto de cloro

Para que el cloro pueda producir una desinfección eficiente se necesita asegurar un tiempo de contacto de con el agua residual. En el tanque de contacto de cloro se hace pasar el agua residual a una velocidad tal que hay gran agitación (régimen turbulento). El tanque está dividido en canales con mamparas o deflectores que aumentan la agitación.

Esto ayuda a que el tiempo que duran en el tanque todas las partículas de agua sea aproximadamente el mismo y a evitar la sedimentación de sólido.

#### 6.4 Diseño del tanque de contacto de cloro

Dada la importancia del tiempo de contacto deberá prestarse cuidadosa atención al diseño del tanque de cloración de modo que al menos un 80-90 % del agua residual sea retenida en el tanque durante el tiempo de contacto especificado.

El tiempo de contacto o retención en el tanque, se recomienda que sea entre 15 y 45 minutos.

Para una desinfección efectiva, es importante el diseño del tanque de contacto del cloro, se recomienda diseñarlos con la relación largo-ancho mínimo de 10 a 1 de preferencia de 40 a 1 para minimizar los cortos circuitos, también se reducen estos mediante la colocación de “baffles” a la entrada, además suministra una distribución de cámara de contacto que tiene tiempos de retención aproximado al flujo pistón (fig 6.2)

$$Q_{med} = 30 \text{ l/s}$$

$$Q_{mín} = 0.5 \times Q_{med}$$

$$Q_{mín} = 15 \text{ l/s}$$

$$Q_{máx \text{ inst}} = M \times Q_{med} \quad M=3$$

$$Q_{máx \text{ inst}} = 3 \times 30 \text{ l/s} = 90 \text{ l/s}$$

$$Q_{máx \text{ ext}} = 1.5 \times Q_{máx \text{ inst}}$$

$$Q_{máx \text{ ext}} = 1.5 \times 90 = 135 \text{ l/s}$$

Se diseña con el  $Q_{máx}$  extraordinario, y el tiempo de contacto se supone de 15 a 45 min. con un tanque gas-cloro de 2000 lb (908kg).



## 1) Volumen de tanque

$$V = Qt = 135 \text{ l/s} \times 15 \text{ min} \times 60 \text{ s/min} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} = 121.5 \text{ m}^3$$

Proponiendo una altura de  $h = 2 \text{ m}$

$$A = V/h = 121.5 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} = 60.75 \text{ m}^2$$

