

25
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON

**"PROYECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES A BASE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE
FLUJO ASCENDENTE PARA LA E.N.E.P. ARAGON"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTAN:
FLORIBERTA HERNANDEZ PEREZ
MARIEL GARCIA MORALES**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. GERARDO TOXKY LOPEZ**



SAN JUAN DE ARAGON

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION



FLORIBERTA HERNANDEZ PEREZ
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 5 de enero del año en curso, presentada por Maribel García Morales y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. GERARDO TOXKY LOPEZ pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado " PROYECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LA E.N.E.P. ARAGON ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 10 de enero de 1995
EL DIRECTOR

M en C. CLAUDIO C. MERRIPIELO CASTRO
DIRECCION

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p M en I Daniel Velázquez Vázquez, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. Gerardo Toxky López, Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/11a.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ARAGÓN

UNIDAD ACADÉMICA

Meñ DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 8 de enero del año en curso, por la que se comunica que las alumnas FLORIBERTA HERNÁNDEZ PÉREZ y MARIEL GARCÍA MORALES, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "PROYECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LA E.N.E.P. ARAGÓN", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 10 de enero de 1996.
EL JEFE DE LA UNIDAD


Lic. ALBERTO BARRA ROSAS

cc p Asesor de Tesis.
cc p Interesado.

AIR/ta.

Fed



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AVANZADOS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE INGENIERÍA CIVIL

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA
P R E S E N T E .

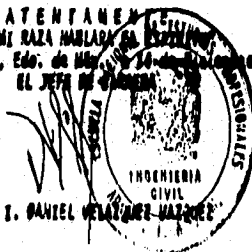
Por medio de la presente me permito solicitar los nombres de los profesores que sirviera como el Síndico de Examen Profesional de la alumno FLORIBERTA HERNÁNDEZ PÉREZ, con el tema de tesis: "PROYECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE UN REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LA ENEP AZAGÓN".

PRESIDENTE:	ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ	16-11-80
V O C A L :	ING. JOSE MARIO AVALOS MEXAMONER	01-16-81
SECRETARIO:	ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARTA GLEZ.	30-05-89
SUPLENTE :	ING. GERARDO TORRES LOPEZ	16-05-90
SUPLENTE :	ING. JESUS VICENTE MEJIA MIZAMON	28-09-93

Quedo subrayado que el director de la tesis es el ING. GERARDO TORRES LOPEZ, al cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÉ EN VOZ PROFETA"
San Juan de Azagón, Edo. de Méx., 16 de Septiembre de 1995
EL JEFE DE UNIDAD

M. EN I. DANIEL MELANDEZ MARTINEZ



- c.c.p. ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ-Jefe del Depto. de Serv. Etc.
- ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEON-Sico. Téc. de Ingr. Civil.
- ING. GERARDO TORRES LOPEZ-Alcaldé de Tesis
- COMITÉ DE TESIS
- INTERESADO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

MARIEL GARCIA MORALES
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 5 de enero del año en curso, presentada por Floriberta Hernández Pérez y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. GERARDO TOXKY LOPEZ pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado " PROYECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LA E.N.E.P. ARAGON ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 10 de enero de 1995
EL DIRECTOR

M. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

- Cy2*
- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
c c p M en I Daniel Velázquez Vázquez, jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Ing. Gerardo Toxky López, Asesor de Tesis.

Cent

CCMC/AIR/11a.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ARAGÓN

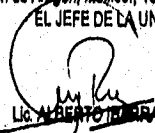
UNIDAD ACADÉMICA

Me enl **DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ**
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presenta.

En atención a la solicitud de fecha 8 de enero del año en curso, por la que se comunica que las alumnas **MARIEL GARCÍA MORALES** y **FLORIBERTA HERNÁNDEZ PÉREZ**, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "PROYECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A BASE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LA E.N.E.P. ARAGÓN", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 10 de enero de 1998.
EL JEFE DE LA UNIDAD


Lic. **ALBERTO HERRERA ROSAS**

ccp Asesor de Tesis.
ccp interesado.

AIR/la.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS PROFESIONALES A.C. S.A.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

LIC. GILBERTO ISLAZAR ROSAS
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA
PRESENTE.

Por medio de la presente me permito solicitar los nombres de los
los autores que sujeten la tesis de Examen Profesional
de la tesis de MARTEL GARCIA MORALES, con el tema de tesis: 'PRO-
YECTO EJECUTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES-
A BASE DE UN REACTOR ANAEROSIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LA EMBE-
ARAGON'.

PRESIDENTE:	ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ	16-10-80
V O C A L:	ING. JOSE MARTO AVILAS HERNANDEZ	01-06-84
SECRETARIO:	ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GLEZ.	30-05-89
SUPLENTE:	ING. GERARDO TONKI LOPEZ	16-05-90
SUPLENTE:	ING. JESUS VICENTE NEJIA MIRAMON	20-09-93

Quiero subrayar que el director de la tesis es el ING. GERARDO --
TONKI LOPEZ, el cual esta incluido en base a lo que reza el Regla-
mento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL CASTELLANO"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., a los 16 días del mes de Mayo de 1995
EL JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA

M. EN I. DANIEL VELAZQUEZ



- c.c.p. ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ-Jefe del depto. de Serv. Esc.
- ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEON-Socio. Tde. de Ing. Civil.
- ING. GERARDO TONKI LOPEZ-Autor de tesis.
- COMITE DE TESIS
- INTERESADO

A mi Madre, a quien le agradezco su amor, su amistad, su apoyo y su fe en mí. Eres un ser maravilloso.

A mi Padre por su confianza, por su cariño, por su ejemplo... Te admiro.

A mis tíos Bernardo y Angeles, quienes siempre me han alentado a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A Flor, que me ayudó a conservar la serenidad y la credibilidad. Gracias por compartir conmigo las alegrías y tristezas, por todos los consejos, por ser como eres: Una persona extraordinaria.

A la U.N.A.M. y a todos los profesores que a lo largo de mi carrera contribuyeron en mi formación académica.

Al Biólogo Daniel Maciño, por creer en nosotras y compartir sus conocimientos y experiencias. Sin su valiosa ayuda no hubiera sido posible concluir esta tesis.

A Dios, porque gracias a Él existe.

Y a todas las personas que de alguna forma colaboraron en la elaboración de este trabajo.

Con todo mi amor

INTRODUCCION

El problema de abastecimiento de agua aumenta debido a que al paso del tiempo se agudiza la escasez del vital líquido, específicamente en la Ciudad de México y su área conurbada. La no recarga de acuíferos, la explotación de pozos sin un control adecuado y el incremento en la demanda, son algunas de las causas que dan lugar a esta situación.

El Gobierno Federal ha establecido disposiciones legales para preservar los recursos hídricos así como la vigilancia y un control adecuado de su uso y calidad. De esta forma, son varias las leyes y reglamentos que han evolucionado a través de los años, estableciendo un mejor ordenamiento de normas y criterios para tal fin, como es caso de la "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente", que entró en vigor en marzo de 1988 y la "Ley General de Aguas Nacionales" de 1992.

Sin embargo, el hecho de contar con una legislación o normatividad ambiental no significa la solución a esta serie de problemas; la clave radica en la concientización de la sociedad en cuanto al uso racional de los recursos hídricos, lo cual dará la pauta hacia la preservación de los mismos en base al cumplimiento de dicha legislación.

Los sistemas municipales de alcantarillado descargan un caudal medio estimado de 167,687 lps. En la actualidad reciben tratamiento 34,463 lps de aguas residuales municipales, que representa el 20.6% de la descarga nacional. Los datos anteriores reflejan la importancia de la implantación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En este contexto, el objetivo de proponer la construcción de una planta de tratamiento en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, radica en la necesidad de: a) racionalizar el uso de agua potable en la institución, pues es utilizada en el riego de áreas verdes; b) en la medida de lo posible, no contribuir en la contaminación de los cuerpos receptores por descarga de agua residual municipal, fomentando de esta forma su reuso y, c) promover una cultura del uso racional del agua y así contribuir de alguna forma en la problemática del abastecimiento de agua potable, ya que en la actualidad resulta cada vez más costoso.

En el presente trabajo de tesis se propone un sistema de tratamiento de aguas residuales para nuestra institución. Este sistema se clasifica dentro del tipo anaerobio, es decir, no requiere de la presencia de oxígeno para que se lleve a cabo el proceso de tratamiento de agua residual, a diferencia de un proceso aerobio que requiere de equipo electromecánico para este fin. Comparando ambos sistemas de tratamiento, el tipo anaerobio, específicamente el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A.), presenta las siguientes ventajas: a) bajos costos de operación y mantenimiento, b) bajo consumo de energía, c) genera pocos lodos, d) construcción relativamente simple, e) aplicable a pequeña y gran escala, f) posibilidad de modulación, g) no requiere de grandes extensiones de terreno, h) generación de gas metano e, i) no usa equipo electromecánico. Lo que justifica esta propuesta.

Por otra parte, el proceso de tratamiento de aguas residuales que se plantea ha dado buenos resultados en los países en que se ha aplicado (Brasil, Holanda, Perú, Colombia). En México, las primeras plantas en operar con esta tecnología son: Central de

Malta, S.A. de C.V. (perteneciente a Cervecería Cuauhtémoc) y Fibracel, S.A. de C.V.; a nivel piloto, las más representativas son las del Proyecto Lago de Texcoco y la de la Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Iztapalapa.

Así entonces, este trabajo se desarrolla en siete capítulos, los cuales se describen de la siguiente forma: Los capítulos uno y dos se refieren a las condiciones generales que presenta la E.N.E.P. Aragón y a los trabajos de investigación y de campo necesarios para llevar a cabo la caracterización del agua residual. En el capítulo tres, además de la caracterización, se incluyen los estudios preliminares de aforo y muestreo, así como las pruebas y resultados de la misma. En el capítulo cuatro se detallan las características del tipo de tratamiento y se explica, específicamente, la evolución y el funcionamiento del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), así como las condiciones y requerimientos para su correcta implantación. El capítulo cinco se remite tanto al diseño del RAFA, como al de las estructuras que completan el tren de tratamiento. El manual de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento se presenta en el capítulo seis. Por último, el capítulo siete ofrece un análisis económico-financiero en forma general, el cual deriva en un costo por unidad de agua tratada.

INDICE

CONTENIDO	página
Introducción	I
Índice	IV
Índice de tablas, figuras, gráficas y planos	IX
1. Antecedentes	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Población de la E.N.E.P	5
1.3 Distribución de edificios en la E.N.E.P	5
2. Trabajos preliminares	11
2.1 Localización de las fuentes de contaminación	11
2.2 Criterios para la ubicación de la Planta de Tratamiento y superficie disponible	12

	página
3. Caracterización y Aforo	16
3.1 Programa de aforo y muestreo	16
3.1.1 Aforo	16
3.1.2 Método de aforo utilizado	17
3.1.3 Muestreo	18
3.1.4 Criterios y procedimiento de muestreo	20
3.2 Caracterización	24
3.3 Métodos de determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos	27
3.4 Resultados y discusión de la caracterización de aguas residuales de la E.N.E.P Aragón	42
3.4.1 Análisis de resultados	42
4. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	44
4.1 Generalidades	44
4.2 Proceso de digestión anaerobia	47
4.2.1 Microbiología y bioquímica del proceso	47
4.2.2 Factores que afectan la digestión anaerobia	52
4.2.3 Parámetros de evaluación de la operación del proceso de digestión anaerobia	53
4.3 Tipos de digestores anaerobios	58
4.4 Descripción y características del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)	65
4.5 Criterios de diseño	70
4.6 Subproductos derivados del tratamiento a base del RAFA	74
4.6.1 Biogás	74

	página
4.6.2 Lodo	76
6. Diseño básico del sistema para la conducción, tratamiento y disposición de aguas residuales	78
5.1 Topografía	78
5.2 Mecánica de Suelos	78
5.3 Diseño conceptual	83
5.4 Diseño dimensional	84
5.4.1 Reactor	85
5.4.1.1 Volumen	85
5.4.1.2 Área superficial	85
5.4.1.3 Altura del reactor	86
5.4.1.4 Área superficial modificada (respecto a h)	86
5.4.1.5 Sedimentador	87
5.4.1.6 Volumen por sedimentador	87
5.4.1.7 Área superficial requerida por sedimentador	87
5.4.1.8 Velocidad de sedimentación	88
5.4.1.9 Número de orificios	88
5.4.1.10 Generación de biogás	88
5.4.2 Revisión de diseño	89
5.4.2.1 Carga orgánica	89
5.4.2.2 Carga hidráulica (C.H)	89
5.4.2.3 Factor de largo de canaleta (Fic)	91
5.5 Diseño hidráulico	92
5.5.1 Caja derivadora	92
5.5.1.1 Longitud del vertedor	93
5.5.2 Diseño de transición	95
5.5.3 Rejillas	96

	página
5.5.3.1 Pérdidas en rejillas	97
5.5.4 Desarenador	97
5.5.4.1 Area horizontal para $Q_{m\acute{a}x}$	98
5.5.4.2 Largo de canal (l)	98
5.5.4.3 Revisión de carga superficial (C_s) con Q_{med}	99
5.5.4.4 Pendiente del canal desarenador	101
5.5.5 Lechos de secado	104
6. Manual de Operación y Mantenimiento	109
6.1 Generalidades	109
6.1.1 Descripción de la Planta de Tratamiento	110
6.1.1.1 Pretratamiento y bombeo	110
6.1.1.2 Digestión anaerobia	112
6.2 Problemas de operación y acciones correctivas	113
6.2.1 Caja derivadora	113
6.2.2 Rejillas	113
6.2.3 Desarenador	114
6.2.4 Estación de bombeo	115
6.2.5 Digestión	115
6.2.5.1 Progresión de la concentración de lodo durante el proceso de granulación	115
6.3 Inoculación	118
6.4 Arranque	119
6.4.1 Granulación de lodos	120
6.4.2 Purga de lodos	121
6.5 Operación	121

	página
6.5.1 Responsabilidades fundamentales del operador responsable de la Planta de Tratamiento	123
6.6 Válvulas y tuberías	124
6.7 Sistema eléctrico	126
7. Análisis Económico-Financiero	127
7.1 Conceptos básicos	127
7.1.1 Costos de capital	128
7.1.2 Costos anuales	128
7.1.3 Análisis financiero	130
7.2 Costo de Inversión	131
7.2.1 Costo Directo (C.D.)	131
7.2.2 Precio Unitario (P.U.)	134
7.3 Costo unitario de agua tratada	135
7.4 Fuentes de financiamiento	136
Conclusiones y Recomendaciones	138
Apéndice A. Evaluación de Impacto Ambiental	141
Apéndice B. Conductividad Eléctrica	146
Apéndice C. Gráficas para Diseño Hidráulico	147
Glosario	149
Glosario de Términos Financieros	162
Bibliografía	166

INDICE DE TABLAS, FIGURAS, GRAFICAS Y PLANOS

	página
Capítulo 1	
Figura 1.1 Croquis de localización de la E.N.E.P Aragón	3
Tabla 1.1 Número total de trabajadores en la dependencia	5
Tabla 1.2 Uso de suelo de la E.N.E.P Aragón	6
Gráfica 1.1 Población escolar 1990-1994 (continua)	6
Gráfica 1.1 Población escolar 1990-1994 (continuación)	7
Tabla 1.3 Población escolar 1990-1994	8
Plano 1.1 Distribución general	10
Capítulo 2	
Plano 2.1 Localización de fuentes de contaminación	13
Tabla 2.1 Número de muebles sanitarios y unidades de descarga	14
Plano 2.2 Ubicación de la Planta de Tratamiento	15

	página
Capítulo 3	
Plano 3.1 Localización de aforo, muestreo y sondeo	21
Tabla 3.1 Número de muestras de acuerdo al período de descarga	22
Tabla 3.2 Programa de muestreo	23
Tabla 3.3 Resultados de muestreo	23
Tabla 3.4 Límites máximos permisibles según NOM-CCA-031-ECOL/1993	25
Tabla 3.5 Límites máximos permisibles según NOM-CCA-032-ECOL/1993	26
Tabla 3.6 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	28
Tabla 3.7 Composición del agua residual de la E.N.E.P. Aragón	43
Capítulo 4	
Tabla 4.1 Metales nutrientes requeridos por la biomasa anaerobia	57
Figura 4.1a Reactores anaerobios de 1ª generación	62
Figura 4.1b Reactores anaerobios de 2ª generación	64
Figura 4.1c Reactores anaerobios de 3ª generación	66
Figura 4.2 Elementos de un RAFA	67
Figura 4.3 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	69
Tabla 4.2 Carga de diseño de reactores tipo RAFA	70
Tabla 4.3 Altura de lodo en los reactores tipo RAFA	71
Tabla 4.4 Tiempo de retención en el RAFA	72
Tabla 4.5 Determinación del número de orificios para la alimentación de un RAFA	73
Tabla 4.6 Características térmicas de los principales componentes del Agua Residual	76
Tabla 4.7 Otras características del biogás	76
Tabla 4.8 Composición del lodo obtenido en reactores tipo RAFA	77

	página
Capítulo 5	
Figura 5.1 Levantamiento topográfico	79
Figura 5.2 Perfil estratigráfico SM-1	81
Figura 5.3 Perfil estratigráfico SM-2	82
Figura 5.4 Flujiograma del proceso	84
Plano 5.1 Plano General	108
Plano 5.2 R.A.F.A.	107
Plano 5.3 Detalles	108
Capítulo 6	
Tabla 6.1 Gastos de diseño	110
Tabla 6.2 Estructuras de pretratamiento y bombeo y su función	111
Tabla 6.3 Componentes del RAFA	112
Tabla 6.4 Actividades del mantenimiento de la Caja Derivadora	113
Tabla 6.5 Actividades del mantenimiento de Rejillas	114
Tabla 6.6 Actividades del mantenimiento del Desarenador	114
Tabla 6.7 Actividades del mantenimiento de la Estación de Bombeo	116
Gráfica 6.1 Desarrollo de la concentración del lodo durante el proceso de granulación	117
Gráfica 6.2 Amanque vs. calidad de inóculo	116
Tabla 6.8 Parámetros de evaluación del afluente y del efluente	123
Tabla 6.9 Actividades generales de mantenimiento para la Planta de Tratamiento	125
Capítulo 7	
Tabla 7.1 Vida estimada y depreciación anual	129

CAPITULO 1

OBJETIVO :

Exponer el origen de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, así como sus características fisiográficas, su población, distribución y uso de la superficie de la misma.

1. ANTECEDENTES

1.1 Generalidades

Como consecuencia del aumento de la matrícula en la Universidad Nacional Autónoma de México, se originó una aguda concentración de escuelas, facultades e institutos en Ciudad Universitaria. Todo lo anterior repercutió de manera negativa en la calidad de enseñanza, la administración y los servicios de la Máxima casa de estudios

Por ello, la U.N.A.M. inició un programa de descentralización de la acción educativa, para lo cual se crearon las Escuelas Nacionales de Estudios Profesionales (E.N.E.P.), estas Escuelas se ubicaron en zonas de gran crecimiento urbano y generalmente en la periferia de la zona Metropolitana de la Ciudad de México, lo que permitió aumentar el número de inscripciones a las carreras con mayor demanda.

La E.N.E.P. Aragón fue inaugurada el 16 de enero de 1976 por el entonces rector de la Universidad Nacional, Dr. Guillermo Soberón Acevedo. Actualmente alberga al mayor número de alumnos que cualquier otra E.N.E.P., en ella se imparten 12 carreras, 3 maestrías y 2 especialidades.

La E.N.E.P. Aragón se localiza en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en el Municipio de Nezahualcóyotl, Edo. de México. El municipio de Nezahualcóyotl se encuentra 9 km al oriente de la ciudad de México, limita al norte con el Municipio de Ecatepec y con la Zona Federal del Ex-lago de Texcoco; al sur con la Delegación Política de Iztapalapa; al poniente con la Zona Federal del Aeropuerto Internacional Benito Juárez y las Delegaciones Políticas Gustavo A. Madero e Iztacalco; y al oriente con los Municipios de Chimalhuacán y los Reyes Acaquilpan (Fig. 1.1).

En particular el campus de la E.N.E.P. Aragón tiene las siguientes colindancias: al norte con la Colonia Impulsora Avícola Oriental cuya población es básicamente de bajo nivel socioeconómico; al sur con la Colonia Prados de Aragón y al este con la Colonia Plazas de Aragón, ambas zonas habitacionales de clase media; mientras que al oeste colinda con la zona residencial Bosques de Aragón, cuya población es de nivel socioeconómico alto.

Las vías de acceso al campus son, en primer término las avenidas 808, 412, Central y el arco norte del Periférico. En segundo término la Avenida Rancho Seco y el Boulevard Bosques de Africa.

De acuerdo con el Sistema de Koeppen el tipo de clima para esta zona es el BSkwg, que corresponde a un clima seco de estepa, semiárido-templado, ilueve durante el verano, la temperatura media anual es inferior a los 18°C en época invernal y la media del más caluroso es superior a 25°C. La temperatura máxima ocurre anterior al solsticio de verano. La precipitación anual fluctúa entre los 700 mm y 800 mm, mientras que la evaporación es de 1800 mm.

En cuanto geomorfología, la zona es esencialmente una planicie de regular tamaño comprendida entre las siguientes elevaciones; V.C. Chiconautla, V.C. Gordo, V.C. Chimalhuache.

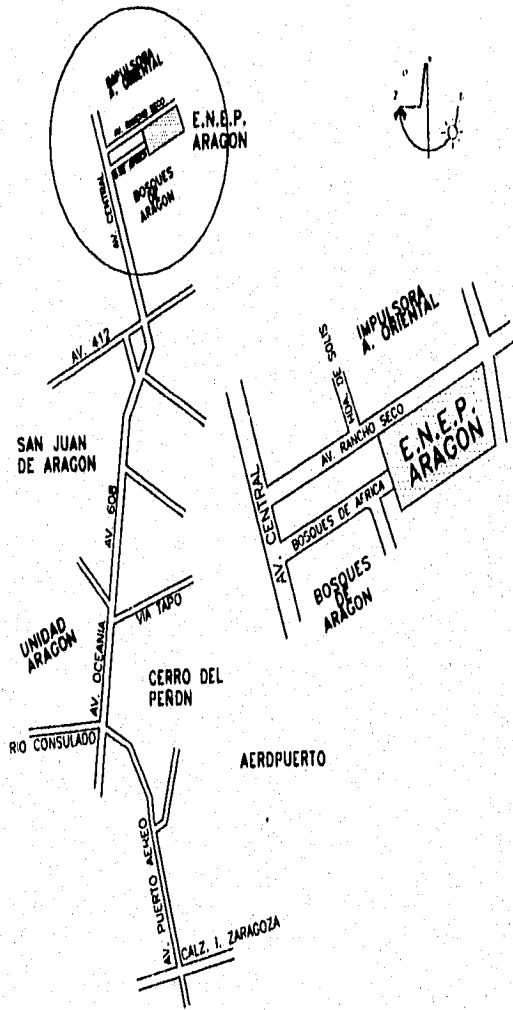


Figura 1.1 Croquis de localización de la E.N.E.P. Aragón

La zona en la que localiza la E.N.E.P. Aragón es susceptible a la sismicidad, esto se debe a las características regionales del subsuelo en la Cuenca del Valle de México, sobre todo en lo que correspondía al área lacustre y a la zona aluvial, tales características son¹ :

1. Agitación microsísmica muy amplia.
2. Temblores locales frecuentes.
3. Relaciones de daños inesperados como efecto de microsismos distantes.

La E.N.E.P. Aragón se ubica en un basamento que corresponde a las características típicas de la zona de Lago, por lo que la geológica corresponde a una arcilla poco limosa de alta compresibilidad con intercalaciones de arena fina, limo y vidrio volcánico. De acuerdo a la clasificación de la F.A.O., el tipo de suelo es Sch23Lan con suelo asociado SCg. Esto indica acumulación de sales en condiciones áridicas o fisiológicamente secas. Debido a las condiciones topográficas y climáticas el estrato superior del suelo acumula sales, lo cual limita el desarrollo de una cubierta vegetal densa y se reducen las especies susceptibles de establecerse.

Por lo que se refiere a la hidrografía, el predio se ubica en la cuenca del Río Moctezuma, de la Subcuenca del Lago de Texcoco y Laguna de Zumpango, de la Subcuenca tributaria Vaso de Texcoco-Cd. de México. Los cauces más importantes de la zona son el Río de los Remedios y el Dren General del Valle (que conducen aguas residuales de la Zona Norte y Nororiental de la Ciudad de México).

¹ NADER D., FIDEL y NORALES Y M. "Ex-lagos de Xochimilco y Chalco". Tomado del Simposio de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos "El subsuelo en la Ingeniería de Cimentaciones en el área urbana del Valle de México". México, Marzo 1978. Pag. 89.

1.2 Población de la ENEP

La E.N.E.P. Aragón se proyectó para una población máxima de 15,000 estudiantes de todas las carreras. En 1976 se inició la labor docente con 2,122 alumnos, 82 profesores y 200 trabajadores. Actualmente y de acuerdo a la información proporcionada por la Unidad de Planeación de la E.N.E.P. Aragón, se tiene un número total aproximado (ya que cada semestre varía dependiendo de las necesidades del plantel), de 2,254 trabajadores (Tabla 1.1); mientras que la población escolar a nivel licenciatura es de 12,911 (Tabla 1.2), con lo que la población total actual es de 15,165 personas. Esto quiere decir que si se toma en cuenta la población estudiantil, aun no se alcanza la población máxima de proyecto.

Tabla 1.1 Número total de trabajadores en la dependencia.

PERSONAL ADMINISTRATIVO		PERSONAL ACADÉMICO	TOTAL
DE BASE	DE CONFIANZA		
616	132	1507	2254

FUENTE: SECRETARÍA ADMINISTRATIVA. DEPARTAMENTO DE PERSONAL

NOTA: DATOS APROXIMADOS

En las Gráficas 1.1, se presenta la distribución de la población estudiantil, para cada carrera durante los últimos cuatro años.

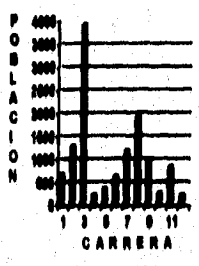
1.3 Distribución de edificios en la E.N.E.P.

La E.N.E.P. Aragón cuenta con una superficie de 350,800 m². Esta área, según el plan maestro proporcionado por el Departamento de Superintendencia, se distribuye la siguiente forma:

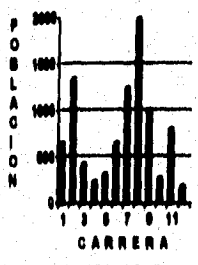
Tabla 1.2 Uso de suelo de la E.N.E.P. Aragón.

USO DE SUELO	Superficie (m ²)
Edificios	19 500
Plazas y andadores	19 040
Áreas verdes	139 500
Estacionamiento	36 000
Canchas deportivas	40 000
Reserva territorial de la escuela (área por el momento libre, suelo arbolado plano con 0.03)	96 760
Superficie total	360 800

Gráfica 1.1 Población escolar 1990 - 1994 (continua).

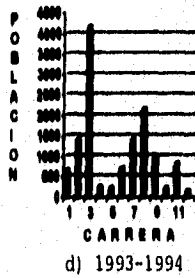
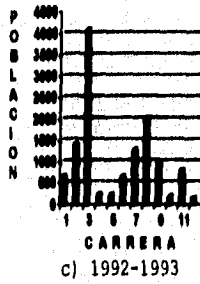


a) 1990-1991



b) 1991-1992

Gráfica 1.1 Población escolar 1990 - 1994.
(continuación)



- 1. ARQUITECTURA
- 2. COMUNICACION
- 3. DERECHO
- 4. DISEÑO INDUSTRIAL
- 5. ECONOMIA
- 5. INGENIERIA CIVIL
- 7. INGENIERIA EN COMPUTACION
- 8. INGENIERIA MECANICA ELECTRICA
- 9. PEDAGOGIA
- 10. PLANIFICACION P/D. AGROPECUARIO
- 11. RELACIONES INTERNACIONALES
- 12. SOCIOLOGIA

Tabla 1.3 POBLACION ESCOLAR 1989 - 1994

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1989	1990	1991	1992	1993	1994
ARQUITECTURA	280	271	271	280	280	271	280	271	271	280	280	271
COMERCIO	280	280	277	280	280	277	280	280	277	280	280	277
COMERCIO INDUSTRIAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ECONOMIA	80	148	280	280	280	280	80	148	280	280	280	280
INGENIERIA CIVIL	80	287	287	287	287	287	80	287	287	287	287	287
INGENIERIA EN COMPUTACION	134	280	280	280	280	280	134	280	280	280	280	280
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	280	280	1280	280	280	1280	280	280	1280	280	280	1280
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	280	1480	1480	1480	1480	1480	280	1480	1480	1480	1480	1480
INGENIERIA	280	784	784	784	784	784	280	784	784	784	784	784
RELACIONES INTERNACIONALES	280	211	280	280	280	211	280	211	280	280	280	211
PSICOLOGIA	280	284	280	280	284	280	280	284	280	280	284	280
SOCIOLOGIA	80	188	188	188	188	188	80	188	188	188	188	188
TOTAL	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280

FUENTE: UNIDAD ACADÉMICA

El plantel cuenta con las siguientes instalaciones: 12 edificios en su mayoría destinados a la cátedra, Módulo de Extensión Universitaria, Edificio de Gobierno, Biblioteca, Centro de Lenguas Extranjeras, Centro de Cómputo, Unidad de Planeación, Servicios Generales, Servicios de Apoyo, Laboratorios, Gimnasio, Comedor, Servicio Médico, Salón de Usos Múltiples, Clínica Odontológica, Regaderas y Vestidores.

Cuenta con tres sistemas para almacenar agua potable. La de mayor capacidad con 801.64 m³, se ubica en la zona deportiva; la que se encuentra bajo el edificio de Servicios Generales para 256.61 m³ y la del Módulo de Extensión Universitaria con 48.45 m³.

Además, se tiene proyectado construir cuatro edificios y una Unidad de Seminarios (Plano 1.1).

CAPITULO 2

OBJETIVO :

**Determinar la localización de las fuentes de contaminación y sus causas,
así como los criterios para la ubicación de la Planta de Tratamiento.**

2. TRABAJOS PRELIMINARES

2.1 Localización de las fuentes de contaminación

Es importante definir la localización de las fuentes de contaminación del agua y sus características, pues son un elemento de referencia en la caracterización del agua residual generada. De acuerdo con las actividades docentes, de servicios y deportivas de la E.N.E.P. Aragón, los tipos de contaminación más significativos son los siguientes:

- Contaminación por materia orgánica generada en los servicios de sanitarios y que en razón de la proporción que guarda con otras, es la que más importancia tiene.
- La contaminación que se genera en los laboratorios de Ingeniería mecánica y de fotografía, principalmente por el uso de las siguientes sustancias: Sulfato de sodio, Acido clorhídrico, Cloróxido de sodio, Nitrato de sodio, Acido bórico, Trisulfato de amonio, Acetato de sodio y Acido acético.

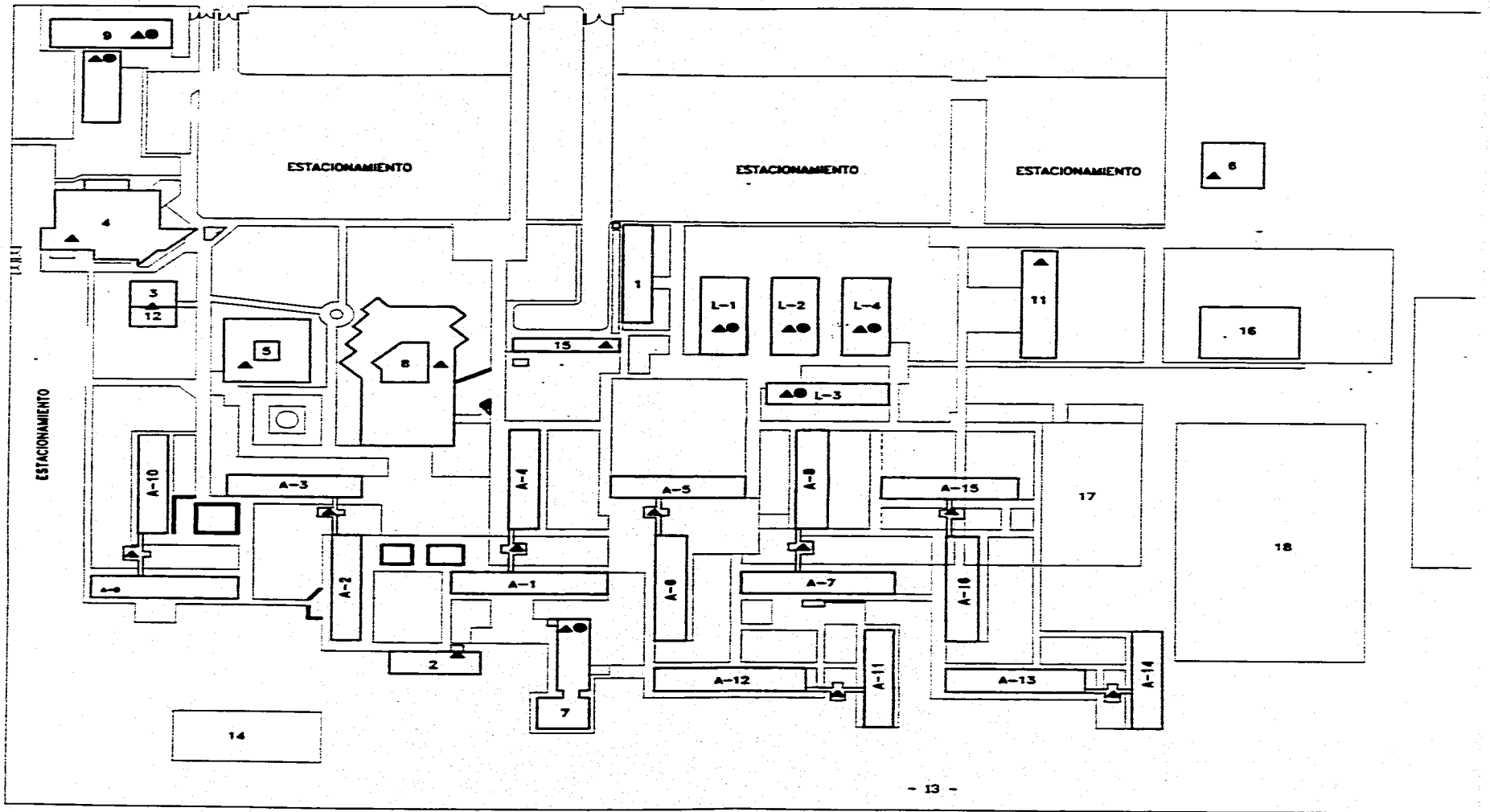
- Contaminación originada en la clínica odontológica por los siguientes materiales y sustancias; Yeso, Acido fosfórico, Mercurio, Sangre, Ligadura de plata, Alginatos, Cementos dentales, Oxido de zinc, Adhesivos (bamiz).
- Cabe la posibilidad de que exista contaminación de aguas freáticas en la red de alcantarillado debido a filtraciones o grietas en la tubería.

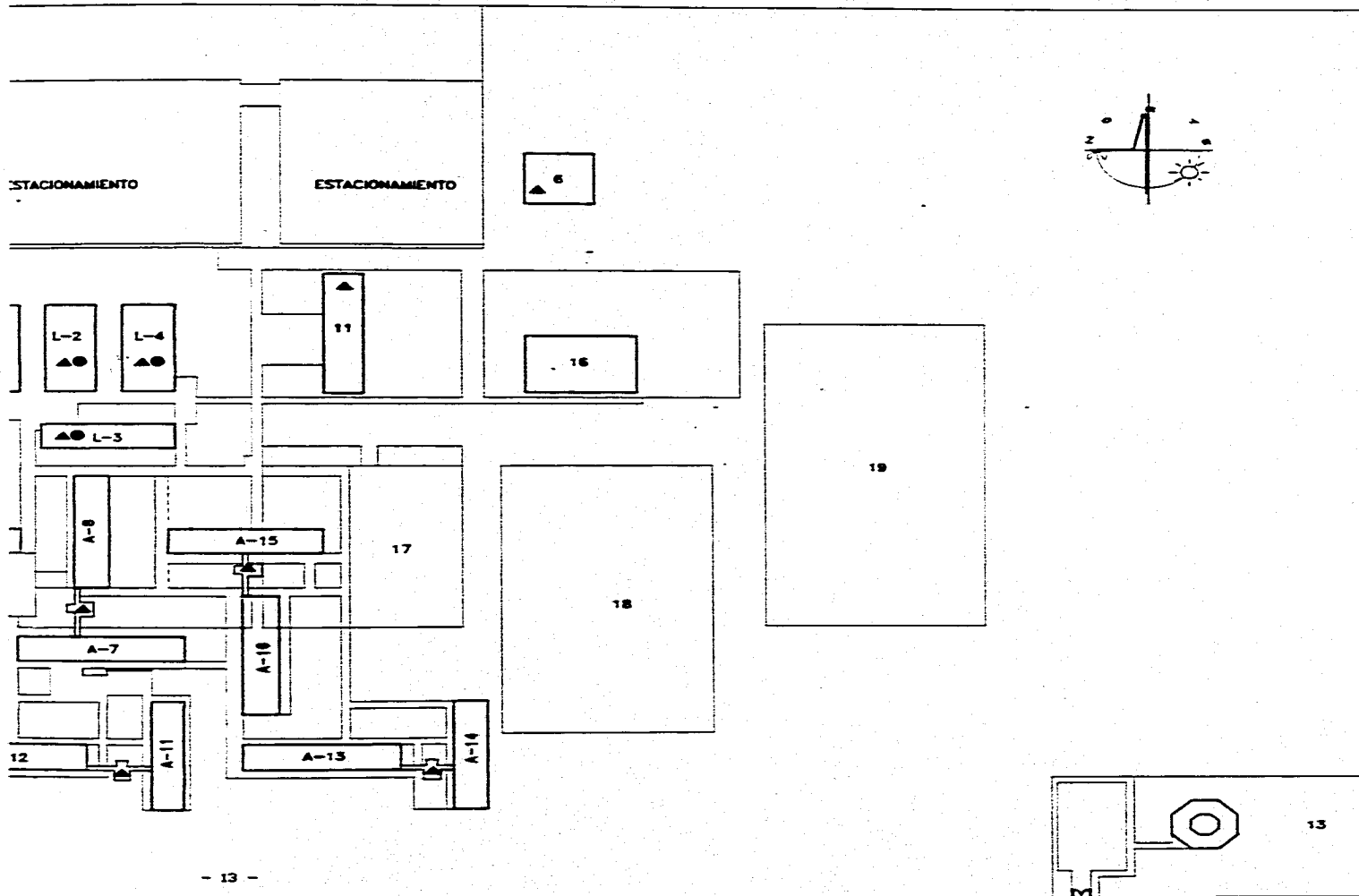
Las cantidades de sustancias y materiales utilizadas en los laboratorios y en la clínica odontológica son mínimas, por lo que se considera que su efecto para alterar el carácter residual doméstico del agua residual de la E.N.E.P. es despreciable, sobre todo si se toma en cuenta que el volumen descargado en los servicios sanitarios es superior en caudal y de manera constante. En el Anexo A se presentan las conclusiones de una Manifestación de Impacto ambiental referida a este proyecto.

En el Plano 2.1 se pueden localizar las fuentes de contaminación, y el número de servicios sanitarios se muestra en la Tabla 2.1.

2.2 Criterios para la ubicación de la Planta de Tratamiento y superficie disponible

Tomando en cuenta que a futuro se tiene planeado en la E.N.E.P. Aragón la construcción de cuatro edificios más, la Unidad de Seminarios y el Centro de Investigaciones, se optó por ubicar la planta de tratamiento de aguas residuales en la parte poniente del plantel -a espaldas del Módulo de Extensión-, que además se encuentra alejada de los edificios, para que la población no se vea afectada directamente por los olores generados en la planta. La superficie que se tiene asignada para la posible construcción de la Planta de tratamiento, está constituida por una franja de un ancho aproximado de 10 m por 50 m de largo. Ver Plano 2.2.





DESCRIPCION

1. Servicios Generales
2. Centro de Lenguas Extranjeras
3. Comedor
4. Módulo de Extensión
5. Edificio de Gobierno
6. Salón de Usos Múltiples
7. Unidad de Planeación, Unidad Académica y Centro de Computo
8. Biblioteca
9. Clínica Odontológica
10. Zona deportiva
11. Baños y vestidores
12. Servicios Médicos
13. Unidad de Seminarios
14. Centro de Investigación
15. Mantenimiento
16. Gimnasio
17. Canchas de Basketball
18. Canchas de Fútbol Americano
19. Pista de Atletismo y Cancha de Fútbol Soccer

• Proyectos Futuros

SIMBOLOGIA

- ▲ CONTAMINACION POR SECCION DE BARRILES Y ACEROS DE ABRACA.
 - CONTAMINACION POR SECCION DE SECCIONES DE LABORATORIOS CON EL SERVIDOR EN SU INTERIOR, LABORATORIOS Y CLINICAS.
- NOTA:
En algunos edificios se presentan varias clases de contaminación.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON - U.N.A.M.	
TIPO DE AMBITO	
LOCALIZACION DE FUENTES DE CONTAMINACION	P. DE INFORMACION DE OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION EN ESTE O EN OTRO PAIS (SEÑALAR, SI EXISTE) DEL CANTON TERRY ARIZC PLANTAS QUIMICAS, MINERAS, LABORATORIOS, CLINICAS, OTRAS FUENTES 2-1

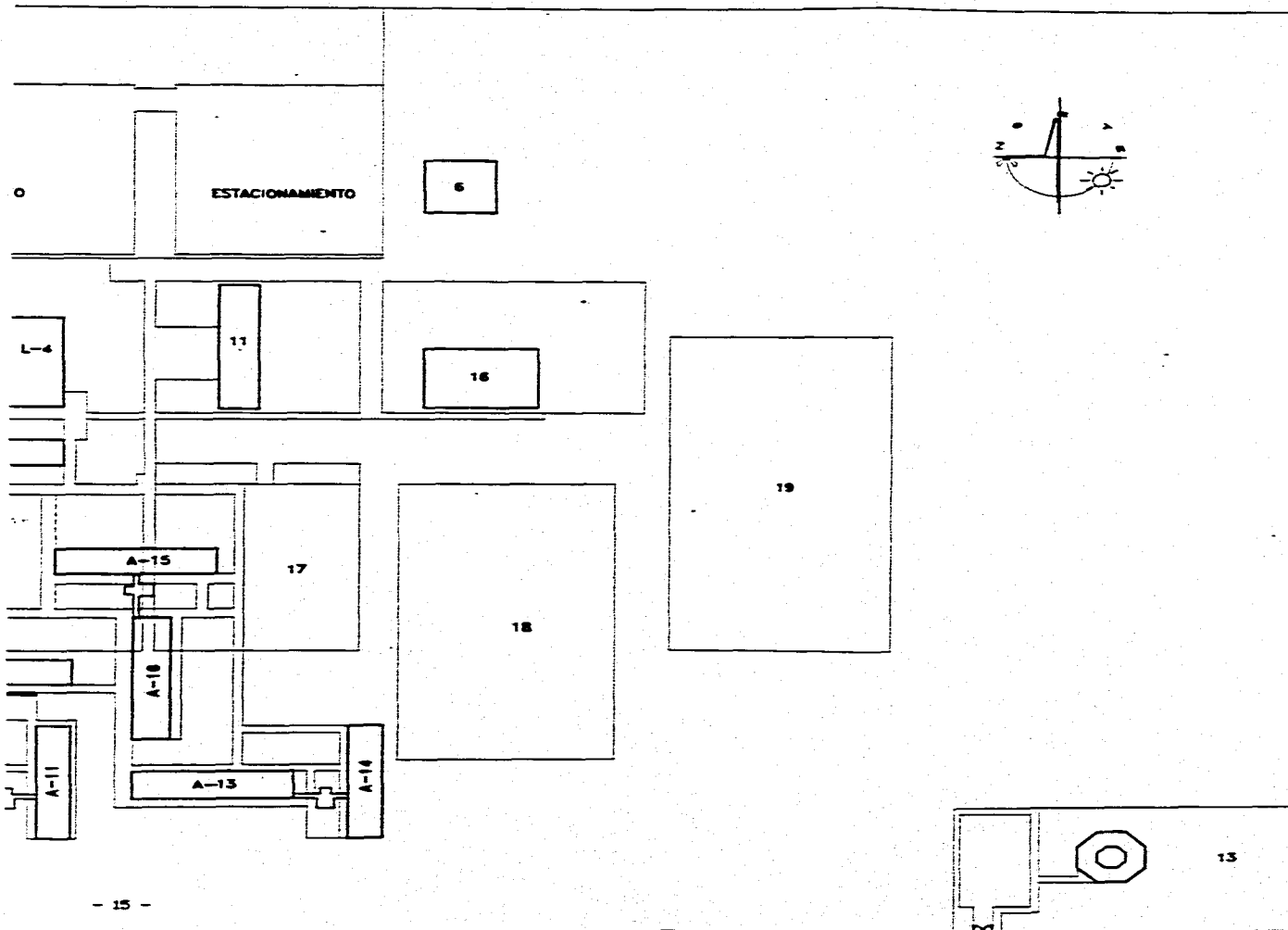
Tabla 2.1 Número de Muestras en Múltiples Sembrados y Unidades de Cultivo.

Cultivo	Sembrados			Unidades de Cultivo			Total		
	Nº	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Nº	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Nº	Superficie (ha)	Superficie (ha)
1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
3	1	1	1	1	1	1	2	2	2
4	1	1	1	1	1	1	2	2	2
5	1	1	1	1	1	1	2	2	2
6	1	1	1	1	1	1	2	2	2
7	1	1	1	1	1	1	2	2	2
8	1	1	1	1	1	1	2	2	2
9	1	1	1	1	1	1	2	2	2
10	1	1	1	1	1	1	2	2	2
11	1	1	1	1	1	1	2	2	2
12	1	1	1	1	1	1	2	2	2
13	1	1	1	1	1	1	2	2	2
14	1	1	1	1	1	1	2	2	2
15	1	1	1	1	1	1	2	2	2
16	1	1	1	1	1	1	2	2	2
17	1	1	1	1	1	1	2	2	2
18	1	1	1	1	1	1	2	2	2
19	1	1	1	1	1	1	2	2	2
20	1	1	1	1	1	1	2	2	2
21	1	1	1	1	1	1	2	2	2
22	1	1	1	1	1	1	2	2	2
23	1	1	1	1	1	1	2	2	2
24	1	1	1	1	1	1	2	2	2
25	1	1	1	1	1	1	2	2	2
26	1	1	1	1	1	1	2	2	2
27	1	1	1	1	1	1	2	2	2
28	1	1	1	1	1	1	2	2	2
29	1	1	1	1	1	1	2	2	2
30	1	1	1	1	1	1	2	2	2
31	1	1	1	1	1	1	2	2	2
32	1	1	1	1	1	1	2	2	2
33	1	1	1	1	1	1	2	2	2
34	1	1	1	1	1	1	2	2	2
35	1	1	1	1	1	1	2	2	2
36	1	1	1	1	1	1	2	2	2
37	1	1	1	1	1	1	2	2	2
38	1	1	1	1	1	1	2	2	2
39	1	1	1	1	1	1	2	2	2
40	1	1	1	1	1	1	2	2	2
41	1	1	1	1	1	1	2	2	2
42	1	1	1	1	1	1	2	2	2
43	1	1	1	1	1	1	2	2	2
44	1	1	1	1	1	1	2	2	2
45	1	1	1	1	1	1	2	2	2
46	1	1	1	1	1	1	2	2	2
47	1	1	1	1	1	1	2	2	2
48	1	1	1	1	1	1	2	2	2
49	1	1	1	1	1	1	2	2	2
50	1	1	1	1	1	1	2	2	2
51	1	1	1	1	1	1	2	2	2
52	1	1	1	1	1	1	2	2	2
53	1	1	1	1	1	1	2	2	2
54	1	1	1	1	1	1	2	2	2
55	1	1	1	1	1	1	2	2	2
56	1	1	1	1	1	1	2	2	2
57	1	1	1	1	1	1	2	2	2
58	1	1	1	1	1	1	2	2	2
59	1	1	1	1	1	1	2	2	2
60	1	1	1	1	1	1	2	2	2
61	1	1	1	1	1	1	2	2	2
62	1	1	1	1	1	1	2	2	2
63	1	1	1	1	1	1	2	2	2
64	1	1	1	1	1	1	2	2	2
65	1	1	1	1	1	1	2	2	2
66	1	1	1	1	1	1	2	2	2
67	1	1	1	1	1	1	2	2	2
68	1	1	1	1	1	1	2	2	2
69	1	1	1	1	1	1	2	2	2
70	1	1	1	1	1	1	2	2	2
71	1	1	1	1	1	1	2	2	2
72	1	1	1	1	1	1	2	2	2
73	1	1	1	1	1	1	2	2	2
74	1	1	1	1	1	1	2	2	2
75	1	1	1	1	1	1	2	2	2
76	1	1	1	1	1	1	2	2	2
77	1	1	1	1	1	1	2	2	2
78	1	1	1	1	1	1	2	2	2
79	1	1	1	1	1	1	2	2	2
80	1	1	1	1	1	1	2	2	2
81	1	1	1	1	1	1	2	2	2
82	1	1	1	1	1	1	2	2	2
83	1	1	1	1	1	1	2	2	2
84	1	1	1	1	1	1	2	2	2
85	1	1	1	1	1	1	2	2	2
86	1	1	1	1	1	1	2	2	2
87	1	1	1	1	1	1	2	2	2
88	1	1	1	1	1	1	2	2	2
89	1	1	1	1	1	1	2	2	2
90	1	1	1	1	1	1	2	2	2
91	1	1	1	1	1	1	2	2	2
92	1	1	1	1	1	1	2	2	2
93	1	1	1	1	1	1	2	2	2
94	1	1	1	1	1	1	2	2	2
95	1	1	1	1	1	1	2	2	2
96	1	1	1	1	1	1	2	2	2
97	1	1	1	1	1	1	2	2	2
98	1	1	1	1	1	1	2	2	2
99	1	1	1	1	1	1	2	2	2
100	1	1	1	1	1	1	2	2	2

* Centro de Estudios Agrarios
 ** Banco de Leña Misionera
 *** Unidad de Producción, Unidad Asesora y Centro de Cultivos

AB: Sembrados Abiertos
 BF: Sembrados Fijos
 T: Total

* Las unidades sembradas no están con hongos
 * Cultivos obtenidos de la Chaca Obligatoria
 C: Propagación interna



DESCRIPCION

1. Servicios Generales
2. Centro de Lenguas Extranjeras
3. Comedor
4. Módulo de Extension
5. Edificio de Gobierno
6. Salon de Usos Múltiples
7. Unidad de Planeacion, Unidad Académica y Centro de Computo
8. Biblioteca
9. Clinica Odontologicas
10. Zona deportes
11. Baños y vestidores
12. Servicios Medicos
13. Unidad de Seminarios *
14. Centro de Investigacion *
15. Mantenimiento
16. Gimnasio
17. Canchas de Basketball
18. Cancha de Futbol Americano
19. Pista de Atletismo y Cancha de Futbol Soccer

* Proyectos Futuros

SIMBOLOGIA



AREA RESERVA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON - U.N.A.M.

TOMO DE UBICACION

UBICACION DE LA
PLANTA DE
TRATAMIENTO

PROYECTO	PLAN DE UBICACION DE AGUAS RESIDUALES EN UNO A SE OESTE DEL CAMPUS DE LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES DE ARAGON
PROYECTANTE	DR. IGNACIO VILLALBA LÓPEZ
PROYECTADO EN	AGOSTO DE 1985
PROYECTADO POR	ING. JUAN CARLOS GARCÍA
PROYECTADO EN	AGOSTO DE 1985
PROYECTADO POR	ING. JUAN CARLOS GARCÍA

CAPITULO 3

OBJETIVO:

Obtener los gastos conforme a los requerimientos de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CCA-031-ECOL/1993 y NOM-CCA-032-ECOL/1993, de diseño y llevar a cabo la caracterización de las aguas residuales de la E.N.E.P. Aragón, además de analizar los resultados obtenidos en dicha caracterización.

3. CARACTERIZACION Y AFORO

3.1 Programa de aforo y muestreo

3.1.1 Aforo

El aforo se define como la medición del caudal de una descarga o conducción. Como resultado de los diferentes sistemas de conducción de las aguas residuales, se han establecido una gran variedad de métodos para aforar los gastos. El método más apropiado para usar en un caso determinado depende del volumen de la corriente, de las condiciones bajo las que se va a hacer el aforo y del grado de exactitud deseado.

Métodos de aforo. Los métodos utilizados para el aforo se clasifican generalmente en dos tipos: los de descarga directa y los de cálculo área-velocidad².

² METCALF/EDDY. *Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales* 2^{da} Ed. Labor. Barcelona, 1965, 900 pp.

Dependiendo de las condiciones de flujo se emplean los siguientes dispositivos y métodos:

1. Orificios
2. Canal de aforo Parshall
3. Medida volumétrica de la descarga (volumen/tiempo)
4. Cálculo basado en las medidas de calado y pendiente
5. Toberas y diafragmas
6. Tubo de Venturi
7. Molinetes
8. Flotadores
9. Tubos de Pitot
10. Trazadores de colorante

El método más utilizado en la práctica, es el cálculo basado en las medidas de calado y pendiente. Este consiste en realizar mediciones de calado de la corriente en el lugar y la pendiente de la alcantarilla. Se elige un valor para el coeficiente de rugosidad. Se trata de una aproximación que depende directamente de la regularidad de flujo y la precisión del coeficiente de rugosidad elegido.

3.1.2 Método de aforo utilizado

Inicialmente se pensó en utilizar el método de calado y pendiente para la medición del caudal de aguas residuales, pero en el sistema de alcantarillado de la E.N.E.P. Aragón se registra azolvamiento y a los pozos de visita los separan grandes distancias, lo que no permite llevar a cabo una determinación adecuada.

Se consideró más factible, para estas condiciones, la utilización de flotadores. Un flotador consiste de un trozo de madera o de otro material que flote en la superficie del agua y que viaja como una parte de la corriente. Para medir la velocidad de una corriente

con flotador, se selecciona un tramo con una longitud conocida y se lanza el flotador al centro de la corriente, midiendo el tiempo que emplea en recorrer el tramo conocido. La velocidad se calcula con la relación distancia entre tiempo, además de considerar el área hidráulica de la conducción, para a partir de la ecuación de continuidad $Q = V \cdot A$, determinar el gasto. Para tener un valor más real de la velocidad media de la corriente, la velocidad obtenida se multiplica por un factor de corrección de 0.85. Los gastos obtenidos en la descarga de la E.N.E.P. Aragón son:

$Q_{min} =$	4.66	lts/seg
$Q_{med} =$	9.33	lts/seg
$Q_{m\acute{a}x.inst.} =$	16.67	lts/seg
$Q_{m\acute{a}x.ext.} =$	25.00	lts/seg

Como la determinación de caudal se desarrolló en un día que no se presentó lluvia, para calcular el caudal de aguas pluviales que pudiera circular por el sistema de alcantarillado, se procedió de la siguiente manera; gasto pico resultó igual a 1,463.35 lts/seg de acuerdo a una intensidad de lluvia de 61.2 mm/hr, una duración de 30 min y un coeficiente de escurrimiento de 0.2938, para un período de retorno de 5 años.

Evidentemente, la planta de tratamiento de aguas residuales contará con una estructura de derivación y un cárcamo de bombeo, que controlarán la entrada del influente a la planta de forma tal, que se mantenga constante la aportación a la misma.

3.1.3 Muestreo

El muestreo consiste en recoger una porción de agua residual lo suficientemente pequeña para ser manejada convenientemente en el laboratorio, que sea representativa del sistema y que no existan cambios significativos durante el período que transcurre entre el muestreo y el posterior análisis.

Toma de muestras. La calidad de las aguas negras que fluyen en un sistema de drenaje no es constante, tienen lugar cambios de calidad respecto al tiempo y a espacio, es decir, la calidad. De la misma forma en la superficie es distinta a la del fondo y, la calidad por la mañana es diferente de la calidad por la tarde.

Existen dos tipos de muestras que deben recolectarse dependiendo del propósito de los análisis y en dado caso, de las necesidades del proyecto de saneamiento de las aguas, los tipos de muestras son los siguientes:

a) Muestras instantáneas. Consisten en una porción de aguas negras que se toma una vez, únicamente reflejan las condiciones en el momento del muestreo, y por lo tanto su uso para diagnóstico o diseño es muy limitado y sujeto a consideraciones muy específicas.

b) Muestras integradas o compuestas. Están formadas por una mezcla de muestras que se toman a intervalos regulares, siendo proporcional el volumen de cada muestra al flujo de aguas negras en el momento de la toma. Indican las características de las aguas negras durante cierto período de tiempo. Las muestras parciales deben recogerse con la frecuencia suficiente para lograr resultados promedio. Si la concentración y el gasto no fluctúan repentinamente, basta tomar porciones cada hora durante períodos de 12 horas. En caso contrario puede requerirse de muestras a cada media hora o a cada quince minutos. Los períodos de muestreo pueden variar para cubrir 4, 8 o 12 horas. Por regla general, las muestras compuestas determinan de manera más específica las características de las aguas negras que se van a tratar y reduciendo considerablemente el margen de error en el diseño de las unidades de tratamiento de las unidades de tratamiento, con lo cual la propuesta responde.