Se propone una relación  $L=3a$                        $A = 3a(a)$

Sustituyendo y despejando a

$$3a(a) = 60.75 \text{ m}^2$$

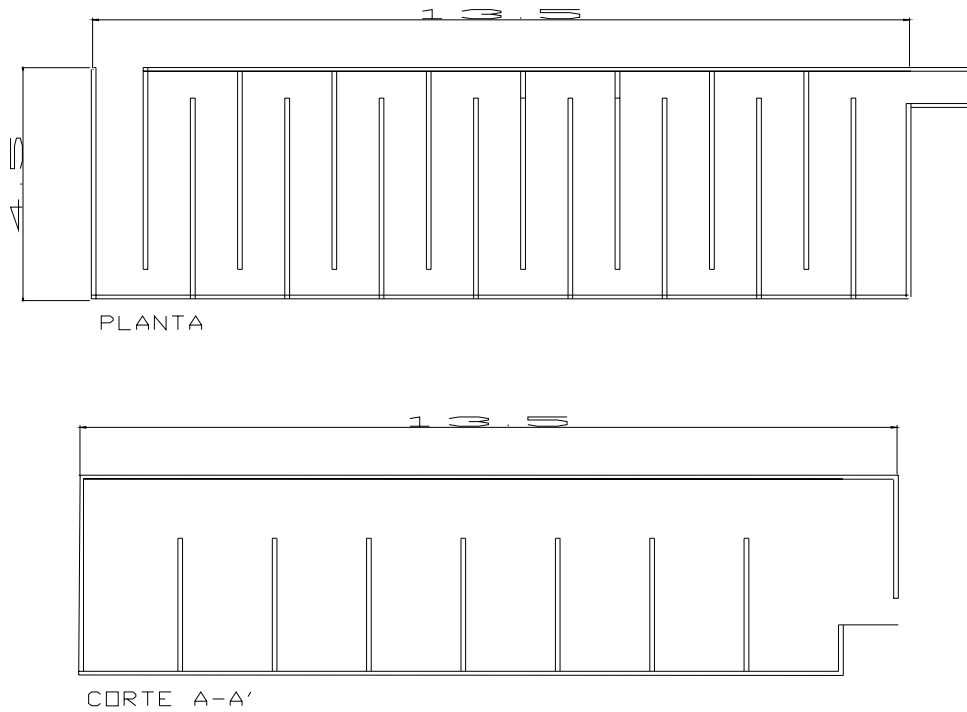
$$3a^2 = 60.75 \text{ m}^2$$

$$a = 4.5 \text{ m}$$

Sustituyendo a

$$L = 3(4.5) = 13.5 \text{ m}$$

Relación     $L / a = 3 a 8$



**FIG 6.2 DEPOSITO LONGITUDINAL, DIVIDIDO CON BAFLES.**

2.- Cálculo de la cantidad necesaria de cloro

$$Q \text{ medio} = 30 \text{ l/s}$$

$$\text{Cantidad de Cloro} = 30 \text{ l/s} \times 8 \text{ mg/l} \times 86400 \text{ s/día} \times \text{kg} / 10^6 \text{ s}$$

$$\text{Cantidad de cloro} = 20.73 \text{ (kg/ día)}$$

Si se utiliza tanques de 908 kg de capacidad

$$\text{Numero de días que dura el tanque} = \frac{908 \text{ kg}}{20.73 \text{ kg/día}} = 43.8 \text{ días}$$

## 6.5.-Recomendaciones de operación

### 6.5.1.-Bases para el paro y arranque del sistema

Los procedimientos de paro y arranque para el sistema de coloración debe de seguir una secuencia específica; dichos procedimientos se indica como sigue (esta información deberá ser ajustada conforme a la metodología de operación y mantenimiento que indique el proveedor de este equipo.

#### Arranque

Los siguientes pasos deben de seguir cuando se arranque un sistema de coloración.

- . 1.-Siguiendo todo los procedimientos de seguridad, conectar la interconexión al cabezal y al contenedor .Siempre utilizar un nuevo para evitar fugas.
- . 2.- Abrir la válvula apropiada hasta el punto de aplicación de la solución.
- . 3.- Activar el flujo de agua hasta el inyector de gas para crear el vacío requerido. Normalmente, un vacío de por lo menos 5 a 7 pulgadas de Hg ( 17 a 24 Kpa) es requerido para el colocador para una operación correcta.
- . 4.- Activar el clorador, el sistema de alarma y (si es aplicable) el posicionador electrónico.
- . 5.- Activar detector de fugas de gas de cloro
- . 6.- Abrir válvulas de entrada y salida del clorador .
- . 7.- Activar el sistema de intercambio automático ( si es aplicable )
- . 8.- Revisar si no hay fugas, utilizando vapores de una solución de hidróxido de amonio. Abrir lentamente de uno en uno el cabezal del cloro y las válvulas del tanque (algunas instalaciones operación adecuadamente con las válvulas del tanque abiertas a un cuarto de su capacidad). Reparar cualquier fuga inmediatamente.
- . 9.- Activar el sistema analizador de cloro residual.
- . 10.- Monitorear todos los dispositivos del sistema de coloración para una operación adecuada.

## Paro

Los siguientes pasos aplican para el paro del sistema de cloración completo.

1.- Cierre de válvulas principales del cilindro o contenedor.