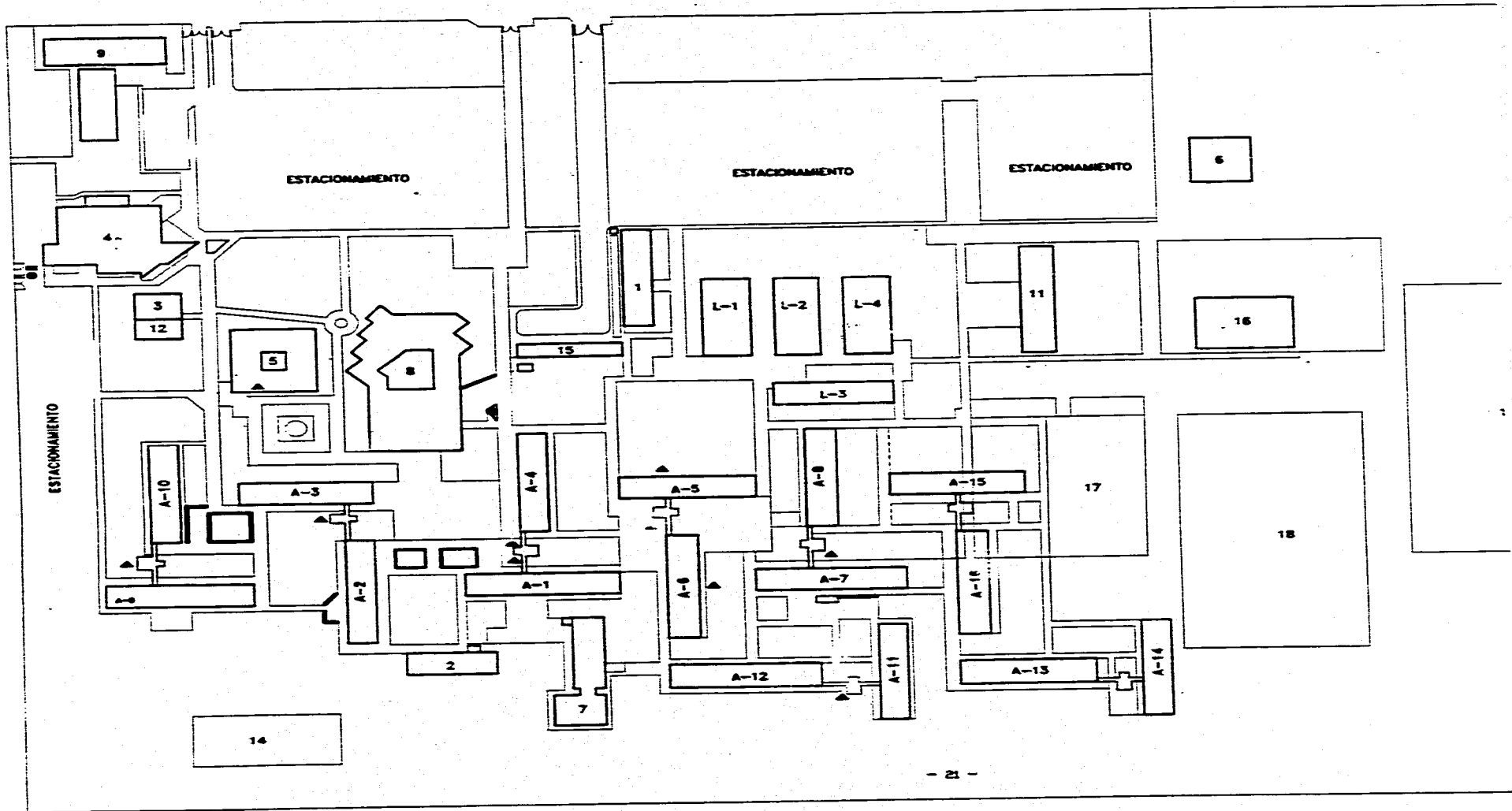
3.1.4 Criterios y procedimiento de muestreo

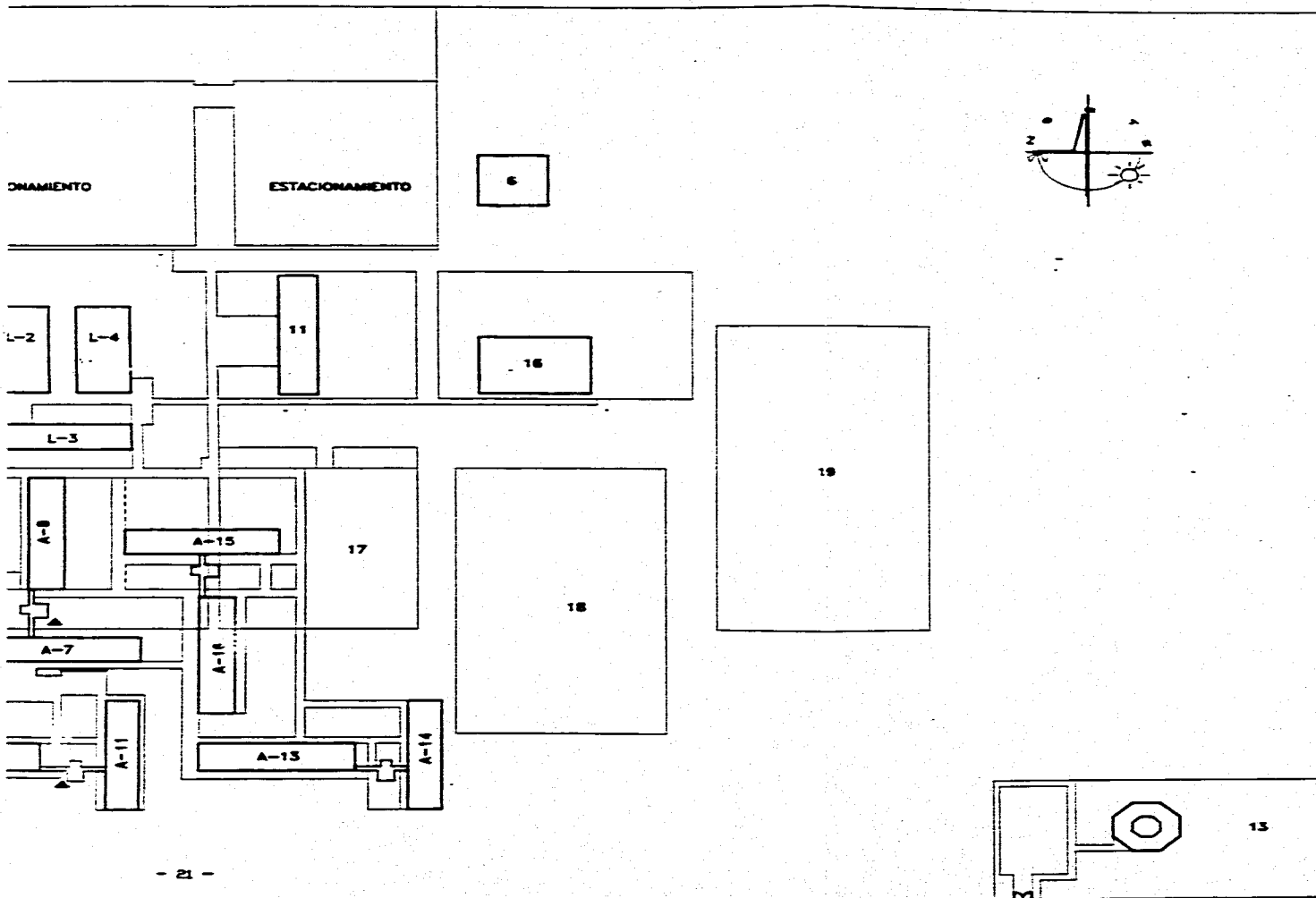
Como las condiciones son diferentes para cada sistema se debe adaptar el procedimiento más apropiado según el sistema y los tipos de muestreo.

Para el caso particular de la E.N.E.P. Aragón, se tomaron muestras compuestas en el pozo donde confluyen los tres circuitos de que consta la red de alcantarillado, debido a que es en este sitio donde se obtiene una mezcla de todas las aguas residuales que se generan en la escuela (Plano 3.1).

La calidad de las aguas negras puede alterarse durante el tiempo que dura el muestreo, por lo tanto, se requiere conservar las muestras parciales a baja temperatura y/o agregarles algún tipo de preservativo, para inhibir los procesos biológicos (que de esta forma se producirían), cuidando que no se altere la composición del agua (lo cual se reflejaría en los resultados del análisis correspondiente).

Se considera que la actividad docente y de servicio que genera la descarga de la E.N.E.P. Aragón tiene un período de duración de 15 horas diarias, según la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031/1993, el número de muestras simples que corresponde a este período es de seis (Tabla 3.1). En este caso se prepararon dos muestras compuestas de 4,000 ml cada una, a partir de siete muestras simples (una más que el número establecido por la Norma Oficial Mexicana).





DESCRIPCION

1. Servicios Generales
2. Centro de Lenguas Extranjeras
3. Comedor
4. Módulo de Extensión
5. Edificio de Gobierno
6. Salas de Usos Múltiples
7. Unidad de Planeación, Unidad Académica y Centro de Computo
8. Biblioteca
9. Clínica Odontológica
10. Zona deportiva
11. Baños y vestidores
12. Servicios Médicos
13. Unidad de Seminarios
14. Centro de Investigación
15. Mantenimiento
16. Gimnasio
17. Canchas de Basquetbol
18. Canchas de Fútbol Americano
19. Pista de Atletismo y Canchas de Fútbol Soccer

• Proyectos Futuros

SIMBOLOGIA

- LOCALIZACION DE PUNTO DE AFORO.
- LOCALIZACION DE PUNTO DE SONDREO.
- ▲ LOCALIZACION DE PUNTO DE SONDREO.

NOTA:
 En caso de punto de aforo, se indica la capacidad máxima.

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
 ARACÓN - U.S.A.-M.**

**LOCALIZACION DE
 AFORO, MUESTREO
 Y SONDREO**

PUNTO DE AFORO PUNTO DE SONDREO PUNTO DE SONDREO	
No. de punto de aforo No. de punto de sondeo	No. de punto de aforo No. de punto de sondeo

Tabla 3.1 Número de muestras de acuerdo al período de descarga.

HORAS POR LA CADA OPERA EN PROCESO OPERACION PARA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS	NÚMERO DE MUESTRAS	
		MINIMO	MAXIMO
Hasta 6	4	1	2
Más de 6 y hasta 12	4	2	3
Más de 12 y hasta 18	6	2	3
Más de 18 y hasta 24	6	3	4

Con la siguiente fórmula, se obtuvo el volumen de muestra por unidad de gasto instantáneo para formar la muestra compuesta de 4000 ml

$$VR = VT / QpN$$

donde:

VR : Volumen de muestra por unidad de gasto

VT : Volumen total de la muestra

Qp : Gasto promedio

N : Número de muestras

así, entonces:

$$Qp = 15.24 \text{ lps}$$

$$VT = 4,000 \text{ ml}$$

$$N = 7 \text{ muestras}$$

y el volumen de muestra por unidad de gasto (VR) es:

$$VR = 35.9 \text{ ml / lps}$$

En las tablas 3.2 y 3.3 se observan el programa de aforo y los resultados de éste, respectivamente.

Tabla 3.2 Programa de muestreo.

NUMERO MUESTRA	HORA
1	6:00
2	10:30
3	13:00
4	16:30
5	18:00
6	20:00
7	22:00

Tabla 3.3 Resultados de muestreo.

NUMERO MUESTRA	Punto de muestreo	GASTO (¢)	VR (ml/ps)	muestra simple (ml)
1	P1	16.67	37.5	625.12
2	P1	25.00	37.5	937.50
3	P1	9.33	37.5	349.87
4	P1	9.33	37.5	349.87
5	P1	16.67	37.5	625.12
6	P1	25.00	37.5	937.50
7	P1	4.66	37.5	172.50
			sumatoria	4 000.00

* Muestreo realizado el 20 de Junio de 1985

3.2 Caracterización

El análisis de las aguas se realiza para determinar aquellos constituyentes que le confieren la característica de residual y además pueden causar dificultades para su tratamiento, así como para la elección del tipo de tratamiento adecuado.

La caracterización se lleva a cabo ajustándose a los parámetros y límites máximos que se establecen en las Normas Oficiales Mexicanas, en Materia de Protección Ambiental de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Dichas normas se seleccionan conforme a la disposición y, en su caso, al reuso del agua residual. De esta manera se puede determinar si es necesario que el agua residual sea tratada. En este caso, la caracterización y análisis de los resultados obtenidos se comparan con las siguientes normas:

- Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, deberán cumplir con las especificaciones que se indican en la Tabla 3.4.
- Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, deberán cumplir con las especificaciones que se indican en la Tabla 3.5.

Tabla 3.4 Límites máximos permisibles según
NOM-CCA-031-ECOL/1993.

	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Temperatura (°C)		40°C (313°K)
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables	5	10
Grasas y aceites	60	100
Conductividad eléctrica (microhm/cm)	5000	8000
Aluminio	10	20
Arsenico	0.5	1.0
Cadmio	0.5	1.0
Cianuros	1.0	2.0
Cobre	5	10
Cromo hexavalente	0.5	1.0
Cromo total	2.5	5.0
Fluoruros	3	6
Mercurio	0.01	0.02
Níquel	4	8
Plata	1.0	2.0
Piomo	1.0	2.0
Zinc	6	12
Ferros	5	10
Sustancias activas al azul de metileno	30	60

Unidades en mg/l salvo las que se indiquen.

Tabla 3.5 Límites máximos permisibles según NOM-CCA-032-ECOL/1993.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH (unidades de pH)	6.5 a 8.5
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	120
Sólidos suspendidos totales	120
Aluminio	5.0
Arsénico	0.1
Boro	1.5
Cadmio	0.01
Cianuros	0.02
Cobre	0.2
Cromo Total	0.1
Hierro	5.0
Fluoruros	3.0
Manganeso	0.2
Níquel	0.2
Piomo	5.0
Selenio	0.02
Zinc	2.0

Unidades en mg/l, salvo las indicadas.

3.3 Métodos de determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos³

Los parámetros característicos de las aguas residuales se puede separar en tres grupos diferentes: los físicos, los químicos y los biológicos. En la tabla 3.6 se enlistan estos parámetros en relación al origen del agua residual.

Los parámetros que se pueden determinar en laboratorio básicamente son los químicos y los biológicos; sin embargo, también los físicos se pueden corroborar a través de este medio. Los parámetros analizados para las aguas residuales de la E.N.E.P. Aragón, se describen a continuación.

Temperatura. El agua en general adquiere la temperatura del ambiente y su variación con respecto a este es muy poca. Está sujeta al clima local, la profundidad y la fuente de abastecimiento. La variación de la temperatura puede indicar principio de contaminación, pudiéndose afectar las actividades biológicas, la solubilidad de los gases y la viscosidad que influye sobre la sedimentación. La temperatura del agua contaminada tiende a ser mayor en comparación con las aguas naturales en el mismo medio; la temperatura elevada indica casi siempre que se han vertido residuos calientes.

La medición de la temperatura, es una de las pruebas que tienen que hacerse forzosamente en campo. La temperatura se mide con un termómetro de laboratorio que tiene una precisión de 1/10 de grado.

Color. El color del agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. Se puede obtener en campo y en laboratorio. Los métodos

APHA, AWWA, WPCF. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª ed. Ed. Díaz de Santos, S.A. Madrid, 1992.

3.6 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

Físicas	
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Químicos	
Orgánicos:	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos industriales y domésticos
Grasas animales aceites y grasas minerales	Residuos industriales, comerciales y domésticos
Agentes tensioactivos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Inorgánicos:	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua doméstica, residuos industriales, extracción de aguas subterráneas
Alcalinidad	Residuos domésticos, suministro de agua doméstica, extracción de aguas subterráneas
Nitrógeno	Residuos agrícolas y domésticos
Fósforo	Residuos industriales y domésticos, derrame natural
Azufre	Suministro de agua doméstica y residuos industriales
Compuestos tóxicos	Residuos industriales, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Residuos industriales
Gases:	
Oxígeno	Suministro de agua doméstica, infiltración de agua de la superficie
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas domésticas
Metano	Descomposición de aguas domésticas
Biológicas	
Protozoos	Residuos domésticos, plantas de tratamiento
Virus	Residuos domésticos
Plantas	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Animales	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento

aplicables para su determinación son el método espectrofotométrico y el método de filtro triestímulo.

Olor. Generalmente el olor se debe a la presencia de materia orgánica en descomposición proveniente de microorganismos; si además el agua contiene cloro, la intensidad del olor aumenta. Las pruebas de olor se llevan a cabo para proporcionar descripciones cualitativas y medidas cuantitativas aproximadas de la intensidad del olor. La intensidad del olor es muy variable, y los procedimientos analíticos no son satisfactorios para su medición, teniéndose que confiar en el sentido del olfato, variando éste de acuerdo con el individuo. Es importante considerar que rápidamente se atrofia este sentido. Para casos muy especiales se emplean métodos de laboratorio que llegan a definir el número de olor incipiente.

Turbiedad. La turbiedad del agua es producida por materia en suspensión o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La dispersión luminosa depende del tamaño, la forma y el índice de las partículas. El método para determinar la turbiedad se basa en el turbidímetro de Jackson. La turbiedad debe determinarse de preferencia el mismo día en que se toma la muestra. Para su determinación en campo se usa el método colorimétrico en el que se utilizan tiras de papel tornasol, las cuales al sumergirse en el agua toman color azul, rojo, amarillo, naranja, violeta, etc. dependiendo de si el pH es ácido o básico y de su intensidad. Todos estos colores vienen tabulados correspondiendo según los tonos registrados a determinados valores del pH. Este método da solamente una idea de los valores del pH, no es exacto debido a las interferencias producidas por color, turbiedad, sustancias coloidales, cloro libre, etc. Para fines prácticos, en ocasiones es suficiente conocer los valores de esta manera.

Acidez. La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. La acidez constituye la medida de una propiedad sobreañadida del agua y puede interpretarse en términos de sustancias específicas solamente cuando se conoce la composición química de la muestra. Con arreglo al método de determinación, los ácidos minerales fuertes, los ácidos débiles como el carbónico y el acético, y las sales hidrolizables, como los sulfatos de hierro y aluminio, pueden incrementar la acidez determinada.

Los ácidos incrementan también la corrosividad e interfieren los índices de reactividad química, su especificación y los procesos biológicos. La medida también refleja las variaciones de la calidad de la fuente del agua. Para la conservación de la muestra es necesario mantenerla a baja temperatura. Dado que las muestras pueden estar sujetas a la acción microbiana y a pérdidas o ganancias de dióxido de carbono y otros gases cuando se exponen al aire, las muestras deben analizarse sin demora, preferiblemente el primer día. El método para determinar la acidez es el método de titulación.

Alcalinidad. La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. Las determinaciones de alcalinidad se utilizan en la interpretación y el control de aguas limpias y residuales. Las aguas residuales domésticas tienen una alcalinidad menor que la del suministro (o solo ligeramente mayor). La conservación de la muestra al igual que el método para su determinación, son los mismos que para la acidez.

Conductividad eléctrica. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados. A la inversa, las

moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula.

La medición física practicada en una determinación de laboratorio suele ser de resistencia, medida en ohmios o megohmios. El recíproco de la resistencia es la conductancia, que mide la capacidad para conducir una corriente y se expresa en ohmios recíprocos o mhos. Se prefiere el término "conductividad" y por lo general se expresa en micromhos por centímetro (micromhos/cm).

Dureza. De acuerdo a los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico, en mg/l.

Cuando la dureza es numéricamente mayor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, esta cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad total se denomina "dureza de carbonato"; la cantidad de dureza que excede a ésta se llama "dureza no carbonatada".

Cuando la dureza es numéricamente igual o menor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, toda la dureza es de carbonato, estando ausente la del bicarbonato. Existen dos métodos para su determinación: el cálculo de la dureza, que es aplicable a todas las aguas y proporciona una gran exactitud; y el método de titulación con EDTA que con las debidas modificaciones, puede aplicarse a cualquier clase de agua.

Sólidos. Los sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas residuales. Los análisis de sólidos son importantes en el control de sistemas de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

- Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenidos por un filtro, y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro.
- Sólido fijo es la expresión aplicada al residuo de sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a combustión durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada. La pérdida de peso por combustión se debe a los sólidos volátiles. Las determinaciones de sólidos fijados y volátiles no distinguen exactamente entre materia orgánica e inorgánica, porque la pérdida de peso por combustión no se limita al material orgánico, sino que incluye también pérdida por descomposición o volatilización de algunas sales minerales.

El análisis debe iniciarse lo antes posible, pues resulta poco útil preservar la muestra. Refrigerarse a 4 °C hasta realizar el análisis para reducir al mínimo la descomposición microbiológica de los sólidos. Los resultados pueden ser expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l).

Oxígeno disuelto (OD). Es importante la presencia de oxígeno disuelto en el agua, para que se lleve a cabo el proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica. La concentración de OD de las aguas puede también relacionarse con la corrosividad, con la actividad fotosintética y con el grado de septicidad que poseen, pues lo agota la materia orgánica al iniciar su transformación.

En aguas negras la solubilidad es aproximadamente el 95% respecto al de aguas dulces. La concentración de oxígeno disuelto en una muestra puede expresarse en mg/l; en partes por millón (ppm) o como porcentaje de la saturación.

La determinación de la prueba de OD es una de las más significativas, especialmente cuando se combina con la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y de estabilidad relativa. Se requiere hacerla en forma inmediata, debido a la pérdida o a la ganancia que hay de acuerdo con el contenido de materia orgánica, tanto productora como consumidora de oxígeno. Por lo menos debe fijarse en campo y determinarlo posteriormente en laboratorio. Se obtiene usando el método de Winkler con sus modificaciones para evitar interferencias; una de las más empleadas es la de Alsterberg que elimina la interferencia de los nitritos.

Nitrógeno amoniacal. Se encuentra de forma natural en las aguas superficiales y residuales. Se produce en gran parte por desaminación de los compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. Las concentraciones de amoníaco halladas en el agua residual pueden ser de más de 30 mg/l. Generalmente la determinación manual directa de concentraciones bajas de amoníaco se limita a las aguas potables, aguas superficiales limpias y diluyentes residuales nitrificados de buena calidad. En casos donde existan interferencias y se requiere mayor precisión se requiere un paso preliminar de destilación. Para concentraciones elevadas de amoníaco es preferible la técnica de destilación y titulación.

Entre las técnicas colorimétricas manuales están: La nesslerización y el método de la sal de fenol. También se utiliza un método de electrodo selectivo de amoníaco, una versión automatizada de la sal de fenol.

Si no es posible un análisis rápido de las muestras se debe conservar con 0.8 ml de ácido sulfúrico concentrado por litro de muestra y mantenerlas a 4 °C. El pH de las muestras conservadas debe estar entre 1.5 y 2. Algunas aguas residuales requieren de una mayor cantidad de ácido para conseguir un valor de pH que se encuentre dentro del rango establecido. Si es utilizada la concentración con ácido, las muestras deben ser

neutralizadas con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio antes de hacer la determinación.

Fósforo. Este elemento se encuentra como fosfatos en aguas residuales. Se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados (pirofosfatos, metafosfatos y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicamente combinados. Cantidades mayores de algunos de estos compuestos son adicionados cuando el agua es utilizada para el lavado u otras formas de limpieza por la razón de que estos materiales son principales constituyentes de muchos productos de limpieza comercial.

Los fosfatos orgánicos se forman principalmente por procesos biológicos, estos son descargados a las aguas de alcantarillado por desechos humanos y residuos alimenticios; también se forman a partir de los ortofosfatos en procesos de tratamiento biológico o por la biota de un agua receptora.

Los análisis de fósforo sirven principalmente para el control de la dosificación de productos químicos en tratamientos de agua. Para estudios de calidad del agua interesa la determinación de fósforo de ortofosfatos y fósforo total, debido a que las fracciones de fosfato son convertidas a ortofosfatos solamente por oxidación de la materia orgánica contenida en el agua. El fósforo total se encuentra en suspensión y combinado con la materia orgánica.

Los métodos para su análisis son de dos tipos: los métodos de digestión y los métodos colorimétricos (del ácido vanadomolibdofosfórico, de cloruro estanoico o el del ácido ascórbico). La muestra se debe filtrar, después de obtenerla, si hay que diferenciar las formas de fósforo y debe conservarse a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ además de titularse con cloruro mercurico (HgCl_2).

Hierro. En muestras de agua el hierro puede estar en forma de solución auténtica en estado coloidal que puede ser peptizado por materia orgánica, en complejos inorgánicos u orgánicos de hierro en partículas suspendidas relativamente gruesas. Puede estar en forma ferrosa o férrica suspendida o disuelta.

La muestra se debe tratar con ácido en el momento de la toma para disolver el hierro y evitar la adsorción o depósito sobre las paredes del recipiente de muestra. Los métodos para determinar el hierro son: el método espectrométrico de absorción atómica, el método de plasma de acoplamiento y el método de la fenantrolina.

Zinc. Para su determinación se prefieren los métodos de espectrometría de absorción atómica y de plasma de acoplamiento inductivo. El método de ditiizona II y el método de zincón también se pueden utilizar. Las muestras se analizan dentro de las 6 horas de su toma.

Manganeso. La determinación del manganeso total no diferencia entre los diversos estados de valencia. El ion permanganato heptavalente se emplea para oxidar el manganeso y/o la materia orgánica causante del sabor. Debe detectarse con gran sensibilidad el exceso de permanganato, el manganeso trivalente en forma de complejo, o una suspensión de manganeso tetravalente, para el tratamiento de control y para evitar su descarga a un sistema de distribución.

El manganeso se debe determinar enseguida de tomar la muestra. Cuando es inevitable un cierto retraso, se puede determinar el manganeso total si se acidula la muestra en el momento de su toma empleando HNO_3 hasta un $\text{pH} < 2$. Se puede determinar mediante: el método de absorción atómica, el método de plasma de acoplamiento inductivo y el método de persulfato.

Níquel. Los métodos espectrométricos de absorción atómica y de plasma de acoplamiento inductivo son los seleccionados para todas las muestras. El método de heptoxima o de dimetilgloxima se puede utilizar, con precisión más pobre, si no se dispone de instrumental para el método espectrométrico de absorción atómica.

Metales pesados. Se conservan las muestras inmediatamente después de la toma de muestras, acidulando con ácido nítrico concentrado a $\text{pH} < 2$. Se filtran las muestras para metales disueltos antes de guardarlas. En estas condiciones de metal de varios miligramos por litro se mantienen estables a lo largo de un período de hasta seis meses (excepto el mercurio, cuyo límite es de cinco semanas). Para niveles de metal del orden de microgramos por litro, se analizan las muestras lo antes posible después de tomadas.

a) **Plomo.** El plomo es un veneno que se acumula en el organismo. Las aguas de tomas domiciliarias blandas y ácidas y que no reciben un tratamiento adecuado contienen plomo como resultado del ataque a las tuberías de servicio.

El método espectrométrico de absorción atómica tiene un límite de detección relativamente alto en la modalidad de llama. El método de absorción atómica electrotermica es más sensible y para bajas concentraciones. El método de ditiona es sensible y específico como procedimiento colorimétrico.

b) **Cobre.** Las sales de cobre son utilizadas en los sistemas de suministro de agua para control de crecimientos biológicos en depósitos y tuberías de distribución y para catalizar la oxidación de manganeso. La corrosión de las aleaciones que contiene cobre en accesorios de tuberías pueden introducir cantidades medibles de cobre en el agua de un sistema de conducción.

Se recomienda emplear los métodos espectrométrico de absorción atómica, de plasma de acoplamiento inductivo y de la neocuproína, pues no presentan interferencias.

c) **Cromo.** Frecuentemente se añaden cromatos al agua de refrigeración para control de la corrosión. El cromo puede encontrarse en los suministros de agua en estado hexavalente y trivalente.

El método colorimétrico es utilizado para determinar el cromo hexavalente en agua natural o tratada para su potabilidad. Para niveles bajos de cromo total (< 60 mg/l), en aguas naturales y residuales se emplea el método espectrométrico de absorción atómica electrotrémica (horno de grafito). Para medir concentraciones del orden de mg/l se utiliza el método de plasma de acoplamiento inductivo.

Materia orgánica. Cuando el agua residual tiene una intensidad media, el 75% son sólidos suspendidos y un 40% de sólidos que se filtran son de origen orgánico. Derivan de los organismos animales, vegetales; así como de las actividades humanas que se vinculan con la síntesis de compuestos orgánicos. Se forman generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, en algunas ocasiones junto con nitrógeno, además de que pueden hallarse otros elementos como azufre, fósforo y hierro. Los grupos de sustancias orgánicas contenidas en el agua residual son: proteínas de 40 a 60%, carbohidratos de 25 a 50%, y grasas y aceites 10%. Otro compuesto es la urea (elemento de la orina) pero por la rapidez con que se descompone no es común encontrarla en agua no muy reciente.

Las proteínas son los principales componentes del cuerpo animal y en las aguas residuales de redes de alcantarillado en menor proporción. Contienen carbono, oxígeno e hidrógeno; así como una proporción elevada constante de nitrógeno de aproximadamente el 16%; otros elementos son el azufre, fósforo y hierro. Las proteínas y la urea son las principales fuentes de nitrógeno, cuando este se presenta se pueden producir olores desagradables en proporción a la descomposición.

Los carbohidratos engloban almidones, azúcares, fibra de madera y celulosa, todos se encuentran en las aguas residuales. Están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno.

Los azúcares están predispuestos a descomponerse, las enzimas de ciertas bacterias dan las condiciones para que se realice la fermentación con la producción de alcohol y dióxido de carbono. Los almidones son estables pero son transformados a azúcares por actividad microbiana y a causa de ácidos minerales diluidos.

Las grasas animales y los aceites son el tercer componente de los alimentos, incluyen los conceptos de aceites, ceras, etc. que también constituyen el agua residual. Su cantidad es determinada a través de la extracción de una muestra con hexano, la grasa soluble en hexano así como el queroseno y aceites lubricantes, además de los aceites que proceden de materiales bituminosos. El contenido de grasas en el agua residual, produce problemas en las alcantarillas y en plantas de tratamiento. Se debe eliminar antes del vertido del agua residual pues influye en la actividad biológica de las aguas y se crean películas y materia de flotación casi imperceptibles. Además contiene pequeñas cantidades de diferentes moléculas orgánicas sintéticas, para este caso agentes tensioactivos; muchas de estas sustancias no pueden descomponerse biológicamente o es muy lento el proceso.

Para determinar el contenido de materia orgánica en las aguas residuales, se realizan diferentes pruebas, en particular, para este proyecto se seleccionaron las siguientes: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y para agentes tensioactivos, la de sustancias activas al azul de metileno. Estas pruebas se describen a continuación.

a) *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*. Es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales. Se define como la cantidad de oxígeno requerido por la bacteria para degradar a la materia orgánica en condiciones aerobias. Es decir, la "degradación" se lleva a cabo cuando la materia orgánica sirve como alimento de la bacteria y obtiene de ella energía derivada de su oxidación. Esta prueba es considerada como un proceso de oxidación húmeda en el que

los organismos vivos oxidan a la materia orgánica a dióxido de carbono y agua. La prueba DBO aún con sus limitaciones, se utiliza para:

- 1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente;
- 2) determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, y
- 3) medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.

Con esta base se pueden interpretar los datos de la DBO en términos de materia orgánica así como la cantidad de oxígeno empleada para la oxidación la cual se considera completa a los 20 días. Sin embargo, para propósitos prácticos, se usa un período normal de incubación más corto, en el que tenga lugar una proporción razonablemente alta de la descomposición total posible, pero que suministre todavía un resultado dentro del tiempo útil de muestreo. Las condiciones normales aceptadas son: incubación durante 5 días a 20 grados centígrados. La prueba consiste en diluir una mezcla, convenientemente, con una población mixta; que se compone de bacterias aeróbicas y otros organismos que oxidan la materia orgánica, así como bacterias autótrofas que oxidan la materia no carbonosa, de microorganismos en una muestra de los residuos. Se mide la concentración de oxígeno disuelto, se incuba la muestra a la temperatura ya determinada se basa principalmente en las determinaciones de oxígeno disuelto (este se puede medir directamente con el método de las diluciones), la muestra se incuba con una solución que contiene los nutrientes necesarios y con una solución amortiguadora que evita los cambios bruscos de pH. Normalmente, se preparan varias diluciones para cubrir la gama completa de valores. Se considera que el proceso de descomposición en la prueba ocurre en dos etapas. En la primera, la descomposición es de los nutrientes carbonáceos, cuya descomposición se acerca a su terminación después de aproximadamente la primera semana a 20 °C. En la segunda etapa, son los nutrientes nitrogenados los que se oxidan primero y se hace significativa después de dos semanas a 20 °C, y resulta ser el proceso dominante después de cerca de tres semanas. Así, en la prueba normal de 5 días, la DBO

registrada se debe virtualmente a la descomposición de la proporción principal de los nutrientes carbonáceos.

Para que cualquier resultado de una prueba sea significativo, es vital que no ocurra cambio alguno entre el muestreo y la prueba. Es posible que la muestra contenga microorganismos activos que descompondrán en dicho período algunos de los componentes de la muestra. Nunca se le puede añadir un biocida como el cloruro mercurico a manera de conservador. Por lo que se debe almacenar en refrigeración a 4°C.

b) *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*. Al igual que la DBO, se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de aguas naturales como residuales, sin embargo, tiene la ventaja de ser más rápida que la determinación de la DBO. Se basa principalmente, en la oxidación de la materia orgánica a través de un agente químico fuertemente oxidante en condiciones ácidas. El oxidante que por excelencia se utiliza para éste fin, es el dicromato de potasio. El ensayo debe realizarse a temperatura elevada.

Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos es necesita un catalizador como el sulfato de plata. Puesto que en la prueba se producirán interferencias producidas fundamentalmente por iones inorgánicos reducidos que se pueden oxidar durante la determinación dando resultados erróneos por lo que debe tenerse cuidado de eliminarlos previamente.

La DQO de un agua residual es, en general, mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por esta vía química que biológicamente. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DBO con la DQO. Esto puede resultar muy útil ya que la DQO puede determinarse en tres horas comparado con los 5 días que supone la DBO. Una vez que se ha establecido la correlación, pueden utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamiento.

Generalmente la relación DQO-DBO para aguas residuales es 2:1, siempre y cuando no exista influencia industrial.

Detergentes aniónicos (Agentes tensoactivos). Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua, que causan espumas en las plantas de tratamiento así como en las aguas a las que se vierten efluentes residuales. Los agentes tensoactivos tienden a acumularse en la intemperie aire-agua. Los detergentes sintéticos (A.B.S.) que son una cadena alquil-benceno-sulfonatos de sodio, conducen a ciertas perturbaciones sobre las aguas de los ríos que se traduce en producción de espuma; son producto de difícil desdoblamiento biológico. Son característicos en aguas negras de origen doméstico por lo que su presencia indica contaminación en éstas. El problema directo es la producción de espuma; los indirectos provienen de su particularidad para abatir la tensión superficial del agua.

Existen varios métodos para su determinación entre los que se emplea más frecuentemente el del azul de metileno y los agentes aniónicos; la sal formada es soluble en cloroformo produciendo una coloración proporcional al contenido.

Coliformes totales. Las bacterias del grupo de los coliformes se encuentran en el intestino y en las heces de los animales de sangre caliente; entre ellas suele haber gérmenes capaces de producir gas a partir de la lactosa en un medio de cultivo adecuado a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación con heces fecales y, por tanto, de la calidad sanitaria. El significado de las pruebas y su interpretación son precisas y se utilizan como patrones de comparación de la calidad bacteriológica de las aguas.

Existen dos métodos estándar para la detección de las bacterias del grupo coliforme: Técnica del filtro de membrana y Técnica de fermentación en tubos múltiples. Los resultados de los análisis de coliformes mediante el segundo método se representan como el Número Más Probable (NMP), que es un registro del número de bacterias coliformes que, con mayor probabilidad, podría dar los resultados arrojados en el análisis efectuado, no es un número real. El método de filtro de membrana, permite el recuento directo de las colonias de coliformes; la densidad de coliformes se expresa en NMP o recuento en filtro de membrana por 100 ml.

Es recomendable refrigerar la muestra durante el transporte para disminuir en lo posible los cambios, sobre todo cuando la temperatura ambiente es superior a 13 °C.

3.4 Resultados y discusión de la caracterización de aguas residuales de la E.N.E.P. Aragón

Como ya se mencionó, los parámetros determinados se comparan con lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CCA-031-ECOL/1993 y NOM-CCA-032-ECOL/1993, y los análisis se realizaron en el Laboratorio de la Residencia General de Plantas de Tratamiento y en el Laboratorio Analítico del Proyecto Lago de Texcoco⁴. Los resultados se muestran en la Tabla 3.7.

3.4.1 Análisis de resultados

Comparando los resultados obtenidos con las normas referidas, se llegó a las siguientes conclusiones:

⁴ El muestreo se llevó a cabo el día 20 de Junio de 1995.

Tabla 3.7 Composición del agua residual de la E.N.E.P. Aragón.

PARAMETROS		VALORES
Análisis físico-químico		
pH (micromho/cm 25°)		8,9
Conductividad eléctrica		8687
Oxígeno disuelto (OD)		3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ₅		145
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		310
Demanda Química de Oxígeno Soluble		100
Sólidos Totales		4830
Sólidos Totales Fijos		3535
Sólidos Totales Volátiles		1405
Sólidos Sedimentables (ml)		4,5
Alcalinidad	Fenofaleína	79,82
CaCO ₃	Carbonatos	159,84
	Total	1297,14
	Bicarbonato	1137,5
Duraza	Total	234,24
CaCO ₃	Calcio	111,84
	Magnesio	122,8
	Cloruros	1284,75
	Sulfatos	325,71
	Sodio	1087
	Potasio	168,4
Nitrógeno Amoniacal		18,42
Fosfatos	Orto	18,9
	Totales	29,37
Plomo		< 0,0018
Cobre		0,14
Cromo		0,04
Hierro		6,23
Zinc		0,399
Manganeso		0,48
Níquel		< 0,18
Análisis bacteriológico		
Coliformes totales (NMP/100ml)		9 300 000
Coliformes fecales (NMP/100ml)		4 300 000

Nota: Todas las unidades en mg/l, salvo donde se indica.

- pH, cumple con el especificado en la Norma 31, y rebasa el límite máximo establecido en la Norma 32. Para efectos de proyecto puede inhibir el proceso de tratamiento anaerobio.
- Conductividad eléctrica, es mayor que los límites establecidos en ambas normas. Esto se debe a que el tipo de suelo del área es salino-ácido y en consecuencia el agua freática contiene altos contenidos de sodio, se infiere que existe filtraciones del manto freático hacia la red de alcantarillado. Esto puede corroborarse si se observan los niveles de sodio y cloruros, que son altos.
- Los niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) son idóneos para efectos de diseño del proyecto.
- Por lo que se refiere a los parámetros restantes, estos se encuentran dentro de los límites permisibles por las Normas Oficiales Mexicanas.

NOTA:

Como se mencionó, los niveles de conductividad eléctrica obtenidos en el análisis quedaron fuera de norma, por lo cual se realizaron sondeos para definir las causas de esos altos niveles. En el apartado de conclusiones y recomendaciones, se exponen ampliamente dichas causas, así como las posibles medidas correctivas. Así también, los resultados de estos sondeos se pueden apreciar en el Anexo B y la ubicación de los miosos en el Plano 3.1.

CAPITULO 4

OBJETIVO:

Describir las características del proceso de digestión anaerobia incluyendo: los factores que lo afectan, los parámetros de evaluación, los tipos de digestores anaerobios que existen y, específicamente, el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A.). Análogamente, definir las características y criterios de diseño del R.A.F.A. y de los subproductos derivados del mismo.

4. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

4.1 Generalidades

Existen dos tipos de procesos para el tratamiento de aguas residuales: los biológicos y los físico-químicos. Dentro de los primeros se encuentran los tratamientos aerobios y anaerobios y son utilizados cuando los principales contaminantes son biodegradables; los físico-químicos son aplicados a aguas con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable.

Las aguas residuales domésticas generalmente se tratan mediante procesos de este tipo, ejemplos de ellos son: la planta de lodos activados, los filtros biológicos, los procesos anaerobios, las lagunas de estabilización y recientemente el uso de bacterias específicas genéticamente seleccionadas para desarrollar bioremediación in situ.

Procesos físicos unitarios. Son los métodos de tratamiento en que predomina la aplicación de fuerzas físicas. Fueron los primeros en ser usados en el tratamiento de aguas

residuales. El desbaste, mezclado, sedimentación, flotación y filtración son algunos procesos de este tipo.

Procesos químicos unitarios. Cuando la eliminación de los contaminantes es provocada por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas se conocen por procesos químicos unitarios. La floculación, transferencia de gases, la precipitación, la desinfección y la adsorción son ejemplos de estos procesos.

Procesos biológicos unitarios. En estos se consigue la eliminación de contaminantes por una actividad biológica. Se utiliza esencialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas), presentes en el agua residual. Esas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que pueden eliminarse por sedimentación. En la mayoría de los casos con un control adecuado el agua puede ser tratada con estos procesos.

Como medida previa a cualquier diseño es necesario determinar la factibilidad de un tratamiento. Para este efecto existen, entre otras, las pruebas de biodegradabilidad que permite evaluar el potencial de remoción de la materia contaminante en un agua mediante microorganismos, por medio de estas pruebas puede determinarse:

- a) La rapidez de reacción (tasa de biodegradabilidad)
- b) Porcentaje máximo de biodegradabilidad
- c) Influencia de la carga orgánica
- d) Detectar efectos inhibitorios

Estas pruebas permiten la evaluación de algunas variables en un período relativamente corto. Puede conocerse también la influencia de la carga orgánica de la dilución, de la temperatura e inclusive del pH o la adición de micronutrientes. Los métodos

se basan en medir a lo largo del tiempo la producción de subproductos del tratamiento y la depuración alcanzada.

En el caso particular de este trabajo, es más importante considerar la biodegradabilidad. Para determinar la biodegradabilidad de los contaminantes presentes en el agua residual, las pruebas se pueden hacer para los microorganismos aerobios o anaerobios, lo cual da una idea aproximada del comportamiento y la rapidez de reacción de las bacterias que se puede esperar en un tratamiento constante.

4.2 Proceso de digestión anaerobia

Definición. La digestión anaerobia es un proceso que produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular.

Los tratamientos anaerobios son utilizados para aguas residuales y para la digestión de lodos. Los procesos finales de la degradación anaerobia son gases, principalmente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H_2).

Básicamente el tratamiento anaerobio de las aguas residuales consiste en la transformación de la materia orgánica disuelta en un gas (biogás), que contiene principalmente metano y dióxido de carbono.

4.2.1 Microbiología y bioquímica del proceso

La conversión biológica se produce en tres etapas:

1. De hidrólisis y fermentación
2. De acetogénesis

3. De metanogénesis

La primera etapa incluye la transformación (licuefacción) por la acción de enzimas de los compuestos de alto peso molecular en otros que podrían servir como fuente de energía y de carbono celular. En la siguiente fase se produce la conversión bacteriana de los compuestos que resultaron en la primera en compuestos intermedios de menor peso molecular. La última fase implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simple, principalmente metano y dióxido de carbono.

Hidrólisis y fermentación⁵

Con ésta etapa se inicia la digestión anaeróbica. Los polímeros naturales como la celulosa, la pectina, la proteínas, etc., o compuestos de más bajo peso molecular (aminoácidos, sacáridos, lípidos, compuestos aromáticos, etc.), son transformados por hidrólisis y fermentación en ácidos carboxílicos, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. Los ácidos carboxílicos producidos son principalmente ácidos grasos volátiles: propionato, iso-butirato e isovalérico.

Las bacterias que actúan en esta etapa pertenecen a diferentes grupos y pueden ser anaerobias facultativas o estrictas. Entre ellas las bacterias anaeróbicas celulolíticas han despertado un gran interés por su capacidad de hidrolizar la celulosa, y ultimamente se han descubierto numerosas bacterias celulolíticas como: *Acetovibrio cellulolyticus*, *Clostridium thermocellum*, *Clostridium populetti*, *Clostridium cellulolyticum*, etc.

En la actualidad se incrementa al interés por las bacterias capaces de fermentar los compuestos aromáticos, como los procedentes de la lignina, los que se encuentran en los

⁵ JEAN-PIERRE GUYOT ORSTOM. "Introducción a la microbiología de los digestores anaerobios". Tomado del ciclo de conferencias: Tratamiento anaerobio de aguas residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, 8 y 9 de noviembre de 1980.

efluentes de la industria química (fenoles, ácido benzocarboxílico, ácido fenilacético, etc.), los derivados de ácidos aminados, etc.

En ésta etapa si no existe un buen control del reactor, puede ocurrir una desestabilización del proceso, dado que si ocurriera una sobrecarga la hidrólisis de la materia orgánica provoca una sobreproducción de ácidos que van a acidificar exageradamente el medio y bajar el pH hasta niveles inhibitorios. Además se puede producir un exceso de hidrógeno que va a inhibir la metanogénesis.

Acetogénesis⁶

Durante esta etapa, los productos de fermentación generados anteriormente son convertidos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por un grupo de bacterias denominadas "bacterias acetogénicas productoras obligatorias de hidrógeno" u OHPA en inglés (obligate hydrogen production acetogen). La particularidad de estas bacterias es que son inhibidas por el hidrógeno que producen, y es necesario que este no se acumule en el medio. Por ello las bacterias OHPA tienen una estrecha relación con bacterias que remueven el hidrógeno, bacterias llamadas hidrogenofílicas. Generalmente, estas bacterias son metanogénicas pero si el medio contiene sulfatos, las bacterias sulfato-reductoras (BSR) sustituyen a las metanogénicas. Cabe señalar que cuando el medio no tiene sulfatos, ciertos grupos de BSR son capaces de establecer una relación simbiótica con las metanogénicas hidrogenofílicas, de la misma manera que las bacterias OHPA.

La relación simbiótica que se establece entre bacterias productoras de hidrógeno y bacterias hidrogenofílicas, y que procura una ventaja para los donadores de hidrógeno recibe el nombre de transferencia interespecie de hidrógeno. Las bacterias OHPA y ciertas BSR en ausencia de sulfatos realizan una reacción de acetogénesis a partir de los

⁶ JEAN-PIERRE GUYOT ORSTOM, *op. cit.* pag. 44.

compuestos de la primera etapa con producción obligatoria de hidrógeno por las metanogénicas, permitiendo finalmente un balance energético favorable.

Una sobrecarga de un reactor o una inhibición de las bacterias hidrogenofílicas, pueden conducir a una sobreproducción de hidrógeno cuya acumulación va a inhibir la digestión anaerobia y llevar al reactor a fallar.

Esta etapa tiene igual importancia que la primera. Numerosas bacterias fermentativas son capaces de transferir electrones vía el hidrógeno a bacterias hidrogenofílicas, lo que resulta por parte de estas bacterias facultativas de un incremento en acetato, y en consecuencia una ganancia energética. Sin esta transferencia, o en caso de una acumulación de hidrógeno, las bacterias fermentativas producirían mayores cantidades de compuestos tales como etanol, lactato, propionato, butirato, etc. Esto no es interesante para el sistema ya que está diseñado para una producción máxima de acetato, principal precursor del metano en los reactores anaerobios. Algunas de las bacterias OHPA capaces de llevar a cabo la degradación de los ácidos grasos son:

Syntrophomas wolfei (McInemey et al., 1981), que oxida los ácidos monocarboxílicos saturados de C4 a C8 en acetato e hidrógeno para los ácidos a número impar de carbono.

Syntrophobacter wolini (Boone et Bryant, 1980), que oxida al propionato en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno.

Syntrophospora bryantii (Stieb et Schink, 1985; Zhao et al., 1990), que oxida los ácidos grasos de C4 a C11.

Syntrophus buswellii (Mounfort, 1984), que es una bacteria OHPA capaz de oxidar al benzoato.

Además de las bacterias OHPA, existen otros grupos relevantes para la acetogénesis, las más importantes son las siguientes:

Bacterias homoacetogénicas. Este grupo es capaz de transformar una mezcla hidrógeno, dióxido de carbono, y algunos sacáridos, tal como la glucosa y la fructosa en acetato únicamente. Bacterias homoacetogénicas como *Clostridium formicoaceticum* (Andriessen et al., 1970) y *Acetobacterium woodii* (Balch et al., 1977) son capaces de realizar esta etapa.

Bacterias sulfatoreductoras (BSR). Estas bacterias se caracterizan por su capacidad de reducir los sulfatos en sulfuros de hidrógeno. La importancia de este grupo en los digestores depende principalmente de la presencia de sulfato en el efluente a tratar y también de la capacidad de unas BSR de establecer en ausencia de sulfato, una transferencia interespecie de hidrógeno con bacterias metanogénicas.

Por otro lado, también pueden reducir los sulfatos, utilizando como donador de electrones el hidrógeno producido por las acidogénicas y entonces, el hidrógeno libre no podrá ser utilizado por las metanobacterias para las sulfato-reductoras. Por lo anterior en presencia de una elevada concentración de sulfatos la metanogénesis puede ser desplazada.

Metanogénesis⁷

En esta etapa las bacterias metanogénicas catabolizan acetato y compuestos de un carbono a metano. Estas bacterias, estrictamente anaeróbicas, son los organismos claves del proceso de digestión anaerobia, son los únicos capaces de transformar el acetato e hidrógeno en productos finales gaseosos. Las bacterias metanogénicas acetoclásticas (convierten ácido acético en anhídrido carbónico y metano), son de crecimiento muy lento

MARIA VIÑAS/LAVIER MARTINEZ/BRUNO BASELLI/CECILIA GALAIN. "Separación de etapas acidogénica y metanogénica: un ejemplo con agua residual de fabricación de pulpa termomecánica". Ciclo de Conferencias: Tratamiento anaerobio de aguas residuales en América Latina.

con tiempos de duplicación de alrededor de 2 a 3 días. Las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas (utilizan hidrógeno libre y óxido de carbono para su crecimiento formando metano), son de crecimiento rápido con tiempos de duplicación de 6 a 11 horas.

La velocidad de reacción de la etapa más lenta es la que controla el proceso, lo que depende de la naturaleza del sustrato, de la configuración del proceso, temperatura y carga del reactor.

En los mecanismos específicos incluidos en la formación del metano, las bacterias metanogénicas pueden ser capaces de utilizar tres categorías de sustratos:

- a) Los ácidos grasos menores que contienen seis o menos átomos de carbono (fórmico, acético, propiónico, butírico, valérico, caproico).
- b) Alcoholes normales e isocoholes que contienen de uno a cinco átomos de carbono (metanol, etanol, propanol, butanol, pentanol).
- c) Tres gases inorgánicos (hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono).

4.2.2 Factores que afectan la digestión anaerobia

La inhibición del proceso de digestión anaerobia puede ocurrir debido a la presencia de materiales tóxicos en el sistema; éstos pueden ser componentes del influente de un agua residual, o un subproducto de la actividad metabólica de las bacterias en el digestor. Las sustancias tóxicas que originan la inhibición incluyen sulfitos, los cuales se pueden generar durante el procesamiento de las aguas al momento de formarse la mezcla de fermentación. En resumen los factores que afectan la digestión anaerobia son:

- Sobrecargas orgánicas
- Sobrecargas tóxicas
- Sobrecargas hidráulicas

- No existencia en el residuo de nitrógeno y fósforo compatibles con la existencia del carbono.

Para controlar cualquiera de estos factores se pueden adicionar sustancias que reduzcan el potencial tóxico o que aumenten la cantidad de nutrientes o que de alguna manera puedan hacer más viable el proceso.

4.2.3 Parámetros de evaluación de la operación del proceso de digestión anaerobia⁹

Los principales factores ambientales que inciden en un proceso anaerobio para el tratamiento de un agua residual, se vinculan con aquellos parámetros cuyo control permite un buen crecimiento de la biomasa y en consecuencia una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica y en la producción de biogás.

Es importante el conocimiento de estos factores para poder evitar cualquier falla en el proceso y tomar medidas correctivas a tiempo cuando sea necesario.

a) Volumen y composición de los gases producidos. El volumen de gases producidos es el primer indicador del buen o mal funcionamiento del proceso de digestión anaerobia, la disminución en la cantidad de gases producidos ocurren antes que el aumento de la concentración de ácidos volátiles. En la digestión anaerobia de residuos domésticos, los valores más usuales del factor de conversión del sustrato en gas son de 0.3 a 0.6 l de gas/gr de SV adicionados. Otra forma de expresar la conversión es en litros de CH_4 /gr DQO consumido, que para aguas domésticas tiene valor de 0.15 l de CH_4 /gr de DQO consumido aproximadamente.

⁹ DR ADALBERTO NOYOLA ROBLES. 'Tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales con reactores avanzados'. Tomado del ciclo de conferencias: Tratamiento de aguas residuales municipales para cumplir con la NOM-087-ECOL-1984. Ciudad de México, del 10 al 14 de julio de 1985.

b) Temperatura. La temperatura afecta a las constantes de equilibrio químico, produciendo desplazamientos en los valores de varios parámetros, como alcalinidad, pH, precipitaciones o solubilización de compuestos inorgánicos, cambios en la composición del gas por efecto de la diferente solubilidad, etc.

En general un aumento limitado de temperatura de corta duración hace que la actividad microbiana aumente; sin embargo si esta temperatura se mantiene la degradación del complejo enzimático celular y el aumento de la muerte microbiana, reduce el número de microorganismos pudiendo llegar a desaparecer especies microbianas completas.

El proceso puede ocurrir en la fase mesofílica, de 20 a 40°C o en la fase termofílica, de 50 a 65 °C. Aunque a mayor temperatura la velocidad de reacción es mayor, es preferible trabajar en el rango mesofílico ya que a más temperatura los rendimientos energéticos son menores, debido a la necesidad calorífica para mantener el digestor a 60 °C.

Es importante operar en la fase mesofílica ya que no existen variaciones significativas de temperatura. Sin embargo, si la variación de temperatura se hace gradualmente, el sistema se puede adaptar a otras temperaturas.

c) pH. Es uno de los factores más importantes para que exista una buena eficiencia del proceso. Un pH óptimo está entre 6.2 y 7.8, pero la digestión también es posible entre 6.0 y 8.2. Si el pH aumenta hasta 9 ocurrirá una baja en la producción de biogás y esto indicaría que los efluentes estarían semitratados y por lo tanto desprenderían olores desagradables ocasionados por la acumulación de ácidos orgánicos.

Si algún factor es alterado, el pH disminuye y es necesario corregirlo inmediatamente para evitar la disminución de la actividad biológica del sistema. Desde

luego, esta corrección se hace a través de otros parámetros como son: temperatura, carga orgánica o variaciones en la alimentación.

Si el pH disminuye a valores menores de 6.5 puede usarse cal, sosa o bicarbonato de sodio para aumentarlo. Por el contrario para pH mayor a 8.2, se deberá aplicar ácido sulfúrico.

d) Ácidos grasos volátiles. La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), producto de fermentación tienen una gran importancia en el proceso de la digestión anaerobia. Estos compuestos pueden llegar a acidificar el reactor provocando el fallo del proceso. En condiciones normales de operación, la concentración de AGV en el efluente debe ser muy baja y lo deseable es que sea inferior a 100 mg/l.

El aumento en la concentración de AGV puede ser producto de una sobrecarga en la alimentación o una inhibición de las metanobacterias. Asimismo, una fuerte concentración puede provocar la destrucción de la capacidad amortiguadora del reactor, disminución del pH y en consecuencia inhibición de las bacterias formadoras de metano. Los valores de alcalinidad y de concentración de ácidos volátiles varía con el tipo de residuos, con las condiciones de operación y con el tipo de reactor. Los ácidos volátiles no son tóxicos a la digestión anaerobia hasta concentraciones de 6 000 a 8000 g/l si el pH del sistema se mantiene casi neutro. La relación AGB/Alcalinidad, también es indicadora de estabilidad, una relación superior a 0.3-0.4 es indicadora de fallo inminente.

e) Alcalinidad. Debido a que las bacterias acidogénicas poseen una mayor actividad que las bacterias metanogénicas, ante sobrecargas orgánicas son capaces de provocar la acidificación del reactor, lo que se puede evitar manteniendo en el digestor una óptima capacidad amortiguadora.

La alcalinidad junto con el pH permiten detectar problemas en el funcionamiento del digester. Determina la capacidad de este de poder neutralizar un aumento eventual de ácidos grasos volátiles en el medio. Con una alcalinidad baja, un pequeño aumento de ácido provoca una disminución significativa del pH. El nitrógeno amoniacal presente en concentraciones relativamente elevadas (de 600 a 900 mg/l) producto de digestión contribuye a la formación de la alcalinidad y por lo tanto la estabilidad del proceso.

f) Potencial de óxido-reducción (rH). Este parámetro indica la capacidad de reducción del medio. Si es del orden de -500 mV indica un elevado estado de anaerobiosis y capacidad reductora del medio. Si el rH es del orden de -300 mV indica que el proceso está en desequilibrio con predominio en la fase ácida.

g) DBO₅ y DQO. Representan el contenido de materia orgánica del agua residual. Su medida es importante para: conocer el contenido de materia orgánica del residuo a ser digerido y verificar la eficiencia de remoción de la materia orgánica del proceso. El máximo valor de diseño seguro para carga orgánica es de 20 kg DQO/m³/día. El agua doméstica contiene aproximadamente 0.5 gr DQO/l.

h) Nutrientes. La digestión anaerobia por ser un proceso biológico requiere ciertos nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento de la biomasa. La ausencia o limitación de estos nutrientes son por tanto, un factor limitante para el proceso.

Los requerimientos de nutrientes para la población microbiana se refieren no solamente a las necesidades de nitrógeno, fósforo y azufre, sino también a la presencia de elementos traza como níquel, cobalto, hierro y molibdeno, los cuales a ciertas concentraciones aumentan la eficiencia del proceso.

Para que el reactor opere de manera adecuada se debe procurar que los nutrientes se encuentren en ciertas proporciones; comúnmente se ha recomendado una relación

DQO:N:P:S de 400:5:1:0.2. En la tabla 4.1 se muestran los metales nutrientes requeridos por la biomasa anaerobia.

Tabla 4.1 Metales nutrientes requeridos por la biomasa anaerobia

ELEMENTO	CONCENTRACION DE METAL mg/l	
	a 10 g DQO/l	a 50 g DQO/l
Fe	0.5 - 20	3 - 100
Ni	0.05 - 3	0.3 - 15
Co	0.05 - 2	0.3 - 10
Mo	0.01 - 0.05	0.05 - 0.2

Tomado del Ciclo de conferencias: Tratamiento de Aguas Residuales Municipales para cumplir con la NOM-017-ECOL-1984.

i) Amoníaco. El amoníaco es un compuesto muy común en aguas residuales; proviene de la degradación de proteínas y aminoácidos o por su uso en procesos industriales. A pH neutro, una concentración de 200 a 300 mg/l de nitrógeno amoniacal no disociado (NH_3) se considera inhibitoria para la metanogénesis. Concentraciones de 1500 a 3000 mg/l de NH_4^+ resultan ser inhibitorias para los microorganismos metanogénicos solo a pH alcalinos, mientras que concentraciones por arriba de este valor resultan ser fuertemente inhibitorias independientemente del pH.

ii) Acido sulfhídrico. Otro compuesto muy común en sistemas de tratamiento anaerobio es el ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno (H_2S). Este compuesto se forma por la degradación de proteínas y por la reducción de sulfatos y sulfitos que participan en reacciones biológicas de óxido-reducción.

El H_2S en su forma no disociada es un compuesto muy tóxico para los microorganismos metanogénicos. Concentraciones de H_2S de 100 mg/l inhiben fuertemente la producción de metano. Concentraciones de H_2S por arriba de 200 mg/l se

consideran fuertemente inhibitorias para la digestión anaerobia. Concentraciones de 26-322 mg/l de H_2S inhiben a las bacterias acetogénicas, mientras que concentraciones de 64-96 mg/l a las bacterias hidrogenofílicas.

4.3 Tipos de digestores anaerobios

Existen diversos procesos de digestión anaerobia que son aplicados en función de las características del sustrato afluente y del control del tiempo de retención de la biomasa. Se pueden clasificar en dos grandes bloques: reactores con crecimiento celular en suspensión y reactores con biopelícula fija, los cuales se describen a continuación:

a) Reactores con crecimiento celular en suspensión. Inicialmente, los reactores utilizados en la digestión de lodos municipales fueron los de tipo completamente mezclado sin recirculación de lodos (RCM). La relación tiempo de retención celular/tiempo de retención hidráulica (TRC/TRH) era igual a uno. Después se implantó la recirculación de lodo, incrementando el valor de TRC/TRH; lo cual dio lugar a los reactores anaerobios de contacto.

b) Reactores con biopelícula fija. Coulter (1957) y Young y McCarty (1969), usaron por vez primera columnas empaquetadas en las que el agua residual entraba con flujo ascendente, originándose los filtros anaerobios. Este sistema se modifica con el filtro anaerobio de flujo descendente, en el que se previene la acumulación de partículas no biodegradables.

En el transcurso del tiempo, como resultado del desarrollo de la tecnología del proceso anaerobio para el tratamiento de residuos de naturaleza biodegradable, han surgido tres generaciones de reactores. La primera generación abarca los procesos en donde la biomasa se encuentra en suspensión; en la segunda, los microorganismos son retenidos en el reactor, ya sea al suministrarle un soporte para que se adhieran en forma

de biopelícula, o por medio de su sedimentación; y, en los reactores de la tercera generación tienen también los microorganismos en forma de biopelícula, pero el soporte se fluidifica con altas velocidades de flujo³.