Nota: Para manejar todos los dispositivos de operación de cloración deje que la presión sea cero y el tapón de rotámetro haya botado

2.- Cierre las válvulas de cabezal principal de la báscula.

3.- Cierre la válvula del punto de aplicación de la solución (si se tiene válvula check, entonces la válvula puede permanecer abierta).

4.- Desactivar el sistema intercambiador de calor de evaporador, en caso de existir.

5.- Cierre las válvulas de entrada y salida del clorador.

6.- Desactive el sistema de intercambio automático, el analizador de cloro residual y el detector de fugas de gas de cloro.

Nota: Si los conectores o cilindros de cloro permanecen en el mismo lugar; entonces deje operando el detector de fugas. Si es necesario, remueva los contenedores o cilindros de las básculas y almacénelos adecuadamente (consulte al proveedor acerca de periodos largos y de almacenamiento).

## Control de proceso

Las variables de control de proceso asociadas con el sistema de cloración son:

- A) Tiempo de retención y contacto.
- B) Cloro residual.
- C) Resultados de indicadores de bacterias indicadoras.
- D) Manejo de contenedores y cilindros de cloro.

Las dosis típicas de cloro como desinfectante, para el efluente de una planta de lodos activados es de 2 a 8 mg/l.

### A) Tiempo de retención y contacto.

El tiempo de retención del cloro debe estar entre 20 y 30 minutos. Tales tiempos de retención permiten un factor de seguridad para posible ineficiencia hidráulica de la cámara de contacto. La siguiente fórmula permite calcular el tiempo de retención:

$$\text{Tiempo de retención (min)} = \frac{\text{Volumen de la cámara de contacto, (m}^3\text{)}}{\text{Fujo (l/s) x (0.06(m}^3\text{/min) (l/s))}}$$

### B) Cloro residual

De acuerdo al tipo de disposición del efluente del tanque de contacto de cloro se requerirá de un analizador de cloro residual en el canal de salida de dicho tanque. Los tipos de cloro residual que se podrán monitorear en la planta serán el cloro libre y el cloro total.

El cloro libre corresponde a la concentración de ión hipoclorito  $\text{ClO}^-$ . Antes de que el cloro añadido aparezca como cloro libre, reacciona con otros compuestos (sulfuro, nitritos, nitrógeno amoniacal). Después de que este se elimina estos compuestos, el cloro agregado aparece como cloro residual. La dosis de cloro agregada en la que comienza a aumentar el cloro como ión hipoclorito se conoce como punto de quiebre. El valor de la dosis de cloro agregada para llegar al punto de quiebre se conoce como cloro residual combinado.

Si se agrega más cloro a la solución, el exceso se conoce como cloro residual libre. La suma de los dos se llama cloro residual total. El cloro residual libre es mejor desinfectante que el combinado, por lo que para asegurar una desinfección eficiente se agrega suficiente cloro para alcanzar a observar la presencia de cloro residual libre.

### C) Indicadores de la eficiencia de desinfección

El objetivo principal del proceso de cloración es el de destruir los organismos patógenos. Debido a que los microorganismos patógenos son difíciles de medir, se utiliza otros microorganismos como indicadores, siendo el más común el grupo de bacterias llamadas coliformes.

El uso de los coliformes y otras bacterias indicadoras se debe a que son muchas más fáciles de detectar que los organismos patógenos y más difíciles de destruir que los organismos patógenos, exceptuando posiblemente los virus. Las pruebas directas para organismos patógenos son complejas y costosas. Si la cuenta de coliformes ha sido reducida significativamente a través de la desinfección, una proporción correspondiente de organismos patógenos ha sido probablemente inactiva.