Reactores anaerobios de la primera generación, dentro de los cuales se incluyen las siguientes estructuras:

- Fosa séptica y tanque Imhoff. La fosa séptica se puede considerar un digestor convencional a una escala muy reducida, en el cual las condiciones anaerobias estrictas no siempre son cumplidas ya que existen zonas anóxicas. Su uso se limita a tratar aguas de desecho de casas habitación, escuelas, hospitales, etc., generalmente en zonas rurales donde no existe el servicio de drenaje. Su principal función se limita a la hidrólisis de la materia orgánica en suspensión, para lograr una buena eficiencia es necesario que la fosa evacúe en un sistema de zanjas de absorción colocadas en el suelo, el cual realiza la estabilización de la materia orgánica. Los tiempos de retención varían entre 2 y 10 días.

El tanque Imhoff es un sistema más elaborado que el anterior, ya que crea dos compartimientos distintos, el de decantación y el de digestión. Esto impide que los productos de la hidrólisis de los lodos sean evacuados por el efluente, lo que se traduce en mejores eficiencias de tratamiento. Se aplican a pequeñas comunidades donde la fosa séptica no sería recomendable debido al volumen que requeriría. En ambos sistemas, es necesaria una evacuación periódica de los lodos acumulados, cada año para el tanque Imhoff y cada dos años para la fosa.

- Digestor anaerobio convencional. Este sistema se ha aplicado principalmente para la estabilización de los lodos de desecho provenientes del proceso de lodos activados,

³ Dr. ADALBERTO NOYOLA ROBLES. "Tratamiento anaerobio de aguas residuales: una experiencia de adaptación de tecnología en México". Ciclo de conferencias: Tratamiento anaerobio de aguas residuales en América Latina, Ciudad Universitaria, México, D.F., 8 y 9 de noviembre de 1990.

aunque actualmente su limitada eficiencia ha hecho que sea sustituido por la versión completamente mezclada. Consiste de un tanque cerrado sin agitación y sin calentamiento, en donde el desecho por tratar se estratifica en zonas definidas. La zona en donde prácticamente se lleva a cabo la totalidad de la actividad microbiana representa alrededor del 30% del volumen total del digestor, lo que aunado a la lentitud del proceso de degradación bajo estas condiciones, resulta en volúmenes de reactor considerables. Los tiempos de retención son mayores de 30 días.

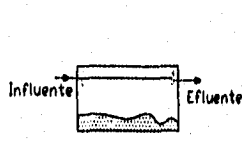
- **Digestor anaerobio completamente mezclado.** La introducción de una agitación vigorosa del medio de reacción y de un calentamiento del reactor, se traduce en mayores eficiencias en la remoción de materia orgánica. La agitación se logra ya sea por un agitador mecánico o por inyección de biogás en el fondo del reactor. Debido a su mezcla completa, el efluente cuenta con una alta concentración de sólidos suspendidos, por lo que se desarrolló una variante que une en serie un digestor completamente mezclado con un digestor convencional donde se realiza la decantación de los sólidos. Su principal aplicación es en el tratamiento de los lodos de desecho de grandes plantas de lodos activados.
- **Reactor de contacto anaerobio.** Este es un sistema de transición entre la primera y la segunda generación de reactores anaerobios. Es básicamente un reactor completamente mezclado adecuado a un decantador que separa la biomasa para que sea recirculada hacia el reactor. Con la recirculación la cantidad de microorganismos en el reactor aumenta al igual que su tiempo de permanencia dentro del sistema, sin que el tiempo de retención hidráulico se incremente. Esto deriva en volúmenes de reactor más pequeños y en una mayor estabilidad del proceso. El problema es la adecuada separación de los lodos anaerobios en el decantador, pues tienden a flotar debido a las burbujas de gas atrapadas en el floculo. Esto se soluciona creando un vacío en la línea de unión entre el reactor y el decantador, lo que favorece la degasificación. Los tiempos de retención hidráulica son del orden de 5 días y el tiempo de retención celular

varía entre 15 y 30 días. Este sistema se ha aplicado en el tratamiento de aguas residuales de industrias alimentarias.

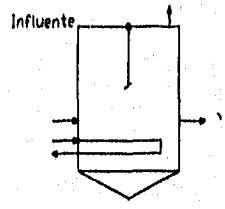
En la figura 4.1a se presentan los reactores anaerobios de primera generación.

Reactores anaerobios de la segunda generación:

- **Reactor de flujo ascendente empacado o filtro anaerobio.** Fue introducido por Young y McCarty (1969), inicialmente para sustratos solubles y medianamente concentrados en materia orgánica. En la actualidad se ha aplicado en laboratorio y a escala real tratando una amplia serie de sustratos a diversas concentraciones. Consiste en un reactor de flujo ascendente empacado con soportes plásticos o con grava de 3 a 5 cm de diámetro. El coeficiente de vacío debe ser tal que evite el taponamiento, lo que en algunos casos se traduce en un área específica inferior a $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Debido a la distribución desordenada del soporte, las purgas de lodos no son efectivas, lo que provoca una acumulación lenta pero constante de biomasa que puede crear problemas de taponamiento. Puede admitir cargas hasta de $20 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{-día}$.
- **Reactor tubular de película fija.** Para evitar la acumulación de lodos dentro del reactor Van den Berg y Lentz (1979) desarrollaron el flujo tubular de flujo ascendente o descendente. El soporte utilizado en este caso consiste de tubos o placas dispuestas de forma tal que se crean canales verticales. El material puede ser cerámica, PVC, poliester, etc. El ordenamiento de soporte resulta en coeficientes de vacío importantes con buenas relaciones área/volumen ($>150 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Las cargas pueden llegar hasta $30 \text{ kg DQO}/\text{m}^3\text{-día}$.
- **Reactor anaerobio de lecho de lodos (RAFA).** El desarrollo de este reactor corresponde a Lettinga. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para



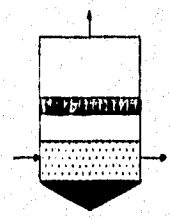
FOSA SEPTICA



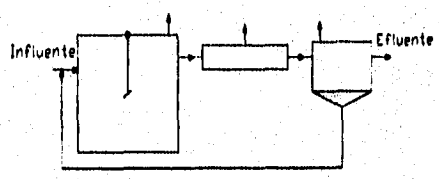
OIGESTOR COMPLETAMENTE MEZCLADO



TANQUE IMHOFF



OIGESTOR CONVENCIONAL



CONTACTO ANAEROBIO

Figura 4.1a Reactores anaerobios de 1ª generación

retener la biomasa, lo que se traduce en un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o "pellets" hasta de 5 mm de diámetro. Estos granos cuentan con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación de gas y la decantación de los flocos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual pues, una mala repartición puede provocar que ciertas zonas de la cama de lodos no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad. Esto es particularmente cierto en el tratamiento de aguas residuales municipales, pues la limitada materia orgánica presente forma solo pequeñas cantidades de biogás y por lo tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas, se ve reducida. El punto débil del proceso se refiere a la lentitud con la que se forman los granos, elemento indispensable del sistema. Esto se soluciona mediante una inoculación con lodos adecuados. Las cargas orgánicas alimentadas a este reactor pueden llegar hasta 30 kg DQO/m³-día.

En la figura 4.1b se esquematizan los reactores anaerobios de 2ª generación.

Reactores anaerobios de la tercera generación:

Se encuentran básicamente a nivel piloto o semi-industrial, sin embargo, existen algunas plantas a escala real basadas en esta modalidad. Son reactores de película fija, pero el soporte es pequeño y ligero, de tal manera que puede ser fluidificado con una recirculación del efluente. Los dos tipos de reactores, el reactor de lecho expandido y el reactor de lecho fluidificado, son semejantes entre sí, marca la diferencia el grado de fluidificación del soporte (20% para lecho expandido y superior al 50% para el lecho fluidificado). Los

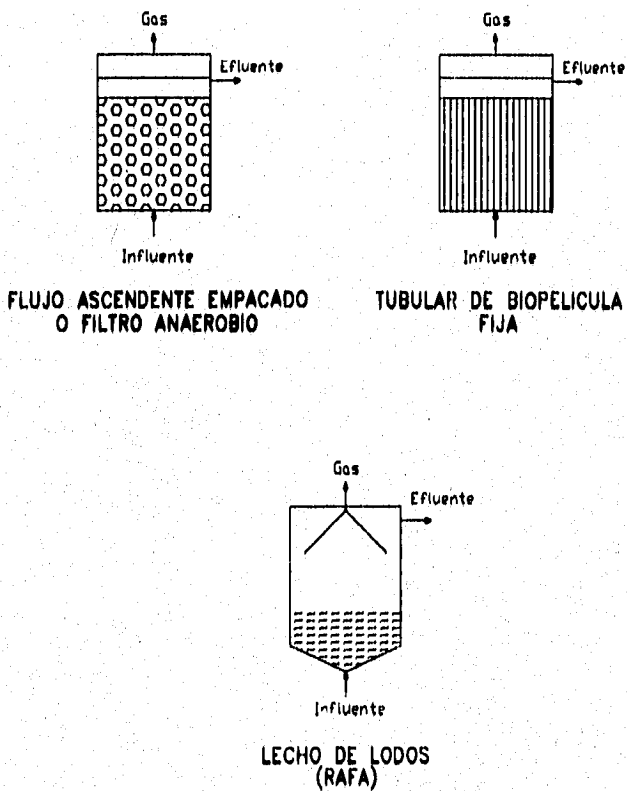


Figura 4.1b Reactores anaerobios de 2ª generación

tiempos de retención son inferiores a 12 horas, ya que la superficie de soporte disponible es muy elevada (superior a $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$): la agitación en el lecho es vigorosa, lo cual elimina problemas de transferencia de sustrato. Además no presentan problemas de taponamiento. Sin embargo, requieren energía para la recirculación y fluidificación del lecho; y su arranque y operación requieren de mayor cuidado. Las cargas pueden sobrepasar de $40 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$.

En la figura 4.1c se muestran los reactores anaerobios de 3ª generación.

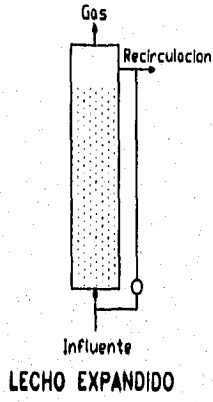
4.4 Descripción y características del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)

Un RAFA es un sistema de tratamiento de aguas negras que tiene flujo ascendente, y consta de cuatro partes esenciales:

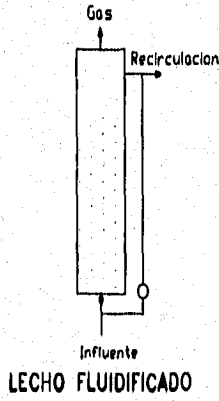
1. Volumen de Reactor
2. Sedimentador (ubicado en la parte superior)
3. Sistema hidráulico (toberas, canaletas, influente y efluente)
4. Cámara de almacenaje de gas

El agua residual se introduce en la parte inferior del reactor a través del sistema hidráulico, levanta un manto de lodos formado por un inóculo importado (o en su defecto, el generado por la carga orgánica del influente), el lodo se va haciendo cada vez más ligero, hasta que llega al sedimentador, donde teóricamente el lodo sedimentado es devuelto al reactor y finalmente es consumido por las bacterias anaerobias (Fig. 4.2).

El reactor anaerobio de flujo ascendente es un tanque digestor con recirculación de lodos dentro de la propia unidad. Existe un perfil de sólidos, con gran concentración en la parte inferior (lecho de lodo), mezcla completa entre lodo, líquido en las cámaras arriba del



LECHO EXPANDIDO



LECHO FLUIDIFICADO

Figura 4.1c Reactores anaerobios de 3ª generación

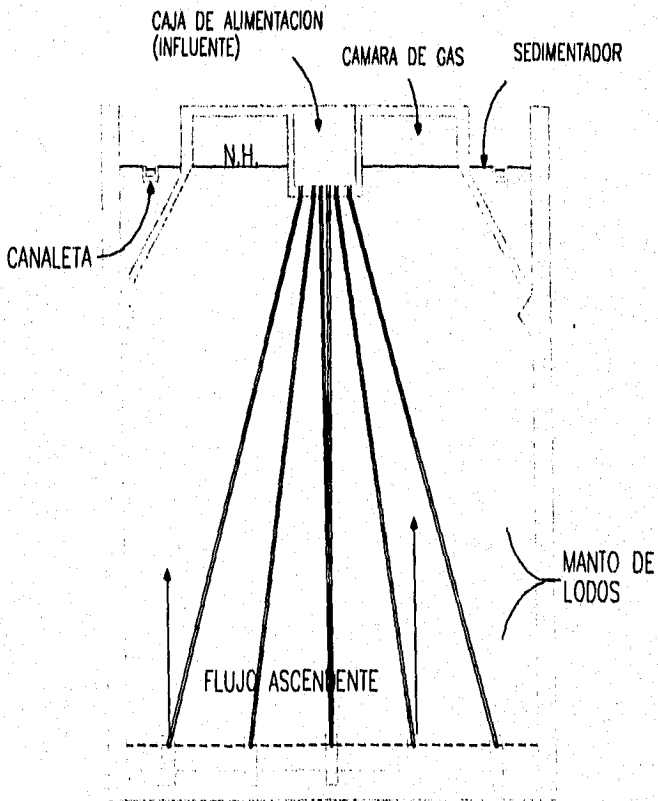


Figura 4.2 Elementos de un RAFA

lecho. En la parte superior del digestor existe un separador de fases (sedimentador), en el que el lodo retorna a la cámara de digestión provocando en contracorriente con flujo ascendente una mezcla uniforme.

Cuenta con una cama de lodos anaerobios en su base, a través de la cual fluyen aguas residuales en sentido ascensional y actúa como un filtro biológico que lleva a cabo una remoción de DQO. El lodo tiene una alta sedimentabilidad para no ser arrastrado por la corriente ascensional (lodo granular), así como una buena actividad metabólica para digerir el sustrato, y reducir la contaminación orgánica.

En un RAFA se forman cuatro zonas en la columna de agua (Fig. 4.3) y el aspecto fundamental para su diferenciación es que en cada una de estas varía la concentración de sólidos presentándose lo siguiente:

Zona I. En la parte inferior del reactor se concentran los lodos bacterianos granulares y se digiere la mayor parte del sustrato.

Zona II. La mayoría de los sólidos se encuentran ligeramente expandidos como resultado del transporte provocado por las burbujas de biogás formadas en la primera zona.

Zona III. En esta se lleva a cabo el desprendimiento de las partículas de gas; la concentración de sólidos es muy baja.

Zona IV. Es la zona más alta del reactor, en ella se recupera el metano producido y se obtiene un efluente clarificado. Cuenta con un arreglo o dispositivo separador gas-líquido-sólido, que permite la creación de una zona de decantación libre de la turbulencia provocada por el biogás.

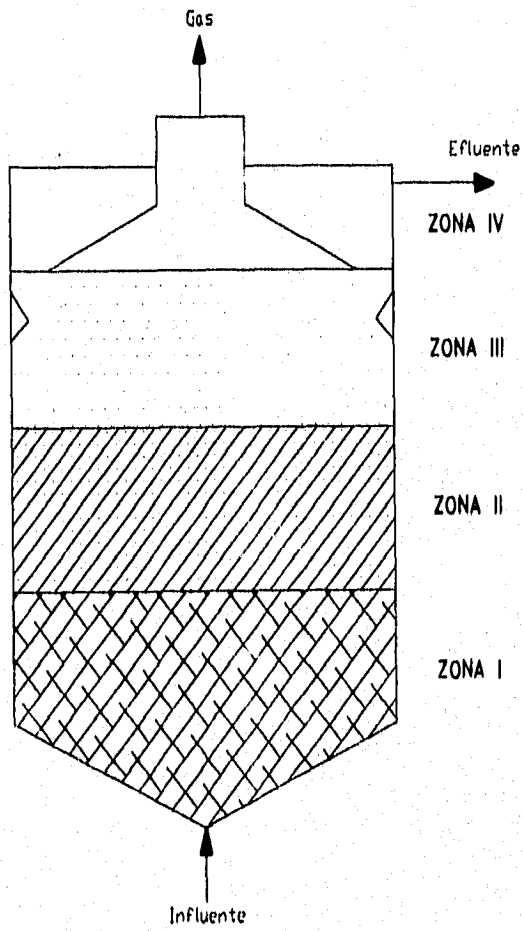


Figura 4.3 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.

4.6 Criterios de diseño¹³

a) Carga orgánica.

Para un residuo conteniendo una determinada concentración de materia orgánica, la carga orgánica aplicada es inversamente proporcional al tiempo de retención hidráulico (TRH):

$$\text{Carga orgánica} = \frac{\text{Concentración de materia orgánica}}{t}$$

De esta forma, como ocurre entre los residuos una gran variación de concentración de materia orgánica, la carga es el parámetro más indicado para que se mida la velocidad con que ocurre la digestión anaerobia.

Kooljman cita en la Tabla 4.2, una propuesta en cuanto a la capacidad de diseño del reactor tipo RAFA en función de la temperatura del líquido.

Para los desagües domésticos es posible admitir cargas hasta de 1 a 2 kg de DQO/m³ día debido a las limitaciones hidráulicas. Sin embargo, se pueden obtener cargas de 50 kg DQO/m³ día cuando el reactor se encuentra totalmente lleno de lodo granular y el desagüe tenga una alta concentración en lo que respecta a su carga orgánica.

Tabla 4.2 Carga de diseño de reactores tipo RAFA.

Temperatura (°C)	Carga diseño (kg DQO/m ³ día)
40	15 --- 25
30	10 --- 15
20	5 --- 10
15	2 --- 5
10	1 --- 3

¹³ De informe no. 1: Tratamiento de desagües domésticos en reactores anaeróbicos de flujo ascendente en manto de lodos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, octubre de 1983.85 pp.

b) Altura de lodo.

En la parte inferior del reactor, ocupada por una biomasa que puede alcanzar una alta concentración de sólidos queda retenida la materia orgánica suspendida y soluble, la cual es fermentada y convertida básicamente en metano. Sus valores se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Altura de lodo en los reactores tipo RAFA.

Concentración	Altura de lodo
Doméstico	1.5
Doméstico	1.7
Doméstico	2.0 - 2.5
Doméstico	2.6 - 4.9

c) Velocidad ascensional y carga hidráulica.

Lettinga y colaboradores, presentan valores de carga hidráulica de 0.6 a $3.8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y de carga superficial de 0.04 a 0.16 m/h. En el caso específico de los desagües domésticos, los valores son de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y 0.25 m/h, este último valor de la velocidad ascensional.

Meer & Vietter indican que con un lodo bien adaptado, se obtuvo una buena separación de lodo en el reactor, con una velocidad ascensional de 1 m/h.

Ericason y Rodríguez sugieren una velocidad máxima de ascensión en el manto de lodo, de 2 m/h. La velocidad (carga superficial) en la apertura entre los colectores de gas no deberá exceder de 2 a 3 m/h para sistemas que operan con lodo floculante. Para lodo granular, la carga puede ser de dos a tres veces más grande.

d) Tiempo de retención hidráulica (TRH).

La velocidad en que el proceso ocurre es gran importancia, pues de ella depende el volumen de los reactores para tratar una determinada cantidad de residuos. El tiempo de retención es el parámetro que normalmente se utiliza para expresar la velocidad del proceso (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Tiempo de retención en el RAFA

Tiempo de retención (h)	Condición	Autor
4.5	Promedio	De los Ríos
6.0		Rodríguez
6.3 - 9.5	Excluye los cortos circuitos	Gómez y Aisae
4.0 - 5.0	RAFA optimizado	Souza y Viella

e) Eficiencia y temperatura.

El proceso de tratamiento es efectivo en temperatura del orden de 10 °C o más, aunque su uso en condiciones extremas de temperatura no puede ser excluido. Los experimentos conducidos a 20 °C y 13-17 °C (temperaturas de tratamiento), resultan con eficiencias de 65 e 85% y de 55 e 70%, en la reducción de la DQO respectivamente. Estos datos son para tiempos de detención de 14 a 17 horas, cargas hidráulicas de 2 m³/m³ día y condiciones de tiempo seco cuando se tratan desechos domésticos de un sistema de recolección combinado.

f) Orificios.

Como guía preliminar para determinar el número de orificios, en la parte inferior del reactor que sirven para la alimentación del proceso, deben tomarse en cuenta los valores de la Tabla 4.5.

Tabla 4.8 Determinación del número de orificios para la alimentación de un RAFA.

 Tipo de lodo	 m² / orificio
Lodo floculante denso (> 40 kg SD/m ³)	1 para cargas < 1-2 kgDQO/m ² día
Lodo floculante ralo (< 40 kg SD/m ³)	5 para cargas > 3 kgDQO/m ² día
Lodo granular espeso	1 para cargas de 1-2 kgDQO/m ² día

Estos valores nos permiten prevenir el acanalamiento en el lecho de lodo, así como el riesgo cuando este proceso se aplica en tratamientos a baja temperatura o en desagües diluidos, debido a la baja producción de gas, inadecuada para la mezcla de lodo.

g) Sedimentador.

Se sugieren cargas superficiales para el sedimentador de 1 a 1.5 m/hr como máximo, no obstante que pueden permitirse temporalmente valores tan altos como 2 m/hr. Se considera igualmente importante que la declividad en las paredes o la posición de las placas de fondo se encuentren en un ángulo de 45° a 60°.

El área de la interfase gas-líquido deberá ser lo suficientemente grande para la rápida liberación del gas del líquido y de los flocúlos de lodo; sin embargo, deberá ser lo suficientemente pequeña para permitir una agitación evitando de esta manera la formación de una costra de espuma.

h) Producción de biogás.

La producción de metano para desagües domésticos es de 7.1 a 7.3 m³ de CH₄ / PE-año (20 l/hab día) o también 0.19 m³biogás/m³reactor-día, o asimismo 180 l biogás/kgDQO aplicada, en promedio. En base a la cantidad de DQO removida, la conversión promedio de CH₄/DQO es de 71%.

i) Producción de lodo.

Un parámetro importante, cuyo reverso indica en forma sencilla la velocidad específica de reproducción de las bacterias, es el tiempo de detención celular o edad de lodo que se define como:

$$\text{Edad de lodo} = \frac{\text{masa de lodo en el reactor}}{\text{masa de lodo removido/ tiempo}}$$

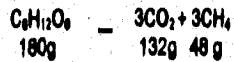
La producción de lodo en el tratamiento anaerobio tipo RAFA está en el rango de 5.0 a 8.8 kg ST/PE-año (PE = 0.135 kgDQO y 175 lt) lo cual es sólo del 25-40% del producido en un sistema anaerobio convencional combinado con digestión de lodo.

En un digestor no convencional, la edad del lodo es mayor al tiempo de retención, lo que quiere decir que es posible mantener edad de lodos muy altos sin necesidad de contar con tiempos de detención hidráulica altos, reduciendo en forma considerable el tamaño de los reactores.

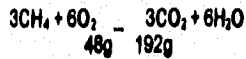
4.6 Subproductos derivados del tratamiento a base del RAFA

4.6.1 Biogás

a) Producción. La cantidad teórica del biogás producida por kilo de la DBO última removida, puede calcularse como sigue:



El metano tiene un requerimiento de oxígeno para su conversión a gas carbónico y agua:



El volumen ocupado por una molécula gramo de gas en condiciones normales de temperatura y presión es 22.40 l, teóricamente 350 l de metano es formado por un kg DBO removida.

b) Composición. La composición del biogás obtenida en la digestión de lodos, es de cerca del 70% de metano (CH₄) y 30 % de gas carbónico (CO₂), con trazas de gas sulfídrico (H₂S). Con pequeños porcentajes de nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). Las tablas 4.6 y 4.7, muestran algunas características del biogás producido.

Tabla 4.6 Características térmicas de los principales componentes del gas de agua residual.

Gas	Poder calorífico superior			Poder calorífico inferior		
	Seco 0°C	Seco 15.0°C	Sat. agua 15.0°C	Seco 0°C	Seco 15.0°C	Sat. agua 15.0°C
CH ₄	8570	8118	7974	8514	8006	8855
CO ₂	--	--	--	--	--	--
H ₂	2580	2483	2394	3052	2883	2839
N ₂	--	--	--	--	--	--

Tabla 4.7 Otras características del biogás.

Gas	Peso molecular	Densidad relativa al aire	Peso específico (g/m ³) para 0°C y 1 atm
Biogás	-----	0.8580	1.050
CH ₄	16.03	0.5534	0.677
CO ₂	44.01	1.5268	1.869
H ₂	2.02	0.065	0.085
N ₂	28.02	0.9671	1.184

Obs. CH₄ = 67%, CO₂ = 30%, N₂ = 3%

4.6.2 Lodo

Uno de los aspectos más importantes de los reactores tipo RAFA es su capacidad de producir el grano típico del lodo anaerobio. Este lodo presenta una alta actividad específica (1.0g DQO/g SSV-día). Además de estos aspectos se debe citar el bajo valor del IVL (Índice volumétrico de lodo): cerca de 50 ml/g o menos, y la velocidad de sedimentación (VZS, velocidad de la zona de sedimentación) que varía de 2 a 90 m/h en sistemas no "cargados". El lodo granulado con una velocidad de sedimentación de 40 m/h, puede flotar en cargas muy altas. Pueden desarrollarse

diferentes formas de lodo granular, como bastón, filamentosos y "con puntas" y esto depende de varios aspectos como la composición del sustrato y la naturaleza de la puesta en marcha.

Destino final. El valor del lodo como abono es significativo, pudiendo ser aplicado al suelo para mejorar su estructura. Se sugiere que el lodo sea primeramente enviado a lechos de secado o a sistemas mecánicos de secado, antes de su destino final. Se puede dar al lodo el mismo destino del obtenido en otras formas de tratamiento, aumentándose al lodo del reactor su uso como semilla, para una adecuada puesta en marcha de otros reactores similares (Tabla 4.8).

Tabla 4.8 Composición del lodo obtenido en reactores tipo RAFA.

	8	8	8
Abono artificial	8	8	8
Lodo RAFA	0.9	2.1	0.4
Lodo anaerobio fermentado	3.3	2.3	0.3

CAPITULO 5

OBJETIVO :

Determinar el tren de tratamiento y diseñar cada una de las estructuras que lo componen.

5. DISEÑO BASICO DEL SISTEMA PARA LA CONDUCCION, TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES

5.1 Topografía

En general, la topografía que presenta la E.N.E.P. Aragón es prácticamente plana aunque tiene algunos montículos formados con material de relleno y producto de excavaciones. La zona destinada para la ubicación del sistema de tratamiento presenta un desnivel muy suave debido a que es un área pavimentada, actualmente forma parte del estacionamiento poniente del plantel. En la Figura 5.1 se muestran los niveles obtenidos del levantamiento topográfico correspondiente al área en estudio.

5.2 Mecánica de Suelos

Las características generales de la zona determinan que el subsuelo está formado por arcillas saturadas con niveles freáticos superficiales, por lo que se requiere elegir la cimentación adecuada y de ser necesario realizar un tratamiento del terreno. Es indispensable conocer el perfil estratigráfico cuando menos hasta una profundidad igual al ancho de la estructura o hasta encontrar material firme.

100 100
 100 100
 100 100
 100 100

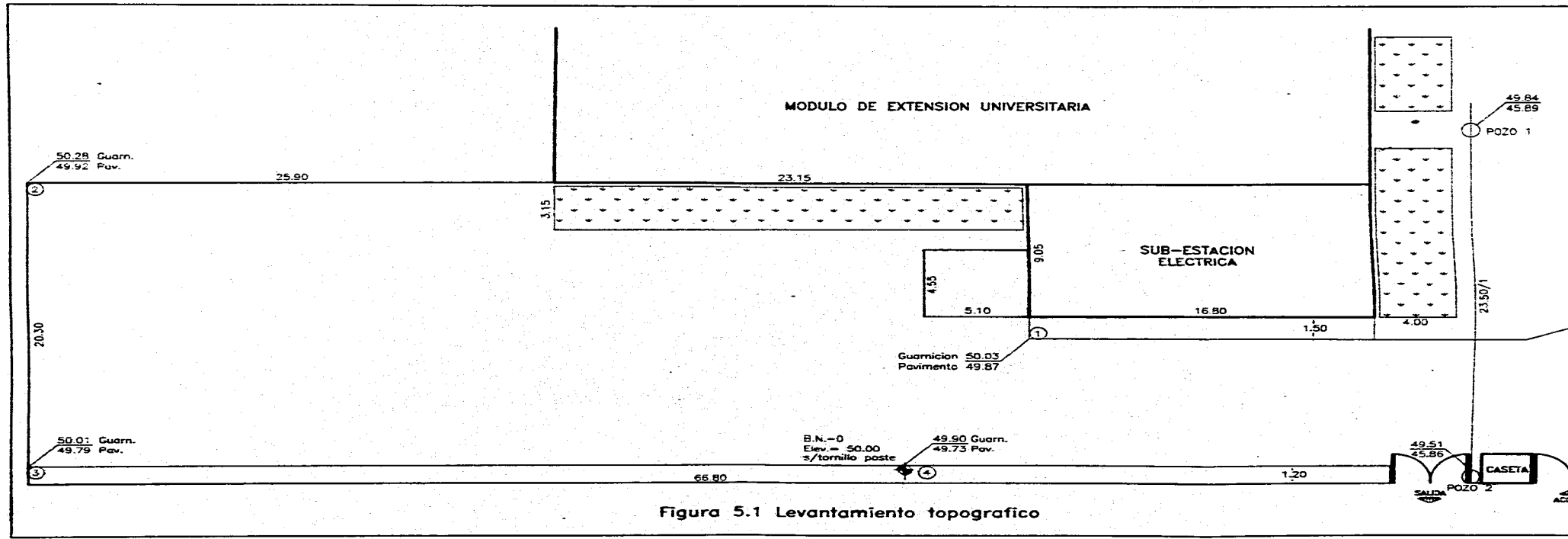


Figura 5.1 Levantamiento topografico

De acuerdo al estudio geotécnico realizado en la E.N.E.P. Aragón por el ingeniero Rosendo Matíaz Santiago¹¹, los resultados obtenidos en la exploración llevada a cabo en dos estaciones de muestreo, nos conducen a las siguientes conclusiones:

1. El área en estudio (E.N.E.P. Aragón), se puede catalogar como típica de la Ciudad de México y zona de lago de Texcoco.
2. Los perfiles estratigráficos de la zona, en general, están constituidos por arcilla poco limosa de alta compresibilidad con intercalaciones de arena fina, limo y vidrio volcánico. En las Figuras 5.2 y 5.3 se muestran los perfiles estratigráficos obtenidos de los sondeos realizados por el Ing. Rosendo Matíaz Santiago.
3. El depósito I, que está constituido por relleno se encontró en los dos sondeos realizados.
4. El tipo de cimentación y el comportamiento de cualquier estructura a corto y a largo plazo, estará regido por las características de los depósitos II en adelante, los cuales pueden considerarse, de muy baja compresibilidad y de baja resistencia al esfuerzo cortante.
5. El nivel de aguas freáticas se localiza a 1.40 m de profundidad.
6. El abatimiento piezométrico a 10.50 m de profundidad es de 1.40 m.
7. La superficie del suelo está sometida al fenómeno de hundimiento regional, debido al abatimiento de los niveles piezométricos causados por el bombeo de los acuíferos del subsuelo; este fenómeno no causa problemas en el comportamiento de estructuras apoyadas en una cimentación superficial.

¹¹ Trabajo de tesis titulado: "Estudio Geotécnico en la E.N.E.P. Aragón". E.N.E.P. Aragón. U.N.A.M. 1989, 95 p.

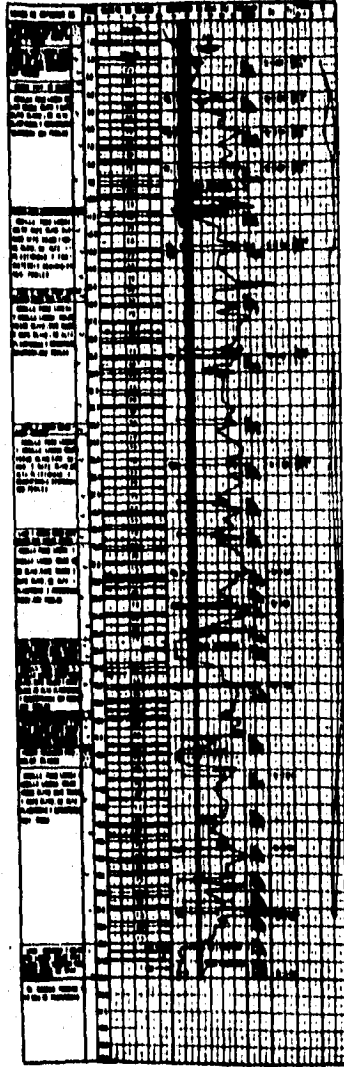


Figura 6.1 Perfil estratigráfico SM-1.

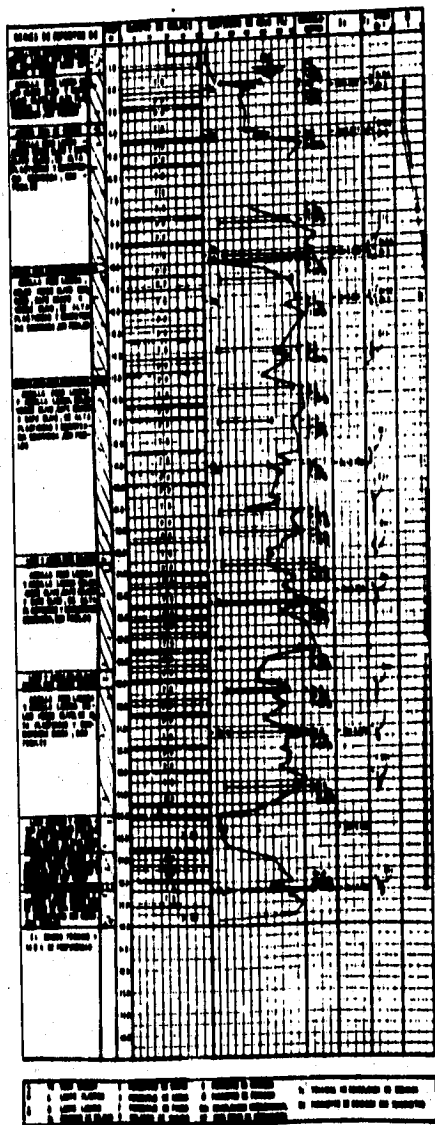


Figura 8.2 Perfil estratigráfico SM-2.

De acuerdo a las condiciones antes descritas, se recomienda utilizar una cimentación parcialmente compensada para la construcción del reactor. Cabe mencionar la importancia de la utilización de materiales que eliminen el ataque mecánico, químico y biológico. La caracterización de las aguas a tratar permite además, conocer la presencia de agentes corrosivos al concreto y al acero, siendo esto un indicador que auxilia para establecer el tipo de protección que requieren los equipos y la obra civil. Generalmente es recomendable para estos casos la utilización de cementos puzolánicos y el uso de aditivos impermeabilizantes.

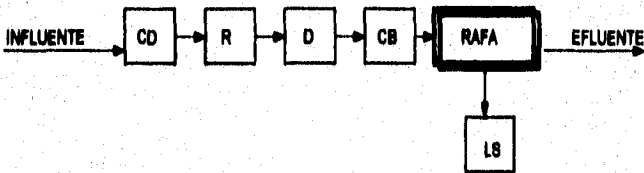
8.3 Diseño conceptual

En general, el diseño de una planta de tratamiento comprende tres partes: la primera parte (a la que se refiere este punto), es el diseño funcional o conceptual donde se describen las unidades de que consta el tren de tratamiento. En la segunda parte, se dimensiona la unidad de tratamiento a fin de que se lleve a cabo una depuración que permita obtener un efluente cuya calidad sea la adecuada. Y en la última parte se define el diseño hidráulico, en donde se particularizan las estructuras que alimentan y distribuyen el flujo de aguas residuales a las unidades de tratamiento. Las dos últimas, se describen en los siguientes apartados.

La calidad del efluente deberá cumplir con las normas técnicas ecológicas explicadas en el capítulo 3. El tren de tratamiento que se propone y que a continuación se describe, permite lograr un efluente que cumple con las normas mencionadas, ver Fig. 5.4.

Como se puede observar en la figura, el tren de tratamiento consta una caja derivadora que permita desalojar gastos mayores de los que puede manejar la planta de tratamiento; posteriormente una rejilla de limpieza manual que evite el paso de partículas de gran diámetro que pudieran dañar el equipo de bombeo. Se propone un

desarenador que tiene como función sedimentar las partículas finas. Para equalizar el gasto de entrada al reactor es indispensable la construcción de un cárcamo de bombeo. A continuación se sitúa la estructura principal en la que se lleva a cabo el proceso de tratamiento de las aguas residuales (RAFA). Además cuenta con un lecho de secado para la disposición de lodos. En el Plano 5.1 se puede apreciar en forma general la Planta de Tratamiento en conjunto.



CD: CAJA DERIVADORA
 R: REJILLAS
 D: DESARENADOR
 CB: CARCAMO DE BOMBEO
 RAFA: REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE
 LS: LECHOS DE SECADO

FIG. 5.4 Flujograma del proceso

5.4 Diseño dimensional

DATOS:

- Gasto de reactor: $9.33 \text{ l/seg} = 33.58 \text{ m}^3 \text{ hr} = 806.11 \text{ m}^3 \text{ día}$
- Temperatura: $20 \text{ }^\circ\text{C}$

- $DQO_T = 310 \text{ mg/l} = 0.31 \text{ kg/m}^3$
- Carga orgánica máxima aplicada a 20°C : 5 - 10 $\text{kg DQO/m}^3 \cdot \text{día}$. Según Tabla 4.2.
- Tiempo de retención hidráulica (TRH) : 8 hrs, recomendado para asegurar tratamiento en zona de anaerobiosis.
- Velocidad ascensional del líquido : 0.25 m/hr
- Carga hidráulica aplicada : $\leq 4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$

Sedimentador

- Carga hidráulica para sedimentación : $24 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$
- Tiempo de retención en zona de sedimentación : 30 minutos = 0.5 hrs
- Velocidad de sedimentación : $\leq 3.0 \text{ m/hr}$ (Noyola 1995)

5.4.1 Reactor (Ver Plano 5.2)

5.4.1.1 Volumen

$$V_R = TRH_{\text{reactor}} \cdot Q$$

V_R : Volumen del reactor

TRH_{reactor} : Tiempo de retención hidráulica en el reactor (hrs)

Q : Gasto (m^3 / hr)

$$V_R = 268.7 \text{ m}^3$$

5.4.1.2 Área superficial

Para una carga volumétrica de $24 \text{ m}^3 / \text{día} / \text{m}^2 \cdot \text{reactor}$

$$As_R = V_R / Cs$$

A_{SR} : Area superficial del reactor (m^2)

C_s : Carga superficial ($m^3/dia/m^2$)

$$A_{SR} = 33.6 m^2$$

5.4.1.3 Altura del reactor

Se debe cumplir que $4.5 < h < 6.0$

h : altura de reactor (m)

$$V_R = A_{SR} \cdot h \text{ entonces } h = V / A_{SR}$$

$h = 7.99 m$ este valor no cumple con la especificación y hay que ajustar

$h = 6.0 m$

Se designa un bordo libre igual a 0.5 m considerando que el gas producido no se almacenará.

Altura de manto de lodos	4.50 m
Altura de zona de transición	0.25 m
Altura del sedimentador	1.25 m
Bordo libre	0.50 m
Altura Total del Reactor	6.50 m

5.4.1.4 Area superficial modificada (respecto a h)

$$A_{SR} = V_R / h$$

$$A_{SR} = 44.8 m^2 \text{ aproximadamente } 45 m^2$$

Se proponen 6.7 m por lado de reactor para cumplir con la superficie requerida.

5.4.1.5 Sedimentador

Por consideraciones estructurales se proponen dos sedimentadores de iguales dimensiones.

$$\frac{Q}{2} = 16.79 \text{ m}^3 / \text{hr para cada sedimentador}$$

Q_{sed} = Gasto por sedimentador (m³/hr)

Se debe cumplir con $1.2 < h_{\text{sed}} < 1.5$; se propone $h_{\text{sed}} = 1.25$ y

$$TRH_{\text{sed}} = 0.5 \text{ hrs.}$$

TRH_{sed} : Tiempo de retención en el sedimentador (hrs.)

El tiempo de retención efectivo en el reactor será $TRH_{\text{reactor}} = 7.5$ hrs.

5.4.1.6 Volumen por sedimentador

$$V_{\text{sed}} = TRH_{\text{sed}} \cdot Q_{\text{sed}}$$

V_{sed} : Volumen del sedimentador (m³)

$$V_{\text{sed}} = 8.39 \text{ m}^3$$

5.4.1.7 Area superficial requerida por sedimentador

$$A_{\text{sed}} = \frac{V_{\text{sed}}}{h_{\text{sed}}}$$

$$A_{sed} = 6.72 \text{ m}^2$$

5.4.1.8 Velocidad de sedimentación

$$Vel_{sed} = \frac{Q_{sed}}{A_{sed}}$$

Vel_{sed} : Velocidad de sedimentación (m/hr)

$Vel_{sed} = 2.3 \text{ m/hr} \leq 3 \text{ m/hr}$ cumple con la especificación

5.4.1.9 Número de orificios

Según Tabla 4.5, para un inóculo de lodo floculante denso, se requiere un orificio por cada metro cuadrado (1 m²/orificio).

$$\text{No. de orificios} = \frac{A_{SR}}{\text{á influencia / orificio}}$$

á influencia : área de influencia (m²)

No de orificios = 45 orificios

Si reducimos el número de orificios a 20 aseguremos una buena alimentación, sin que con ello se caiga en el rango del lodo floculante raro (5 m²/orificio).

5.4.1.10 Generación de biogás

$$\text{Carga total orgánica} = Q_{reactor} \cdot DQO$$

Q_{reactor} : Gasto del reactor (l seg)

DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/l)

$$\text{Carga total orgánica} = 249.89 \text{ kg DQO / día}$$

Considerando que se producen 0.18 m^3 / kg DQO removido, es decir, 180 l biogás/ kg DQO (Noyola, 1995):

Generación de biogás = l de biogás / kg DQOremovido · Carga total orgánica

Generación de biogás = 44 980.2 l/día

Generación de biogás = 44.98 m^3 /día

5.4.2 Revisión de diseño

5.4.2.1 Carga orgánica

$$\text{Carga máxima aplicada (C.M.A.)} = \frac{\text{CDQO}}{\text{TRH}_{\text{reactor}}}$$

CDQO: Carga orgánica aplicada (DQO)

$$\text{C.M.A.} = 0.93 \text{ Kg/m}^3 \cdot \text{día} \leq 5 \text{ Kg/m}^3 \cdot \text{día}$$

Según Tabla 4.2, se pueden admitir cargas hasta de 1 a 2 kgDQO/ m^3 -día debido a limitaciones hidráulicas garantizando una mejor eficiencia.

5.4.2.2 Carga hidráulica (C.H.)

$$\text{C.H.} = \frac{Q_{\text{reactor}}}{V_{\text{reactor}}}$$

$$C.H. = 3.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} \leq 4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

Si cumple con el parámetro establecido.

8.4.3 Diseño de la canaleta del effluente

$$V_{\text{canaleta}} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{canal}} = 0.00466 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{canaleta}} = \frac{Q_{\text{canal}}}{V_{\text{canaleta}}}$$

A_{canaleta} : Área de canaleta

$$A_{\text{canaleta}} = b \cdot d$$

b: base de canaleta

d: tirante

entonces;

$$d = \frac{A_{\text{canaleta}}}{b}$$

designamos una $b = 0.1365 \text{ m}$,

$$d = 0.06827 \text{ m},$$

dimensiones que corresponden a las especificaciones de máxima eficiencia para canales rectangulares.

$$R_h = \frac{b \cdot d}{b + 2 \cdot d}$$

R_h : Radio hidráulico (m)

$$R_h = 0.03413 \text{ m}$$

$$s = \frac{V_{canaleta} \cdot n}{R_h^{2/3}}$$

s : pendiente

n : coeficiente de rugosidad (0.013 para concreto liso)

$$s = 0.003$$

$$s = 3 \text{ milésimas}$$

5.4.2.3 Factor de largo de la canaleta (Fic)

Proponemos un largo de canaleta de 6.7 m (que es el largo total del sedimentador), y se revisó a través del factor de largo de canaleta :

$$Fic = 1 \text{ lt / s m}$$

$$\text{Largo de canaleta} = \frac{Q_{sed}}{Fic}$$

$$\text{Largo de canaleta} = 4.66 \text{ m}$$

El largo de canaleta obtenido en el cálculo es menor que el propuesto, por lo tanto éste último es aprobado.

8.6 Diseño hidráulico (Ver Plano 5.3)

8.6.1 Caja derivadora

Para efectos de diseño y considerando que el diámetro real del effuente (1.07 m) está excedido para la conducción del gasto de aguas negras hacia la planta, el diámetro de entrada a la caja derivadora se reduce a 0.38 m. Los datos para el cálculo de la caja derivadora son los siguientes.

$$Q_{\text{max. bot}} = 16.67 \text{ l/s} = 0.01667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{max. est}} = 25.00 \text{ l/s} = 0.02500 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\phi = 0.38 \text{ m}$$

$$s = 0.0005$$

$$Q_1 = 40.61 \text{ l/s} = 0.04061 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_1 = 0.36 \text{ m/s}$$

$0.025 \text{ (m}^3/\text{s)} / 0.04061 \text{ (m}^3/\text{s)} = 0.6156$ entrando a gráfica de Koseny, características en un conducto circular parcialmente lleno (Apéndice C)

$$y_0 / D = 0.62$$

$$y_0 = 0.62 \cdot 0.38 \text{ m}$$

$$y_0 = 0.2356 \text{ m}$$

$$v / v_1 = 0.935$$

$$v = 0.935 \cdot 0.36 \text{ m/s}$$

$$v = 0.3366 \text{ m/s}$$

$$\frac{Q_{\text{max. est}}}{\sqrt{g} D^{5/2}} = \frac{0.025}{\sqrt{9.81}(0.38)^{5/2}} = 0.08966 \text{ entrando a gráfica de tirante crítico y energía específica (Apéndice C)}$$

$$y_c / D = 0.29$$

$$y_c = 0.29 \cdot 0.38 \text{ m}$$

$$y_c = 0.1102 \text{ m}$$

$y_o > y_c \Rightarrow$ Régimen subcrítico

Para el gasto máximo instantáneo = $0.01667 \text{ m}^3/\text{s}$

$0.01667 \text{ (m}^3/\text{s)} / 0.04061 \text{ (m}^3/\text{s)} = 0.41049$ entrando a gráfica de Koseny;
características en un conducto
circular parcialmente lleno (Apéndice C)

$$y_1 / D = 0.5$$

$$y_1 = 0.5 \cdot 0.38 \text{ m}$$

$$y_1 = 0.19 \text{ m}$$

$$v_1 / v_{1l} = 0.82 \cdot 0.36 \text{ m/s}$$

$$v_1 = 0.295 \text{ m/s}$$

Por lo tanto la altura mínima del vertedor desde la plantilla debe ser:

$$w = y_1 = 0.19 \text{ m como mínimo}$$

5.5.1.1 Longitud del vertedor

Considerando que el régimen es subcrítico

$$L = 2g (b/c) \left\{ (y_1 / E) - \left(y_o / E \right) \right\}$$

L : longitud del vertedor (m)

b : ancho del emisor (m)

c : coeficiente de descarga según M. Schmidt $c = 0.95 c_o$

$$c_0 = (2/3) \sqrt{2g \mu} ; \text{ siendo } \mu = 0.75$$

$$c_0 = 2.214$$

$$c = 2.10$$

$\theta(y/E)$: función de flujo variado

y_1, y_0 : tirante aguas abajo y aguas arriba, respectivamente (m)

$$E = y_0 + (v_0^2 / 2g)$$

$$E = 0.2356 + (0.3366^2) / (2 \cdot 9.81)$$

$$E = 0.241 \text{ m}$$

$$(y_1 / E) = 0.19 / 0.241$$

$$(y_1 / E) = 0.787$$

$$(y_0 / E) = 0.236 / 0.241$$

$$(y_0 / E) = 0.978$$

$$(w / E) = 0.19 / 0.241$$

$$(w / E) = 0.787$$

Entrando a gráfica $\theta(y/E)$ de Marchi (Apéndice C)

$$\theta(y_1 / E) = -10$$

$$\theta(y_0 / E) = -1.2$$

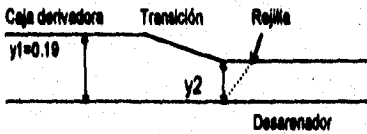
Sustituyendo en L

$$L = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (0.38 / 2.10) \cdot (-10 - (-1.2))}$$

$$L = 7.05$$

5.5.2 Diseño de transición

De acuerdo al siguiente esquema es aplicable el teorema de Bernoulli:



$$z_1 + (v_1^2 / 2g) + (P_1 / \gamma) = z_2 + (v_2^2 / 2g) + (P_2 / \gamma) + \Sigma hf$$

v_1 : velocidad en la salida de la caja derivadora = 0.29 m/s

v_2 : velocidad en el desarenador

considerando igual a cero los valores de z_1 , z_2 y (P_1 / γ) , (P_2 / γ) por encontrarse bajo condiciones atmosféricas, además de despreciar la suma de pérdidas Σhf .

Sustituyendo $v_2 = Q / (b \cdot y_2)$.

b : ancho en el desarenador = 0.60 m

y_2 : tirante en el desarenador

Despejando y_2 :

$$v_1^2 / 2g = Q^2 / (2g \cdot b^2 \cdot y_2^2)$$

$$v_1^2 / 2g \cdot (2g \cdot b^2) = Q^2 / y_2^2$$

$$y_2 = \sqrt{(Q^2 / (v_1^2 \cdot b^2))} = \sqrt{(0.01667^2 / (0.29^2 \cdot 0.6^2))}$$

$$y_2 = 0.095 \text{ m}$$

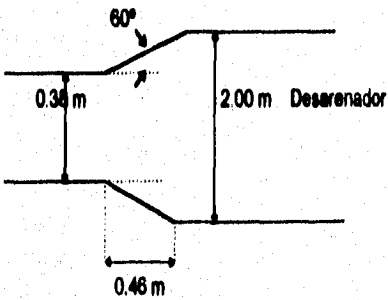
$$L_T = \frac{B_2 - B_1}{2 \cdot \operatorname{tg} \theta}$$

LT : Longitud de transición

θ : Angulo formado entre las paredes de transición y la horizontal, ver esquema.

$$L_T = \frac{2.0 - 0.38}{2 \cdot \operatorname{tg} 60^\circ}$$

$$L_T = 0.46 \text{ m}$$



6.5.3 Rejillas

Abertura entre barras = 3 cm

Inclinación respecto a la horizontal = 45°

Velocidad a través de barras = 0.3 m/s

Espesor de barras de 1/8" = 0.31 cm

Soleras de 1/8" x 1/2"

$$\text{No. de barras} = \frac{b}{(\text{abertura} + e \text{ barras})} = \frac{60}{3 + 0.31} = 18$$

$$A_{\text{net}} = (b - \text{No de barras} \cdot a \text{ barras}) h$$

$$A_{\text{net}} = (60 - 18 \cdot 0.31) 13.4$$

$$A_{\text{net}} = 729.23 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{net}} = 0.0729 \text{ m}^2$$

$$v = Q / A$$

$$v = (0.01667 \text{ m}^3/\text{s} / 0.0729 \text{ m}^2)$$

$$v = 0.3 \text{ m/s}$$

que es la velocidad con la que debe llegar al desarenador para que éste funcione eficientemente.

5.5.3.1 Pérdidas en rejillas

$$h_f = \left\{ (V^2 \cdot v^2) / 2g \right\} (1/0.7)$$

V: velocidad entre barras

v: velocidad agua arriba

$$v = v \cdot n = 0.3 \cdot 0.8 = 0.24 \text{ m/s}$$

$$h_f = \left\{ (0.3^2 \cdot 0.24^2) / 2 \cdot 9.81 \right\} (1/0.7)$$

$$h_f = 0.00038 \text{ m}$$

6.5.4 Desarenador

$$Q_{\text{med}} = 9.33 \text{ l/s} = 806.11 \text{ m}^3/\text{día} = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx inel}} = 16.67 \text{ l/s} = 1440.28 \text{ m}^3/\text{día} = 0.01667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_s = 0.02 \text{ m/s}$$

$$C_s = 1728 \text{ m}^3/\text{día}$$

C_s : carga superficial

5.5.4.1 Área horizontal para $Q_{\text{máx}}$

$$A_h = Q_{\text{máx inel}} / C_s$$

$$A_h = \frac{1440.28 \text{ m}^3/\text{día}}{1728 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$A_h = 0.834 \text{ m}^2$$

5.5.4.2 Largo de canal (l)

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

$$A_h = b \cdot l$$

$$l = A_h / b$$

$$l = 0.834 \text{ m}^2 / 0.6 \text{ m}$$

$$l = 1.34 \text{ m}$$

Por recomendación se sugiere aumentar un 50% el largo del canal. Por lo tanto:

$$l = 1.34 \cdot 1.5$$

$$l = 2.10 \text{ m}$$

5.5.4.3 Revisión de carga superficial (C_s) con Q_{med}

$$C_s = Q_{med} / Ah$$

$$C_s = \frac{808.11 \text{ m}^3/\text{día}}{0.834 \text{ m}^2}$$

$$C_s = 966.56 \text{ m/día}$$

$$C_s = 0.011 \text{ m/seg}$$

Considerando una velocidad horizontal = 3.0 m/s

$$v = Q / (b \cdot h)$$

$$h = Q / (v \cdot b)$$

$$h = \frac{0.01667 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.3 \text{ m/s})(0.6 \text{ m})}$$

$h = 0.093 \text{ m}$ aproximadamente igual a 0.95 cm de carga máxima

$$Q = 5.38 C \sqrt{2g} b \cdot \pi \cdot h \text{ (Retzger)}$$

Considerando $C = 0.62$ por escoger vertedor de placa delgada

$$Q = 0.01667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 0.62$$

$$h = 0.095 \text{ m}$$

$$b = \frac{Q}{5.38 \sqrt{2g} \cdot \pi \cdot h}$$

$$b = \frac{0.01667 \text{ m}^3/\text{s}}{5.38(0.62)(\sqrt{2(9.81)})\pi(0.095)}$$

$b = 0.00378$ constante del vertedor

Si $x = b_v / 2$; $y = c$

$$x = \frac{b}{0.33 \sqrt{y}}$$

Despejando y , para $x = 0.25$ m

$$0.33 \sqrt{y} = (b / x)$$

$$y = (b / (0.33 \cdot x))^2$$

$$y = \left(\frac{0.00378}{0.33(0.25)} \right)^2$$

$$y = 0.0021$$

$$2c = 2y = 2(0.0021)$$

$$2c = 0.004 \text{ m}$$

Para $x = 0.20$ m

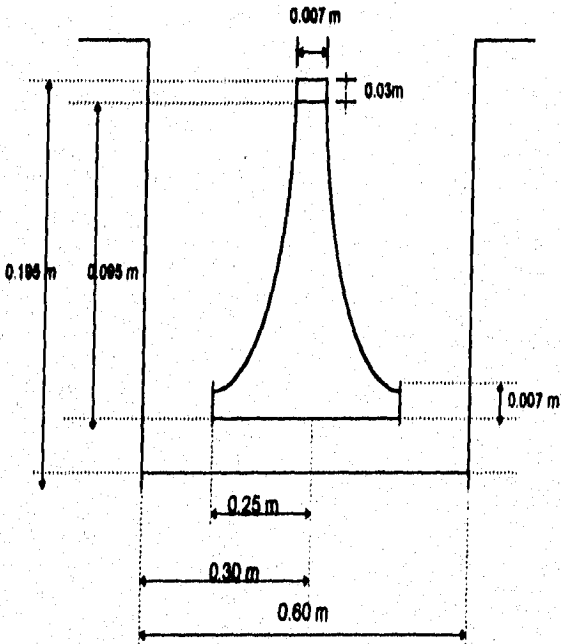
$$y = \frac{0.00378}{0.33(0.2)}$$

$$y = 0.0033$$

$$2c = 2(0.0033)$$

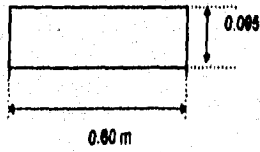
$$2c = 0.007 \text{ m}$$

En el siguiente esquema se pueden apreciar, fuera de escala, las dimensiones del vertedor:



5.5.4 Pendiente del canal desarenador

$$v = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/4}$$



$$P = 0.6 \text{ m} + 2(0.095 \text{ m})$$

$$P = 0.79 \text{ m}$$

$$A = 0.60 \text{ m} (0.095 \text{ m})$$

$$A = 0.057 \text{ m}^2$$

$$R = A / P = 0.05 \text{ m}^2 / 0.79 \text{ m}$$

$$R = 0.072 \text{ m}$$

$$R^{2.3} = 0.17$$

$$s = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2.3}} \right)^2$$

$$s = \left(\frac{(0.3)(0.013)}{0.17} \right)^2$$

$$s = 0.00051$$

$$s = 0.5 \text{ milésimas}$$

5.5.5 Cárcamo de bombeo

$$Q_{\text{max. int.}} = 0.01667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{med.}} = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{min.}} = 0.00466 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tiempo de retención (TR)} = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}$$

$$\text{Volumen para } Q_{\text{max. int.}} = Q_{\text{max. int.}} \cdot \text{TR} = 0.01667 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1800 \text{ s} = 30.01 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen para } Q_{\text{med.}} = Q_{\text{med.}} \cdot \text{TR} = 0.00933 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1800 \text{ s} = 16.79 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen para } Q_{\text{min.}} = Q_{\text{min.}} \cdot \text{TR} = 0.00466 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1800 \text{ s} = 8.39 \text{ m}^3$$

El dimensionamiento del cárcamo se realizó en base al volumen obtenido con el $Q_{max\text{inst}}$, por lo que se proponen las siguientes dimensiones:

largo = 3.0 m

ancho = 3.0 m

altura = 4.5 m

Estas dimensiones se modifican de acuerdo a los requerimientos de catálogo del tipo de bomba elegida.