Los coliformes se determinan en laboratorios, ya que se requiere aproximadamente un día para su desarrollo. Los coliformes se reportan en número más probable por 100ml (NMP/100ML). El influente a un sistema de cloración tiene típicamente valores muy elevados de coliformes, por lo consiguiente de organismos patógenos. Los valores típicos son  $1 \times 10^6$  a  $1 \times 10^9$

NMP/100ML. Un sistema de cloración operando adecuadamente puede producir un efluente con un número de conformes inferior  $1 \times 10^3$  NMP/100ml, lo que aplica un eficiencia de eliminación superior al 99.9%.

NOTA: El agua que sale de una planta de tratamiento NO ES APTA PARA BEBERSE. Los microorganismos no son totalmente destruidos en el proceso de cloración, por lo que la ingestión de agua residual clorada implica un riesgo muy elevado de contraer enfermedades gastrointestinales.

#### **D) Manejo de cilindros y contenedores de cloro**

Las siguientes consideraciones pueden ayudar al operador con la recepción y manejo del cloro:

- . Registrar el número estampado en cada carro tanque, contenedor o cilindro Cuando estos son recibidos o despachados. Verificar el nivel de llenado de Los contenedores y mantenerlos estos separados.
- . En la recepción de cada contenedor o cilindro, revisar los siguientes:
  - Remover la capucha protectora y asegurarse que las válvulas principales estén estrechamente cerradas.
  - Retirar la capa o tira de cada válvula y asegurarse que las bases no han sido profundamente talladas o raspadas.
  - Revisar cada válvula de fuga con vapores de solución de hidróxido de amonio comercial. La presencia de una blanquecina indica la existencia de fugas.
  - Reemplaza la capa o tira capucha protectora.

Nota: Si Cualquiera de las pruebas mencionadas falla, rechace el contenedor o cilindro.

- . Mantenga la capucha en el lugar hasta que el cilindro o contenedor este colocado en la báscula.
- . Frecuentemente inventariar las partes y accesorios.

## CAPITULO VII

### SISTEMA DE MANEJO DE LODOS

En este Capítulo se describe el diseño de las siguientes unidades

#### 7.1.- PRODUCCIÓN DE LODOS EN SEDIMENTADOR PRIMARIO Y SECUNDARIO.

Datos de proyecto:

Gasto medio de diseño ( $Q_m$ ):	30 l/s
Sólidos suspendidos totales en el influente (SSTI):	586 mg/l (Ref.1)
Sólidos suspendidos volátiles en el influente (SSVI):	439.5 mg/l (Ref. 1)
Fracción volátil en sólidos suspendidos en el influente (FVI):	75 %
Remoción de SSTI (RSSTI):	50 % (Ref. 3)
Concentración del lodo (CL):	2 % (Ref. 4)
Densidad del lodo( $\rho$ ):	1.03 kg/dm <sup>3</sup>
Sólidos suspendidos totales secundarios (SSTs):	218.70 kg/día
Fracción volátil en sólidos suspendidos secundarios (FVs):	75 %
Purga de lodos secundarios ( $Q_w$ ):	30.37 m <sup>3</sup> /día

i) Cálculo de los sólidos suspendidos totales primarios.

$$SSTp = (RSSTI)(SSTi)(Qm)(86400)/10^8$$

Donde:

SSTp: Sólidos suspendidos totales primarios (kg/día)

RSSTi: Remoción de sólidos suspendidos totales en el influente (mg/l)

$Q_m$ : Gasto medio de diseño en LPS

$$SSTp = \frac{(50 * 586 * 30 * 86400)}{10^8} = 759.45 \text{ _ kg / día}$$

ii) Sólidos suspendidos volátiles primarios

$$SSVp = \frac{(SSTp)(Fvi)}{100}$$

SSVp: Sólidos suspendidos volátiles primarios (kg/día)

SSTp: Sólidos suspendidos totales primarios (kg/día)

Fvi: Fracción volátil en los sólidos suspendidos totales (mg/l)

$$SSVp = \frac{(759.45)(75)}{100} = 569.59 \text{ _ kg / día}$$

iii) Caudal de lodos primarios

$$QLp = \frac{SSTp}{(CL)(\rho)(10)}$$

Donde:

QLp: Caudal de lodos primarios (m<sup>3</sup>/día)

SSTp: Sólidos suspendidos totales primarios (kg/día)

$\rho$ : Densidad de lodos (kg/día)

Cl: concentración de lodos

$$QLp = \frac{759.45}{(2)(1.03)(10)} = 36.86 \text{ _ m}^3 \text{ / día}$$

iv) Sólidos suspendidos volátiles secundarios

$$SSVs = \frac{(SSTs)(FVs)}{100}$$

Donde:

SSVs: Sólidos suspendidos volátiles secundarios (kg/día)

SSTs: Sólidos suspendidos totales secundarios (kg/día)

FVs: Fracción volátil en sólidos suspendidos secundarios

$$SSVs = \frac{(218.70)(75)}{100} = 164.03 \text{ _ kg / día}$$



v) Sólidos suspendidos totales en la mezcla

$$\mathbf{SSTm = SSTp + SSTs}$$

Donde:

SSTm: Sólidos suspendidos totales en la mezcla (kg/día)

SSTp: Sólidos suspendidos totales primarios (kg/día)

SSTs: Sólidos suspendidos totales secundarios (kg/día)

$$\mathbf{SSTm = 759.45 + 218.70 = 978.15 \_ kg / día}$$

vi) Sólidos suspendidos volátiles en la mezcla

$$\mathbf{SSVm = SSVp + SSTs}$$

Donde:

SSVm: Sólidos suspendidos volátiles en la mezcla (kg/día)

SSVp: Sólidos suspendidos volátiles primarios (kg/día)

SSTs: Sólidos suspendidos totales secundarios (kg/día)

$$\mathbf{SSVm = 569.59 + 218.70 = 788.29 \_ kg / día}$$

vii) Fracción volátil en la mezcla

$$\mathbf{FVm = \frac{SSVm}{SSTm} * 100}$$

Donde:

FVs: Fracción volátil en sólidos suspendidos secundarios (%)

SSVm: Sólidos suspendidos volátiles en la mezcla

$$\mathbf{FVm = \frac{788.29}{978.15} * 100 = 80.58 \_ \%}$$

Resumen de resultados

Sólidos suspendidos totales primarios (SSTp):	759.45 kg/día
Sólidos suspendidos volátiles primarios (SSVp):	569.59 kg/día
Caudal de lodos primarios (Q <sub>lp</sub> ):	36.86 m <sup>3</sup> /día
Sólidos suspendidos volátiles secundarios (SSVs).	164.03 kg/día
Sólidos suspendidos totales en la mezcla (SSTm):	978.15 kg/día
Sólidos suspendidos volátiles en la mezcla (SSVm):	788.29 kg/día
Fracción volátil en la mezcla (FVm):	75 %

## 7.2 DIGESTOR DE LODOS

Datos de proyecto:

Tipo:	Aereación superficial.
Forma:	Cuadrada
Número:	1
Carga de sólidos volátiles en la mezcla (CSVM):	788.29 kg/día
Carga de sólidos volátiles (CV):	3.20 kg/m <sup>3</sup> -día
Concentración de lodos (CCL):	1.6 (16.0 kg/m <sup>3</sup> )
Temperatura (T):	25°C
Temperatura mínima en invierno (T)	18°C
Constante de degradación a 20°C (K)	0.1 día <sup>-1</sup> (Ref.2)
Remoción de SSV en invierno (RSSVi)	40 % (Ref.3)
Remoción de SSV en verano (RSSVv)	50 %
Fracción volátil en la mezcla, (Fvm)	75 %
Constante de Arrhenius, (Ø).	1.023 (Ref. Metcalf)
Tirante útil, (hu)	4 m.
Sólidos suspendidos en el influente, (SSVi)	16000mg/l

Realizando las operaciones correspondientes:

a) Calculando el volumen del digestor:

$$V = \frac{CSVM}{CV} = \frac{788.29}{3.20} = 246.34 \text{ m}^3$$

Donde:

V: Volumen en m<sup>3</sup>.