Para la elección de las bombas, se proponen dos bombas para un gasto igual a $0.5Q_{max}$ cada una, considerando una más su para reemplazo en caso de deterioro y/o mantenimiento de alguna de estas, con las siguientes especificaciones:

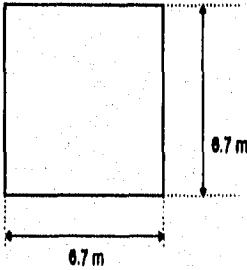
BOMBA IMPEL SUMERGIBLE MOD. C-14-76 PARA USO LIGERO

MOTOR TRIFASICO CON PROTECTOR TERMICO	1 H.P., 1700 RPM
TENSION	220/440 VOLTS
DIAMETRO DE DESCARGA	76 mm ROSCA NTP
PASO DE ESFERA	52 mm
PESO TOTAL	55 Kg
MATERIAL	FIERRO GRIS

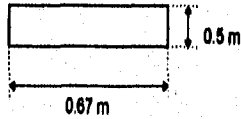
5.5.6 Lechos de secado

El volumen de lodo inactivo que se espera sea producido por el reactor es:

Dimensiones del reactor



Tomando una altura de lodo inactivo de 0.5 m



$$\text{Volumen lodo inactivo} = 6.7 \text{ m} \cdot 6.7 \text{ m} \cdot 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Volumen lodo inactivo} = 22.45 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen lodo inactivo} = 22\,450 \text{ l}$$

$$\text{Volumen lodo inactivo} = A_{\text{lecho de secado}} \cdot h$$

$$A_{\text{lecho de secado}} = \text{Volumen lodo inactivo} / h$$

$$A_{\text{lecho de secado}} = 22.45 \text{ m}^3 / 0.5 \text{ m}$$

$$A_{\text{lecho de secado}} = 44.9 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{lecho de secado}} = 50.00 \text{ m}^2$$

En un RAFA por cada 1000 m³ de efluente, se producen 100 kilogramos de sólidos suspendidos totales o lodo (kg SST):

$$100 \text{ kg SST} / 1000 \text{ m}^3 \text{ de efluente}$$

Para el gasto que será tratado en el reactor:

$$Q = 9.33 \text{ l/s} = 808.11 \text{ m}^3/\text{día}$$

Si en un día se tratan 808.11 m³, 1000 m³ se tratan en:

$$X = \frac{1 \text{ día (1000 m}^3\text{)}}{808.11 \text{ m}^3}$$

$$X = 1.24 \text{ días}$$

100 kg de lodo equivalen aproximadamente a 100 litros. Si los 100 litros se tratan en 1.24 días. Los 22,450 litros de lodo se tratan en:

$$X = \frac{22\,450 \text{ litros (1.24 días)}}{100 \text{ litros}}$$

$$X = 278 \text{ días}$$

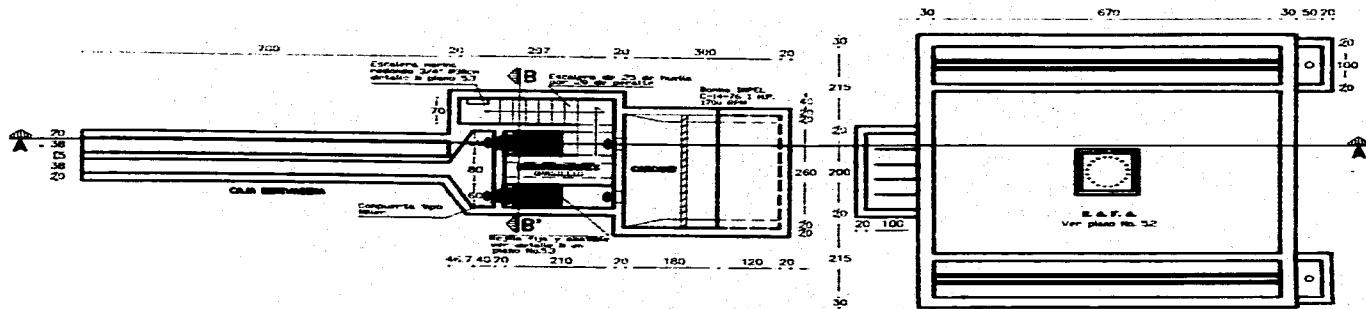
$$X = 9.27 \text{ meses}$$

Se recomienda que cada 9 meses debe ser desalojado el volumen de lodo inactivo del reactor.

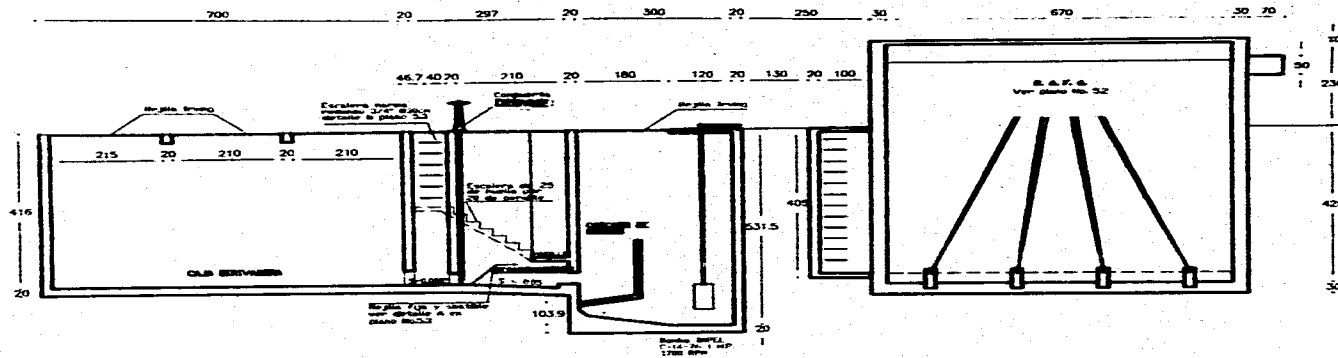
CAPITULO 6

OBJETIVO:

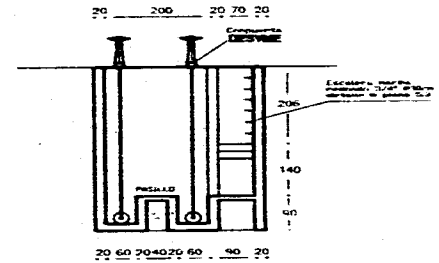
Generar un manual de Operación y Mantenimiento de las estructuras que conforman la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la E.N.E.P. Aragón.



VISTA DE PLANTA



CORTE A - A'



CORTE B - B'

DATOS DE DISEÑO

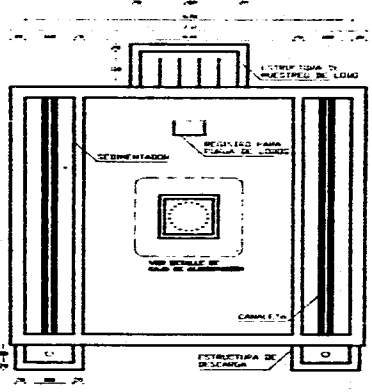
CAJA DE BOMBAS	
GASTO MEDIO DESTINADO	18.87 gal
GASTO MEDIO EXTRACTADO	25.80 gal
DESCARBADOR	
GASTO MEDIO DESTINADO	18.87 gal
GASTO MEDIO	8.33 gal
CORRIJA SUPERIOR	0.02 m ² /s
CARGAMO DE BOMBEO	
GASTO MEDIO DESTINADO	18.87 gal
GASTO MEDIO	8.33 gal
GASTO MEDIO	4.88 gal
TIEMPO DE RESERVA	30 min
VOLUMEN MEDIO	30.80 m ³
VOLUMEN DE RESERVA	18.78 m ³
VOLUMEN MEDIO	8.38 m ³

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON - U. N. A. - M.

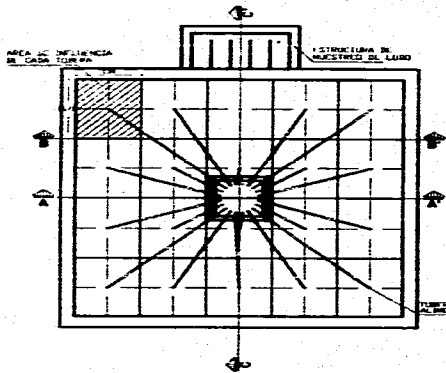
TESIS DE LICENCIATURA

PLANO GENERAL

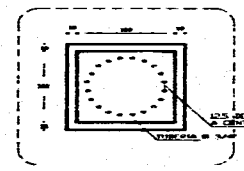
TITULO: P. DE TRAZAMIENTO DE OBRAS RESERVADAS EN OBRAS A UN S.A.F.A. P/LA C.A.E.P. ARAGON			
AUTOR: ING. GERARDO TORIBIO LOPEZ			
ASISTENTE: FLORIBERTA RODRIGUEZ PEREZ ARAGON, GUATEMALA			
PLANO: 5.1	ESCALA: 1:50	COPIA: GTS.	FECHA: JUN/68



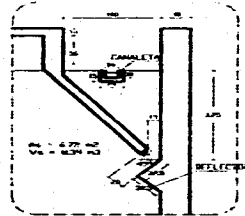
PLANTA



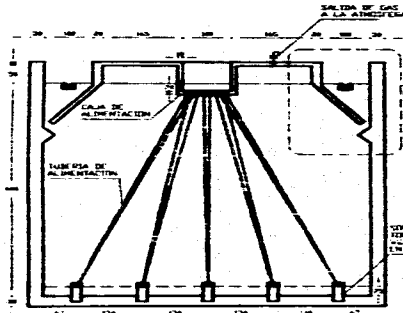
DISTRIBUCION DE TOBERAS PLANTA



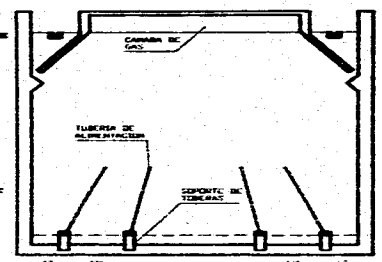
DETALLE DE CAJA DE ALIMENTACION



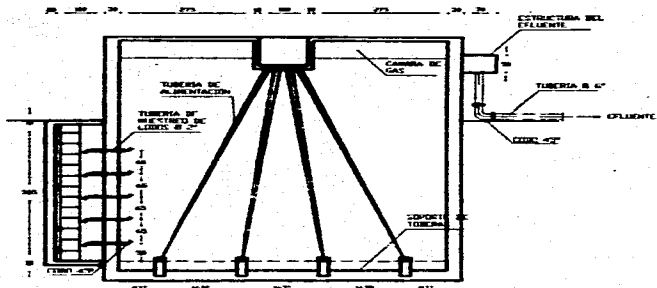
DETALLE DEL SEDIMENTADOR



CORTE A - A'



CORTE B - B'



CORTE C - C'

DATOS DEL REACTOR

Gasto de Reactor	9.33 l.p.s.
Temperatura	20 C
DDO Total	310 mg/l
Carga Organica Maxima Aplicada a 20 C	5-10 KgDDO
Tiempo de Retencion Hidraulica (TRH)	8 hrs.
Velocidad ascensional	0.25 m/h
Carga hidraulica aplicada	< 4 m3/m

DATOS DEL SEDIMENTADOR

Carga hidraulica	24 m3/m2
Tiempo de Retencion	0.5 h
Velocidad de sedimentacion	< 3.0 m/h

ESCUOLA NACIONAL DE ESTUDIOS PROF
ARAGON - U. N. A. -
TESIS DE LICENCIATURA

R.A.F.A.

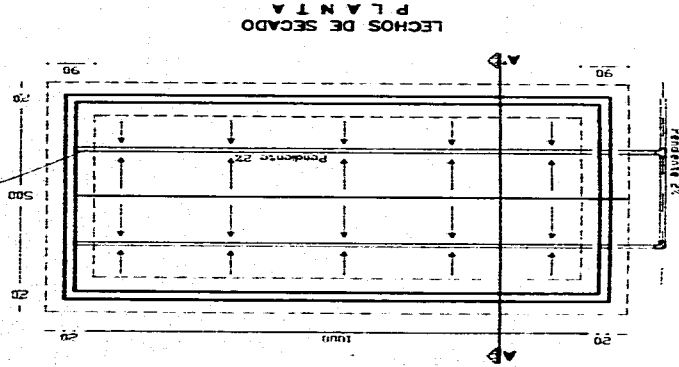
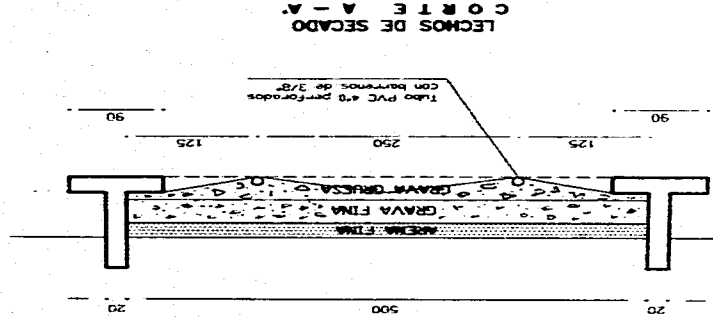
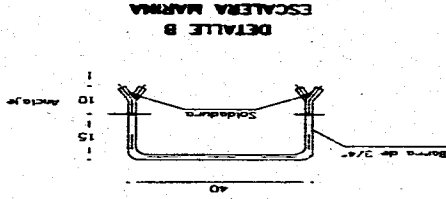
PROFESOR	ING. GERARDO TORRES
ALUMNO	FLORINDA MORENO MARTEL GARCIA
PLANO	5.2

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON - U.N.A.M.
 TESIS DE LICENCIATURA
 P. DE TITULACION DE ALUMNOS ESCOLARES
 EN OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
 EN OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
 EN OBRAS DE OBRAS DE OBRAS
 EN OBRAS DE OBRAS DE OBRAS

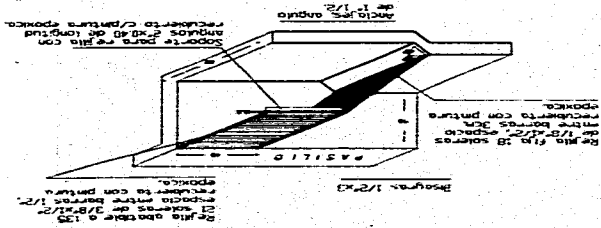
LECHO DE SECADO Y DETALLES

DATOS DE DISEÑO (Lecho de secado)

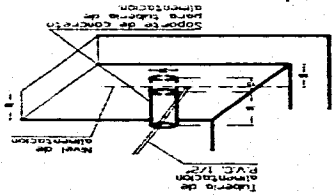
TIPO DE LECHO	18.10 m ² /da
VOLUMEN DE LECHO	23.00 m ³
AREA TOTAL DE SECADO	30.00 m ²
NUMERO DE SECCIONES	1
ALTEZA DE APILACION	0.30 m

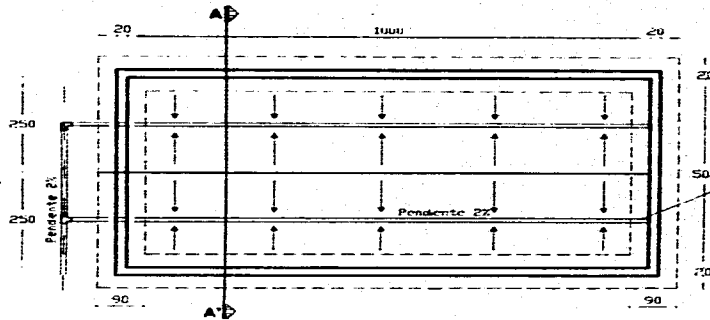


DETALLE A
COLOCACION DE REJILLAS EN DESARENADOR



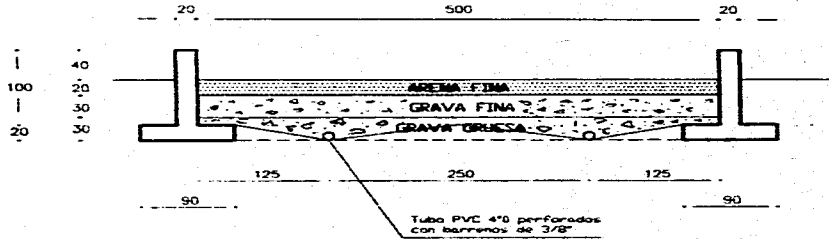
DETALLE C
SOPORTE DE TOBERAS



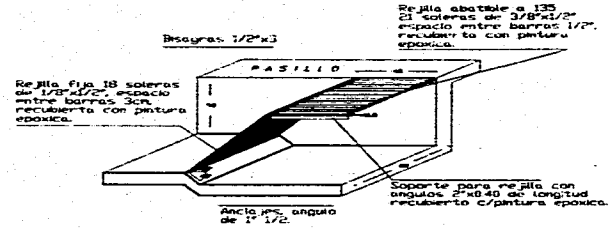


LECHOS DE SECADO
PLANTA

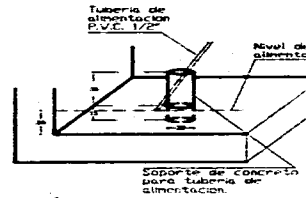
Tubo de P.V.C. de 4" perforados con barrenos de 3/8"



LECHOS DE SECADO
CORTE A - A



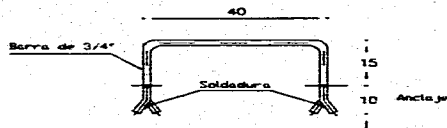
DETALLE A
COLOCACION DE REJILLAS
EN DESARENADOR



DETALLE C
SOPORTE DE TOBERAS

DATOS DE DISEÑO
(Lecho de secado)

FLUJO DE LOROS	18.10 m ³ /día
TIEMPO TOTAL DE SECADO	278 días
VOLUMEN DE LORO	25.00 m ³
AREA TOTAL DE SECADO	30.00 m ²
NUMERO DE SECCIONES	1
ALTURA DE APLICACION	0.50 m ²



DETALLE B
ESCALERA MARINA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON - U. N. A. - M.			
TITULO DE LICENCIATURA			
P. DE TITULAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN BASE A UN RAFA P/LA ENL.P. 2			
NOMBRE: ING. GERARDO TORREY LOPEZ			
NOMBRE: FLORENCIA RODRIGUEZ PEREZ			
NOMBRE: OSWALDO GARCIA GONZALES			
GRUPO: 5-3	SECCION:	ESCUELA: MTS.	FECHA:

LECHO DE SECADO
Y DETALLES

6. MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

6.1 Generalidades

En el manual de operación se incluyen los aspectos relativos a la obra física a fin de realizar el mantenimiento preventivo conforme a las normas originales. Una planta de tratamiento puede quedar fuera de operación y trabajar con baja eficiencia por no operar y conservar en forma correcta sus estructuras, lo que conlleva a reparaciones mayores y en situaciones extremas, a su cierre definitivo.

Se presenta también la manera en que se debe desarrollar el arranque de la Planta, la operación y el control del proceso, a fin de asegurar que el personal que se encargue de la misma, cuente con la información indispensable para la correcta operación.

No se incluyen los detalles del mantenimiento electromecánico o de estructuras de concreto, ya que las reparaciones mayores y correctivas de estas estructuras, dependen de cada situación y en tal caso se requerirá el auxilio de un técnico

especializado o en su caso enviar equipo o estructuras a un taller especializado para la reparación y/o mantenimiento correspondiente.

Inicialmente se describirá la Planta, tipificando cada una de las estructuras con la finalidad de que el operador ubique sin lugar a duda cada uno de los procesos unitarios y establezca claramente cuales son las estructuras y operaciones que son cruciales para la operación y cuales tienen un carácter secundario.

6.1.1 Descripción de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón se diseñó para los siguientes gastos:

Tabla 6.1 Gastos de diseño

GASTO	Uc
Mínimo	4,98
Medio	9,33
Máximo Inst.	16,67
Máximo ext.	25

El tren de tratamiento incluye dos aspectos fundamentales, el primero de pretratamiento y bombeo, el segundo de digestión anaerobia.

6.1.1.1 Pretratamiento y bombeo

Este proceso se encarga de eliminar del influente arena y materiales sintéticos o naturales gruesos, que no son biodegradables o que por su tamaño pueden ocasionar descomposturas de los equipos de bombeo, obstrucción de las líneas de conducción debido a que no son sujetas a transformación biológica (degradación), dentro del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.

Asimismo se han considerado una serie de estructuras que permiten operar con caudal constante, este hecho es fundamental, para el buen funcionamiento del RAFA. En la siguiente tabla se indican las funciones de cada una de las estructuras que conforman el pretratamiento y bombeo.

Tabla 6.2 Estructuras de pretratamiento y bombeo y su función.

<p>Caja derivadora. Diseñada para conducir un gasto máximo instantáneo de 18,67 l/s (0,01667m³/s). Considerando un diámetro de 0,36 m y una pendiente $s = 0,0005$.</p>	<p>Controlar que gastos mayores al Qmáxinst. sean derivados hacia el drenaje municipal.</p>
<p>Rejillas. Con abertura entre barras de 3 cm, inclinación respecto a la horizontal de 45°, velocidad a través de las barras de 0,3 m/s. Espesor de barras de 1/4" y soleras de 3/8" x 1/4".</p>	<p>Evitar el paso de partículas de diámetro mayores a 3 cm protegiendo el equipo de bombeo.</p>
<p>Canal desarenador. Diseñado para una velocidad horizontal de 0,3 m/s, una velocidad de sedimentación de 0,011 m/s.</p>	<p>Retener gravs y arena o cualquier otro tipo de material inerte que se pueda remover al ajustar sus características a la de diseño de partícula.</p>
<p>Cárcamo de bombes. Con las siguientes dimensiones 3m x 3m x 4,5m. Con tres bombes con las siguientes características cada una: Bomba Impel Sumergible mod C-14-76 Motor trifásico con protector térmico 1 H.P., 1700 RPM Tensión 220/440 VOLTS Diámetro de descarga 76 mm ROSCA NTP Peso de esfera 52 mm Peso total 55 kg Material Hierro gris</p>	<p>Ecualize el gasto, de manera que el RAFA, solo recibe el gasto medio de diseño.</p>

6.1.1.2 Digestión anaerobia

Una vez considerado el pretratamiento y bombeo, la siguiente operación unitaria que integra el tren de tratamiento es el REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA). Estructura en la cual se desarrolla la biotransformación de materia contaminante en biomasa y gases (concretamente el metano).

A pesar de que el RAFA es una unidad específica de tratamiento, en este caso y con la finalidad de que los operadores tengan más claro su funcionamiento, a continuación se presenta una breve descripción de las estructuras que lo integran:

Tabla 6.3 Componentes del RAFA

ESTRUCTURA	Función
Caja de distribución de influente	Distribuir el agua residual hacia las toberas evitando turbulencias.
Toberas de alimentación	Controlan el gasto y la velocidad de llegada del agua residual, distribuyéndola de manera uniforme, evitando así la formación de "acanalamiento" en el área de digestión, nocivos para el buen funcionamiento del tratamiento.
Volumen de digestión	Digestión del agua residual por medio de inóculo en diferentes fases.
Sedimentadores	Permiten la salida del agua tratada impidiendo el paso de partículas de lodo, mediante la sedimentación de éstas, cuentan con un deflector de gas que no permite la entrada de oxígeno al reactor.
Canal de efluente	En esta estructura se vierte y conduce el agua tratada hacia su destino final.
Registro para purga de lodos	Por medio de éste se lleva a cabo una revisión periódica de la densidad de lodos a diferentes alturas, verificando así la eficiencia del reactor. De ser necesario se llevará a cabo la extracción de lodos (purga) por bombeo.

6.2 Problemas de operación y acciones correctivas

6.2.1 Caja Derivadora

Los principales cuidados de esta obra se resumen en la vigilancia de los ductos y canales, manteniéndolos en óptimo estado de limpieza y en perfecto estado. La secuencia puede tener las siguientes actividades:

6.4 Actividades para el mantenimiento de la Caja Derivadora.

PROPÓSITO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Revisar el estado de tuberías y canales	Con ayuda de una lámpara sorda, revisar las condiciones en las que se encuentra el canal, observando los materiales adheridos a las paredes, residuos y arenas depositadas	Cada 24 hrs
Limpieza	Con ayuda de un cepillo de cerdas separar los materiales adheridos y arrastrarlos conjuntamente con los sedimentos hacia las rejillas.	Dos veces por semana y cuando sea necesario
Reportar las fracturas	En caso de existir fracturas en las estructuras del canal reportarlas de inmediato a la jefatura de la planta.	Cuando sea necesario

6.2.2 Rejillas

En esta etapa se deberá cuidar que las rejillas se encuentren libres de residuos la mayor parte del tiempo, ya que de encontrarse obstruidas podrán provocar que algunos residuos gruesos pasen al desarenador y de ahí al cárcamo pudiendo ocasionar daños severos al sistema de bombeo. La secuencia de operación puede estar conformada por las siguientes actividades:

6.5 Actividades para el mantenimiento de Rejillas.

ACTIVIDAD	DETALLE	FRECUENCIA
Revisar el estado de las rejillas	Verificar la cantidad de residuos depositados en las rejillas y los sedimentos depositados en el canal.	Cada 24 hrs.
Limpiar las rejillas	Con ayuda de un rastriño limpiar las rejillas depositando los residuos sobre la charola de escurrimiento. Cuando se hayan secado completamente retirarlas. Las rejillas y la charola deben quedar completamente libres.	Dos veces a la semana y cuando sea necesario.
Reportar lo daños observados	En caso de existir daños en las rejillas o en las estructuras del canal, tales como óxidos, fracturas, etc., reportarlas a la jefatura de la planta.	Cuando sea necesario.

6.2.3 Desarenador

Las actividades de las que se compondrá la secuencia estarán dirigidas hacia la limpieza y el funcionamiento alternado de los desarenadores:

Tabla 6.6 Actividades para el mantenimiento del Desarenador.

ACTIVIDAD	DETALLE	FRECUENCIA
Revisar el estado de la unidad desarenador	Introduciéndose a la unidad verificar el existe arena.	Cada 24 hrs.
Preparar la unidad para la limpieza	Abrir el canal limpio fuera de servicio y cerrar el canal en el que se va a realizar la limpieza con ayuda de las compuertas.	Dos veces por semana y cuando sea necesario.
Limpiar el desarenador	Con ayuda de pala y cepillo de cerdas duras, retirar la arena depositada.	Cuando sea necesario.
Reportar daños observados	En caso de existir daños en las paredes, estructuras, etc. reportarlas a la jefatura de la planta.	Cuando sea necesario.

6.2.4 Estación de bombeo

En esta parte se anotan las actividades de las que se compondrá la secuencia de operación, cuyo objetivo principal es el envío del agua al RAFA, ver Tabla 6.7.

6.2.5 Digestión

Para comenzar la introducción del flujo de agua residual a la planta se observará el comportamiento de los mecanismos correspondientes en condiciones de nivel de agua en operación normal.

Para facilitar que el reactor alcance las condiciones adecuadas de operación en el menor tiempo posible, se recurrirá a la siembra del mismo con lodos digeridos como inóculo. Las condiciones ambientales y las características de las aguas serán los factores que afecten el crecimiento de los microorganismos responsables de los procesos de degradación. Durante esta etapa se producirá un efluente de baja calidad. De acuerdo a la Gráfica 6.1, se logra la partida típica del proceso.

Para la siembra se utilizarán de 10 a 15 kg de lodos como SSV, por metro cúbico de reactor. Al inicio de las operaciones, la carga aplicada al reactor deberá mantenerse entre 0.05 a 0.10 kg DQO/Kg SSV-día. La carga anterior se aumentará hasta que los ácidos volátiles presenten una degradación de 80% o más. Se debe retener la parte pesada del lodo. Se permitirá el lavado de los lodos voluminosos (con pobre sedimentación).

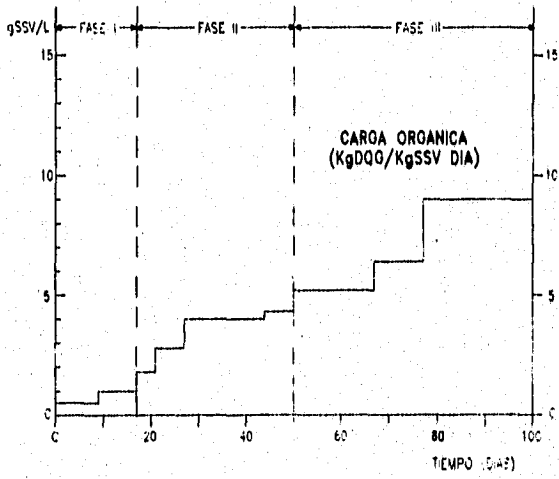
6.2.5.1 Progresión de la concentración de lodo durante el proceso de granulación.

El material para la puesta en marcha puede ser: lodos digeridos de aguas residuales, lodo de estiércol digerido, contenido de fosas sépticas o lodos de lagunas

anaerobias. En la Gráfica 6.2, se presenta el tiempo de arranque con diferentes sustratos. En ocasiones no es necesario inocular, cuando son netamente biodegradables en un tiempo reducido se formará lodo biológico.

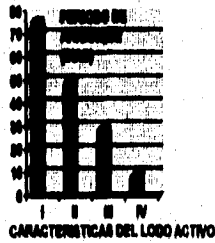
6.7 Actividades para el mantenimiento de la Estación de Bombeo.

PROCESO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Arranque del sistema de bombeo y operación continua.	Desactivar todos los interruptores de las bombas permitiendo que el agua en el tanque alcance un metro de profundidad. Abrir totalmente la válvula de la tubería que conduce el agua al sedimentador. Accionar los interruptores para el funcionamiento automático de las bombas en el centro de control de motores. Regresar 12 horas después para observar el funcionamiento de la otra bomba de funcionamiento alternado. Inspeccionar la operación del tanque periódicamente.	Al inicio de la operación de planta. Cada 24 horas.
Reportar daños observados	En caso de existir daños en los equipos paredes, estructuras, etc., reportarlas a la jefatura de la planta.	Cuando sea necesario.
Probar el funcionamiento de la bomba	Desactivar todos los interruptores de las bombas y permitir que se llegue al nivel de arranque para gasto máximo. Accionar los interruptores para el funcionamiento automático de las bombas en el centro de control de motores. Observar si el nivel del agua en el tanque disminuye rápidamente hasta que se apaguen las bombas de máximo caudal.	Cada mes
Reportar daños observados	En caso de existir daños en los equipos, paredes, estructuras, etc., reportarlas de inmediato a la jefatura de la planta.	Cuando sea necesario.
Revisión y mantenimiento preventivo del electrónivel	Esperar que el caudal de llegada al tanque sea mínimo. Retirar los electróniveles y revisar cuidadosamente. Limpiarlos exteriormente y si se localizan falsos contactos limpiarlos interiormente	Cada seis meses. Cada seis meses. Cada seis meses.



Gráfica 6.1 Desarrollo de la concentración de lodo durante el proceso de granulación.

A medida que se vayan formando los lodos en el reactor se procederá a extraer los lodos ligeros que presentan características pobres de sedimentación, permitiendo así que se acumulen los lodos con mayor consistencia.



- I) Arranque con lodo digerido. Sustrato: AGV.
- II) Arranque con lodos digeridos enriquecidos al 5% con lodos floculantes altamente activos originados en un reactor R.A.F.A. Sustrato: AGV.
- III) Arranque con lodos floculantes de un reactor R.A.F.A. que trata almidón de papa acidificado. Sustrato: Almidón de papa acidificado.
- IV) Arranque con lodo granular de un reactor R.A.F.A. que trata desecho de azúcar de remolacha. Sustrato: desecho del tratamiento de cebos, grasas, etc.

Gráfica 6.2 Arranque vs calidad de inóculo.

6.3 Inoculación

La puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente, es el factor más importante para el buen funcionamiento del tren de tratamiento.