CSVM: Carga de sólidos volátiles en la mezcla (kg/día)

CV: Carga de sólidos volátiles (kg/m<sup>3</sup>-día)

b) Constante de degradación a la temperatura

$$KT = K_{20} * \phi^{(T-20)}$$

Donde:

KT: Constante de degradación a la temperatura T, ( $d^{-1}$ )

$K_{20}$ : Constante de degradación a 20°C( $d^{-1}$ )

$\phi$ : Constante de Arrhenius.

T: Temperatura mínima en invierno (°C)

$$KT = 0.1 * (1.023)^{(25-20)} = 0.112 \_ d^{-1}$$

c) Sólidos suspendidos volátiles en el efluente (mg/l)

$$SSVe = \frac{(FVm)(SSVi)}{100}$$

Donde:

SSVe: Sólidos suspendidos volátiles en el efluente (mg/l)

FVm: Fracción volátil en la mezcla

SSVi: Sólidos suspendidos en el influente

$$SSVe = \frac{(75)(16000)}{100} = 12000 \_ mg/l$$

d) Tiempo de retención

$$Tr = \frac{(100 * SSVe) - (SSVe)(RSSV)}{KT(SSVe)(RSSV)}$$

Donde:

Tr: Tiempo de retención (días)

SSVe: Sólidos suspendidos volátiles en el efluente (mg/l)

RSSV: Remoción de sólidos suspendidos en invierno (%)

KT: Constante de degradación a la temperatura T ( $d^{-1}$ )

$$Tr = \frac{(100 * 12000) - (12000)(40)}{0.112(12000)(40)} = 13.39 \_ días$$

f) Área superficial

$$As = \frac{V}{hu}$$

Donde:

As: Área superficial en m<sup>2</sup>

V: Volumen en m<sup>3</sup>

Hu: Tirante útil en m.

$$As = \frac{246.34}{4.0} = 61.585 \text{ _ } m^2$$

g) Relación largo--ancho del digestor

$$a = \sqrt{As} = \sqrt{61.585} = 7.847 \text{ _ } m$$

Se ajusta a 8.0 m el ancho.

$$L = ancho = 8.0 \text{ _ } m$$

Donde:

a: ancho en m

L: Largo en m

g) Ajustando el volumen del reactor.

$$Asc = 8.0 \times 8.0 = 64.0 \text{ m}^2$$

$$Vc = 64 \times 4.0 = 256 \text{ m}^3$$

## CONCLUSIONES

- 1.- Durante el desarrollo de la ingeniería básica la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Nezahualcoyotl se aplicaron conocimientos de diversas de la Ingeniería Civil, principalmente las áreas de hidráulica, sanitaria, estructuras y de mecánicas de suelos.
- 2.- Para la realización del diagnostico del manejo de agua, aplicamos conocimientos de hidráulica sanitaria, como en lo teórico y laboratorio.
- 3.-Para la evaluación de las alternativas de tratamiento de agua residual, se requirió de utilizar conocimientos de tratamiento de agua residual y evaluación de proyectos. A su vez de determinar cual de estas alternativas era la más eficiente de acuerdo a las características que contenía las aguas residuales de la zona.
- 4.-Para el diseño de los subsistemas de tratamiento primario y secundario, era necesario conocer los elementos esenciales de un equipo electromecánico y su funcionamiento adecuado, y a su vez de hidráulica básica.
- 5.- Esencialmente el diseño de una planta de tratamiento requiere en general de todas las áreas de la ingeniería civil, sean estos como la hidráulica, la sanitaria y la de estructuras, esto debido a los gastos de diseño.