Se puede decir que el arranque comienza con la inoculación del reactor y finaliza cuando existe una alta actividad microbiológica en los lodos, alta velocidad de sedimentación, sedimento biológico al cual es adaptado al agua residual y se

mantienen estas condiciones en el reactor, así el sistema pueda ya ser expuesto a carga orgánica de diseño y a velocidades superficiales altas sin disminuir la eficiencia.

El arranque de un reactor es rápido cuando el inóculo usado es de mejor calidad y se usa la mayor cantidad posible. El arranque se garantiza con una cantidad de lodo granular que ocupe del 10 al 15% del total del volumen del reactor, si el lodo está bien adaptado al sustrato. En buenas condiciones se puede conseguir arrancar el proceso en un mes.

Se debe tener en cuenta que los lodos activados frescos de proceso anaerobios siempre son inestables y tienen un índice volumétrico alto, así que se deben incubar anaeróbicamente por cierto tiempo, tanto para estabilizarlos como para disminuir su índice volumétrico e incrementar la actividad metanogénica.

En general, la estabilidad de la operación y el funcionamiento satisfactorio del reactor dependen de la clase de lodos que se cultiven en éste. Un buen lodo debe tener buena sedimentabilidad, alta actividad metanogénica y debe ser de forma granular. El mejor inóculo es el lodo granular de otro reactor que trate aguas de desecho similar, aunque en la práctica hay dificultad para obtener suficiente lodo a gran escala y tiene que ser sustituido por otro.

6.4 Arranque

Después de la inoculación se debe de tener cuidado en el proceso con objeto de aumentar la actividad de microorganismos.

Si el residuo es concentrado se recomienda iniciar la operación aplicando una carga orgánica volumétrica máxima de 0.5 Kg DQO/m³/día, o una carga orgánica máxima de lodo de 0.05 - 0.1 Kg DQO/KgSSV/día.

El flujo de alimentación sólo se incrementará si la producción de gas y composición es satisfactoria y si la concentración de los ácidos volátiles en el lodo es bajo (500 mg ácido acético/litro), o con una clara tendencia a disminuir. Cuando la concentración de ácido volátiles sobrepase el límite se tendrá que disminuir en forma inmediata la velocidad de flujo de alimentación.

6.4.1 Granulación de lodos

El proceso de granulación de lodos anaeróbicos en un sustrato compuesto de una mezcla de ácidos grasos volátiles puede ser dividido en tres fases:

FASE I En el arranque inicial con cargas hasta de 2 Kg DQO/m³/día. Las pérdidas de lodos están limitadas a los floculos muy finos o materia coloidal. La expansión del manto es el resultado de la carga hidráulica y del incremento de la producción de gas.

FASE II Durante esta fase (cargas volumétricas hasta 5 Kg DQO/m³/día) ocurren notables pérdidas de sólidos, debido a una excesiva expansión del manto de lodo, cuya naturaleza es floculante.

Después de 40 días se forman unos gránulos que se distinguen en la parte retenida de los lodos. La carga de lodos se incrementa notoriamente en esta fase, debido a las fuertes pérdidas de inóculo en el sistema.

Por otra parte la actividad específica del lodo es incrementada como resultado del nuevo crecimiento de materia celular. Al término de esta fase, la tasa de pérdida de sólidos en el vertimiento disminuye a través de la formación de gránulos que son fácilmente retenidos en el reactor. De hecho una selección entre los lodos granulares más pesados y el lodo de crecimiento disperso ocurre dentro del reactor.

FASE III Por arriba de 5 Kg DQO/m /día, las pérdidas por vertimiento de los lodos floculantes dispersos comienzan a ser menores que la producción de nueva biomasa granular y la carga orgánica puede incrementarse rápidamente. En ésta fase se puede aplicar cargas altas (50 Kg DQO/m /día) y aún a 30.5°C obtener excelentes eficiencias. A estas altas cargas el lodo es predominantemente granular.

Después de que se ha logrado el arranque y condiciones de operación deseadas, es conveniente almacenar exceso de lodo para una posible reinoculación debido a problemas operacionales.

6.4.2 Purga de lodos

Si el reactor opera de manera satisfactoria la generación excesiva de lodos es poco probable durante los primeros 6 meses, sin embargo para el control de la cantidad de lodos del reactor se debe llevar el registro de los sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles (SST, SSF y SSV). Se asume que los SSV corresponden a la parte microbiológicamente activa mientras que los SST son la suma de material inerte (SSF y SSV), por lo tanto se establece:

si $SSV/SST < 0.4$, hay demasiado material inerte en el lodo.

Así entonces cuando $SSV/SST < 0.4$ se debe purgar. Este es el criterio para purgar el reactor y se debe tener cuidado de su control trimestral.

6.6 Operación

Cuando al crecimiento de microorganismos en el reactor se ha establecido y estabilizado se requiere de una rutina de operación simple, consiste en observaciones

acerca de la producción de biogás y lodos fundamentalmente. Las condiciones óptimas para el funcionamiento de un proceso de digestión anaerobia son:

1. No deberán existir variaciones bruscas de temperatura.
2. Conservar el pH en un rango entre 6.5 a 7.5 unidades, a través de parámetros de proceso o piedra caliza.
3. Las cargas orgánicas y tiempos de detención hidráulica y celular deberán ser compatibles con el residuo a ser digerido y con el tipo de reactor.
4. El residuo a ser digerido no deberá contener cantidades elevadas de compuestos que puedan ser transformados en tóxicos a lo largo del proceso.
5. No permitir sobrecargas orgánicas o tóxicas sobre el límite del proceso.
6. Los parámetros para la evaluación del proceso y su periodicidad son los siguientes:

- Volumen y composición de gases producidos
- Temperatura
- pH
- Características del agua residual aplicada
- Alcalinidad
- Potencial oxi-reducción
- DBO/DQO
- Sólidos totales y sólidos volátiles
- C/N/P (Carbono/Nitrógeno/Fósforo)
- Sulfatos y sulfitos

La alcalinidad deberá encontrarse entre 2500 y 4000 gr/lit. El pH no debe variar del siguiente rango 6.8 y 7.2. El potencial oxi-reducción será de 530. Estos parámetros indican un elevado estado de anaerobiosis y capacidad reductora del medio.

Para los nutrientes las proporciones indicadas son:

C/N(Carbono/Nitrógeno) = 30

N/P(Nitrógeno/Fósforo) = 5

para DQO: N: P, es de 100: 5: 1 cuando operan con alto contenido de ácido volátiles, pero puede llegar a 330: 3: 1.

Tabla 6.6 Parámetros de evaluación del afluente y del efluente.

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE
pH	Diario	Diario
Temperatura	Diario	Diario
DQO	Diario	Diario
DBO5 - 20,5 °C	Semanal	Semanal
Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T.)	Diario	Diario
Sólidos Suspendidos Volátiles(S.S.V.)	Diario	Diario
Sólidos Suspendidos Fijos (S.S.F.)	Diario	Diario
Ácidos Grasos Volátiles (A.G.V.) Titul.	Diario	Diario
Alcalinidad	Diario	Diario
Nutrientes (Nitrógeno N y Fósforo P)	Semanal	Semanal

6.5.1 Responsabilidades fundamentales del operador responsable de la Planta de Tratamiento

1. Mantener en forma eficiente y adecuada la operación y el mantenimiento de la Planta y sus instalaciones periféricas.
2. Elaborar registros y datos estadísticos de la operación, mantenimiento y administración de la misma.
3. En base a las necesidades de la Planta desarrollar los requerimientos de personal, descripción de puestos y asignación de trabajo.
4. Proporcionar al personal de operación y mantenimiento seguridad en el trabajo con herramientas y equipo adecuados.
5. Analizar la información operacional de la planta con el fin de determinar cambios y mejoras de las instalaciones y lograr optimización en el tratamiento.

6. Asegurarse que el personal cuente con entrenamiento y conocimientos necesarios para familiarizarse al proceso de tratamiento, estableciendo programas de capacitación y adiestramiento.
7. Con el fin de abatir los gastos no requeridos en operación, materiales y mantenimiento, establecer parámetros de costos del sistema.
8. Desarrollar un sistema de primeros auxilios y de seguridad e higiene apoyado en registros y análisis estadísticos.
9. Para detectar fallas y establecer medidas correctivas, mantener comunicación continua con el personal.
10. Preparar planes para necesidades futuras.

Una vez que la planta ha arrancado, la operación del RAFA demanda de mantenimiento mínimo, el cual puede desarrollarse para personal de capacidad técnica media (ver Tabla 6.9).

6.6 Válvulas y tuberías

1. Válvulas de compuerta. Lubricar, ajustar y reemplazar empaques del prensaestopas. Revisar y corregir anualmente:

- Prensaestopas
- Engranés
- Anillos del vástago

2. Válvulas de retención. Cada seis meses se revisarán y corregirán las partes principales de las válvulas, revestimiento del disco, picaduras y desgaste.

3. Tuberías. Se realizará limpieza mensual de las líneas hidráulicas mediante varillas.

6.7 Sistema eléctrico

1. El equipo eléctrico se examinará periódicamente, verificando que opere con el voltaje prescrito y que los controles estén limpios y secos.
2. Semestralmente se revisarán los dispositivos de arranque y el aislamiento de líneas de corriente y conexiones.
3. Deberán limpiarse los contactos sucios y si persisten las fallas deben localizarse.

CAPITULO 7

OBJETIVO :

Obtener el costo unitario de agua tratada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

7. ANALISIS ECONOMICO-FINANCIERO

7.1 Conceptos básicos

Los costos del tratamiento de aguas residuales varían dependiendo de la naturaleza del residuo, el proceso, el clima, los criterios de diseño, las condiciones del sitio y los costos locales de mano de obra, materiales, terrenos y energía. Se establecen como costos de capital y costos anuales:

1. Costos de capital

- Costos de construcción, suministros y montaje de equipos
- Compra del terreno, derechos de vía, etc.
- Honorarios de ingeniería de proyecto y supervisión
- Intereses del préstamo durante el período de construcción

2. Costos anuales

Después del arranque de la planta, deben considerarse los siguientes costos anuales

- Intereses sobre el préstamo.
- Amortización del préstamo
- Depreciación de la planta
- Seguros
- Operación y mantenimiento incluyendo reemplazos menores

7.1.1 Costos de capital

$$C = a (X)^b$$

C = costo por persona o por unidad de gasto

X = población de diseño o gasto

a y b = constantes

donde:

a: es el costo cuando X es igual a la "unidad" de población, por ejemplo 1000 hab. o una "unidad" de gasto, 1000 m³/día.

b: refleja la economía de escala variando de 0.3 a 0.6, 0.3 para plantas de filtros rociadores y lodos activados y 0.5 a 0.6 para lagunas de estabilización.

7.1.2 Costos anuales

a) Intereses. Pueden variar substancialmente dependiendo de la institución que concede el préstamo.

b) Amortización. La amortización es la forma de liquidar o reducir de manera paulatina una deuda, mediante pagos periódicos, generalmente de la misma cuantía, que cubren un tanto por ciento de interés. El monto anual puede calcularse por :

$$A = \frac{P(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

A = pago anual o anualidad

P = valor presente del préstamo

i = período de amortización (años)

c) Depreciación. Es la baja de valor de cualquier activo material, debida al desgaste o a su caída en desuso. Se calcula sobre el costo original del activo. Vida estimada y depreciación anual.

Tabla 7.1 Vida estimada y depreciación anual.

CONCEPTO	Vida estimada (años)	Depreciación anual (% del capital)
1. Planta de tratamiento promedio	20	5
2. Estaciones de bombeo (maquinaria)	10	10
3. Todo el equipo y tuberías	10	10

El monto de depreciación anual puede calcularse por

$$A = \frac{F_i}{(1+i)^n - 1}$$

A = Monto anual requerido para producir a n años y tasa de interés, un monto F.

d) Costos OMR (operación, mantenimiento y reemplazos menores). Estos conceptos incluyen:

- Personal
- Productos químicos
- Electricidad y combustible
- Transporte, renta y otros costos directos
- Mantenimiento y reparaciones
- Reemplazos menores

7.1.3 Análisis financiero

La evaluación del riesgo de un proyecto para efectos de calificación de su financiamiento debe hacerse con base a los flujos de efectivo esperados. Por esta razón, la proyección de estos flujos y de los estados financieros es imprescindible, ya que fundamenta la planeación financiera del proyecto.

Para efectos de este proyecto no se esperan flujos de capital como tales, los beneficios esperados son indirectos, en el entendido de que al utilizar el agua tratada en el riego de áreas verdes se reducirá el consumo del agua potable en el plantel y en consecuencia disminuirá la erogación por este concepto.

El análisis financiero permite adecuar la planeación original a los cambios del entorno y controlar los resultados reales a partir de las metas estimadas. La proyección del caudal tratado debe considerar resultados del estudio técnico tales como pérdidas inherentes al proceso, o un incremento debido a infiltraciones a la red de drenaje, e incluso la estacionalidad en la variación del caudal por razones climatológicas u otras, y evaluar si tales variaciones tienen influencia significativa sobre los resultados financieros.

7.2 Costo de inversión

Una de las variables que más impactan la rentabilidad del proyecto y la tarifa por m³ de agua tratada es el monto de la inversión del proyecto. Por ello la mejor alternativa para el contratante es la de menor inversión.

7.2.1 Costo Directo (C.D.)

En las tablas siguientes se presentan los costos directos generados por las obras complementarias.

Descripción	Cantidad	Unidad	C.D.	Importe
1. Escavación en caga con retroexcavadora en material tipo "A" húmedo a saturado de 2.00m a 4.00m profundidad, sin obra de taludes y fondo, incluye: barreras de protección, señalización y espald de material en el lugar.	84.00	m ³	4.00	298.00
2. Suministro e instalación de tubería de concreto simple de 38 cm de ø, incluye: manillas, bajado, juntas con mortero cemento-arena 1:3 y dependencias.	18.1	m	34.34	622.84
1. Escavación en caga con retroexcavadora en material tipo "A" húmedo a saturado de 2.00m a 4.00m profundidad, sin obra de taludes y fondo, incluye: barreras de protección, señalización y espald de material en el lugar.	47.38	m ³	4.00	189.40
2. Planteo de concreto hecho en obra R.N. agregado máximo de 1/2" Fc= 100 kg/cm ² de 8 cm de espesor, incluye: arena a la estación a 20.00 m de diagonales horizontal.	0.624	m ³	60.00	31.44
3. Muro en superestructura de 38 cm de espesor, fabricado con concreto Fc = 200 kg/cm ² , R.N. agregado máximo 1/2", incluye: cimbras acabado curado, desmoldado, habilitado de 75 kg de acero refuerzo de 1/2" y 41 kg de alambres de 1/4" por m ² de concreto, materiales, mano de obra y equipo.	8.00	m ²	244.13	1644.78
4. Losa plana en superestructura de 10cm de espesor, fabricada con concreto Fc = 200 kg/cm ² , R.N. Agregado máximo 1/2", incluye: cimbras, acabado aparente, desmoldado, habilitado de 75kg de acero de refuerzo de 1/2" y 1/4" por m ² de concreto, materiales, mano de obra y equipo.	0.638	m ²	244.13	155.78
5. Compuerta DE SYMIL MOD CD-88, incluye fido e instalación.	2	pie.	1,884.00	3,888.00
6. Escalera marina, tubo galvanizado 1/2", incluye instalación.	2.30	m	69.28	160.35

CARGA DE OBRA				
1. Excavación en cepo con retroexcavadora en material tipo "A" húmedo a saturado de 2,00m a 4,00m profundidad, sin afina de taludes y fondo, incluye: barreras de protección, señalización y apile de material en el lugar.	88.00	m ³	4.00	352.00
2. Plantilla de concreto hecho en obra R.N. agregado máximo de ¼" f _c =100 kg/cm ² de 5 cm de espesor, incluye: acarreo a 1a. estación a 20.00 m de distancia horizontal.	0.45	m ²	60.00	27.00
3. Losa plana en superestructura de 10cm de peralte, fabricada con concreto f _c = 250 kg/cm ² , R.N. Agregado máximo ¼", incluye: cimbra, acabado aparente, descimbrado, habilitado de 70kg de acero de refuerzo de ½" y ¼" por m ² de concreto, materiales, mano de obra y equipo.	0.475	m ³	244.13	116.21
4. Muros en superestructura de 20 cm de espesor, fabricado con concreto f _c = 200 kg/cm ² , R.N. agregado máximo ¼", incluye: cimbra acabado común, descimbra, habilitado de 75 kg de acero refuerzo de ½" y 41 kg de alambón de ¼" por m ² de concreto, materiales, mano de obra y equipo.	13.70	m ³	244.13	3,345.24
5. Equipo de bombeo Bombas IMPEL sumergible MOD C-14-76 pluso ligero 1 HP Incluye flete e instalación.	3	pza.	6,831.00	20,493.00
Tubería de descarga de fierro galvanizado de 3" de ø	10.20	mi	75.48	776.96
Ø Codo 90° 3" de fierro galvanizado	3	pza.	38.30	114.90
Rejilla tipo Irving para todas las obras complementarias	23.58	m ²	310.66	7326.04

DESCRIPCIÓN DE ÍTEM	CANTIDAD	UNIDAD	C. U.	C. T. (U.C.)
1. Excavación en caga, con retroexcavadora en material tipo I zona "A" seco, de 0.00m a 2.00m de profundidad, sin afine de taludes y fondo incluyendo barreras de protección, señalización y apile de material en el lugar (no incluye ademe)	54.22	m ³	1.80	97.40
2. Cimientos de mampostería de piedra asentada con mezcla de calidra-arena 1:3. Incluye: acarreo de material a 1a. estación a 20.00m de distancia horizontal.	30	m ³	132.00	3,960.00
3. Relleno				
Descripción:				
Arena fina	10	m ³	53.05	530.50
Grava fina	15	m ³	53.05	795.80
Grava gruesa	10	m ³	53.05	530.50
4. Dren de PVC de 4" de ø	30	m ^l	23.00	690.00
5. "T" de P.V.C. 4"x4"	1	PZA	129.90	129.90
Codo de P.V.C. 4"	1	PZA	101.98	101.98

COSTO DIRECTO TOTAL (N648, 168.00)

Para determinar el Costo Directo del R.A.F.A. se recurrió a la utilización de la siguiente ecuación, propuesta por Noyola y Monroy (1994)¹². Este costo no incluye instrumentación ni equipo electromecánico:

$$I = 2040 V^{0.4000}$$

donde:

I = costo en dólares (US \$)

V = volumen del RAFA en m³

Sustituyendo, el volumen del RAFA de la E.N.E.P. Aragón es:

$$V = 309.74 \text{ m}^3$$

$$I = 94,919.13 \text{ dólares}$$

$$I^* = \$ 683,417.73$$

* Al tipo de cambio de \$ 7.20 por dólar, sujeto a variación.

De acuerdo a lo anterior, el costo directo total de la Planta de Tratamiento es igual a la suma del costo directo por obras complementarias más el costo directo del RAFA.

$$C.D. = \$ 46,165.00 + \$ 683,417.81$$

$$C.D. = \$ 729,582.81$$

7.2.2 Precio Unitario (P.U.)

El precio unitario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ENEP Aragón se desglosa como sigue:

¹² DR. ADALBERTO NOYOLA ROBLES. "Tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales con reactores avanzados". Tomado del ciclo de conferencias: Tratamiento de aguas residuales municipales para cumplir con la NOM-007-ECOL-1994. Ciudad de México, del 10 al 14 de julio de 1995.

$$P.U. = C.U. + UTILIDAD$$

$$C.U. = C.D. + C.I.$$

$$C.I. = 0.30 C.D.$$

$$UTILIDAD = 0.15 C.U.$$

$$C.D. = \$ 729, 582.81$$

$$C.I. = 0.30 (\$ 729, 582.81)$$

$$C.I. = \$ 218, 874.84$$

$$C.U. = \$ 729, 582.81 + \$ 218, 874.84$$

$$C.U. = \$ 948, 457.65$$

$$UTILIDAD = 0.15 (\$ 948, 457.65)$$

$$UTILIDAD = \$ 142, 266.65$$

$$P.U. = \$ 948, 457.65 + \$ 142, 266.65$$

$$P.U. = \$ 1, 090, 726.30$$

7.3 Costo unitario de agua tratada

Se considera una aportación inicial de la tercera parte del total del Precio Unitario, ya que la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está contemplada para construirse en un periodo de 3 años a partir de 1997 (según el Plan Maestro de la Dirección General de Obras y Servicio Generales).

$$\text{Costo unitario de agua tratada} = \frac{\text{Aportación inicial (\$/año)}}{\text{Gasto anual (m}^3\text{/año)}}$$

$$Q_{\text{anual de agua tratada}} = 294, 230.88 \text{ m}^3\text{/año}$$

$$\text{Aportación inicial} = \$ 363, 575.43 / \text{año}$$

$$\text{Costo unitario de agua tratada} = \frac{\$ 363, 575.43 / \text{año}}{294, 230.88 \text{ m}^3\text{/año}}$$

Costo unitario de agua tratada = \$ 1.236 / m³

7.4 Fuentes de financiamiento

Las fuentes básicas de donde se obtienen recursos para el financiamiento son el mercado de dinero y el mercado de capitales. A estos mercados concurren tanto instituciones financieras -bancos, uniones de crédito, arrendadoras, etc.- como empresas, a través de los intermediarios autorizados que son las casas de bolsa, para allegarse los fondos que requieren o destinan para el financiamiento.

Opciones de financiamiento:

Vía pasivos a corto y mediano plazo

- Papel comercial avalado
- Créditos tradicionales (banca, uniones de crédito)
- Pagarés a mediano plazo

Vía pasivos a largo plazo

- Obligaciones
- Créditos bancarios
- Certificados de participación ordinarios
- Bonos de infraestructura
- Arrendamiento
 - Puro
 - Financiero

Vía capital

- Emisión de acciones

- Oferta pública
- Oferta privada
- Sociedades de inversión de capitales (Sincas)

Banca de fomento.

Nafin. Nacional Financiera.

Funciones. Otorga créditos a empresas industriales comerciales y de servicios para su establecimiento, ampliación o modernización. Cuenta con programas de apoyo.:

Apoyo a la micro, pequeña y mediana empresa.

Estudios y asesoría técnica y comercial.

Infraestructura.

Mejoramiento del medio ambiente

Desarrollo tecnológico.

Otorga garantías y avales para la contratación de financiamiento.

Propósito. Otorgar apoyo financiero en moneda nacional o en dólares a largo plazo.

Ventajas. Se obtienen tasas de interés preferenciales y plazos de amortización acordes a las necesidades del proyecto sujeto de financiamiento, libres del cobro de comisiones por apertura de crédito.

Como puede observarse, la opción más viable de financiamiento es Nacional Financiera en combinación con la E.N.E.P. Aragón (vía U.N.A.M.). A continuación se proponen dos arreglos, sujetos a consideración:

ARREGLO	ETAPA	NACIONAL FINANCIERA	E.N.E.P. U.N.A.M.
A	1ª	100%	
	2ª	50%	50%
	3ª		100%
B	1ª	50%	50%
	2ª	50%	50%
	3ª	50%	50%

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente proyecto surge como una alternativa sujeta a consideración que, al mismo tiempo, pretende sentar las bases para exhortar a la realización de estudios más detallados y/o el planteamiento de otras opciones que den solución al problema del tratamiento de aguas de la E.N.E.P. Aragón.

Cabe mencionar que la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la E.N.E.P. Aragón está contemplada en el Plan Maestro de la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la Institución, en un periodo de 3 años a partir de 1997.

Así entonces, las conclusiones que se derivan de este trabajo van orientadas en tres sentidos:

1. Factibilidad. El tipo de tratamiento propuesto brinda numerosas ventajas comparado con cualquier otro tipo de tratamiento aerobio, entre las que destacan: bajos costos de

operación y mantenimiento, bajo consumo de energía, desecho mínimo de lodos, construcción relativamente sencilla, no requiere de grandes extensiones de terreno y no necesita equipo electromecánico.

En este sentido y debido a la situación económica por la que atraviesa el país, es necesario obtener los mayores beneficios al menor costo en aras de la optimización de recursos, por lo cual la implantación del RAFA en la E.N.E.P. Aragón resulta una excelente alternativa.

2. Consideraciones previas. Los resultados arrojados en el análisis del agua residual mostraron altos niveles de conductividad eléctrica, por lo que se hizo necesario llevar a cabo un sondeo que permitiera verificarlos e inducir las posibles causas.

En base a los resultados de este sondeo se infiere que existe contaminación del manto freático a la red de alcantarillado ya que en las tomas sanitarias se presentan valores normales, mientras que en las tomas pluviales los niveles de conductividad eléctrica se encuentran muy por encima de los límites permisibles.

3. Social. Recalcar la necesidad e importancia de contribuir a una nueva cultura del uso y reuso del agua, como parte integral de la formación educativa de las nuevas generaciones pues de ello depende la optimización del recurso a futuro.

Por lo que se refiere a las recomendaciones, la principal va encaminada al mantenimiento inmediato de la red de alcantarillado o en el mejor de los casos, la reestructuración total del mismo. De lo contrario, las filtraciones existentes inhibirán por completo el proceso de tratamiento propuesto.

En cuanto a los procedimientos constructivos y conociendo el tipo de suelo en que está ubicada la E.N.E.P. Aragón, se propone la utilización de una cimentación total o parcialmente compensada en las estructuras que componen el tran de tratamiento.

En el tratamiento de aguas residuales en condiciones anaerobias no se degrada rápidamente el concreto, pero su ataque llega a carcomer las superficies sumergidas llegando a descubrir el acero de refuerzo. Para disminuir el deterioro de los elementos de concreto debido a las reacciones químicas que se registran durante la operación de la planta, deben evitarse los agregados nocivos, verificar que sean de buena calidad, que no reaccionen con los álcalis del cemento y reducir al mínimo la penetración del agua al interior del concreto; de manera que éste debe ser denso y compacto, con poco agrietamiento por contracción y resistente al ataque químico. Pueden ser utilizados cementos puzolánicos de bajo contenido de aluminato tricálcico, en ningún caso el porcentaje de éste debe rebasar el 25% del peso del cemento. Además, se pueden utilizar aditivos inclusores de aire y un aditivo impermeabilizante integral. El agua debe ser potable con contenido máximo de cloruro soluble del 0.15% respecto a la masa del concreto.

Finalmente se recomienda que el agua tratada sea utilizada en el riego de áreas verdes, evitando su almacenamiento por períodos prolongados. De esta forma se contribuye a la optimización del agua potable al no emplearla en actividades secundarias.

APENDICE A

EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

De acuerdo con el Plan Director Urbano, el Programa Ecológico del Territorio Nacional y el Sistema Nacional de Areas Protegidas de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, el uso de suelo es adecuado y congruente con el proyecto en cuestión. En viciación con otras leyes referentes a la preservación del medio ambiente, este proyecto cumple cabalmente con las disposiciones para desarrollar y presentar la Manifestación de Impacto Ambiental en la Modalidad General al que se refieren los artículos 9o. y 10o. del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de Impacto Ambiental.

La finalidad de este proyecto es netamente compatible con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en lo que respecta a los siguientes puntos:

a) Política Ecológica, ya que en el proyecto a desarrollar se considera, también, que el aprovechamiento de los recursos naturales no renovables (como el agua) deben utilizarse de modo que se evite el peligro de su agotamiento y la generación de efectos ecológicos

adversos, en este caso específico, el tratamiento de aguas residuales permitirá aprovechar el agua de un modo más óptimo.

b) Ordenamiento Ecológico, ya que toma en cuenta la naturaleza y las características del ecosistema, y considera también la orientación de la zona en función de sus recursos naturales, así como la distribución de la población y las actividades económicas en el área.

c) Aprovechamiento Racional de los Elementos Naturales, ya que, hablando específicamente del agua, el proyecto no afecta en forma alguna a cuerpos de agua cercanos, sino al contrario, beneficia la subcuenca del Río Moctezuma al aliviarla de las descargas residuales generadas por cerca de 16,000 habitantes al día.

d) Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos, ya que el proyecto está encausado por lo dispuesto en el inciso V del artículo 117 de la mencionada Ley, que indica que las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

Identificación de Impactos Ambientales

En la preparación del terreno y obra civil de esta planta de tratamiento no se producen impactos ambientales; mediante la operación de esta planta se produce un impacto secundario, causado por la generación de malos olores, sin embargo, en el sistema de tratamiento propuesto éstos son mínimos. Se pretende ayudar a la conservación y mejoramiento del medio ambiente mediante el tratamiento de aguas negras, también se está colaborando en la solución de uno de los problemas más agudos que afecta a la población del país, como es el suministro de agua.

Tampoco se tiene contaminación por medio del ruido ya que el grado de afectación que se puede generar mediante el bombeo de el agua es mínimo.

Medidas de prevención y mitigación de los Impactos Ambientales Identificados

1. La remoción y el traslado de material implica el movimiento de pequeñas cantidades de desechos domiciliarios y maleza al tiradero municipal. Los desechos domiciliarios son producto del hecho ya citado de que el predio fue usado anteriormente como centro de acopio de basura.
2. Las excavaciones de tierra para tuberías, alteraran el suelo muy ligeramente, ya que este será reusado para cubrir las tuberías una vez instaladas estas, por lo que no se tomarán medidas adicionales en este punto.
3. Las diversas construcciones usarán recursos naturales como grava, arena, agua, etc., pero en volumen limitado, por lo que no se consideran efectos negativos, no se toma medida alguna.
4. En caso de haber una ruptura en las tuberías, es posible que ciertas cantidades de agua residual se filtren al subsuelo, contaminándolo. Como medida preventiva se implantará un programa de mantenimiento periódico, el cual se presenta en el Manual de Operación y Mantenimiento de la planta.
5. Las etapas de tratamiento primario y secundario de aguas residuales ayudarán a preservar el vital líquido, ya que las aguas tratadas servirán para irrigar áreas verdes, evitado así, el uso de agua potable para este fin. Además el agua tratada tendrá otros usos, como en laboratorios y en su almacenamiento para uso en caso de incendio.

6. El depósito de lodos residuales implica dos impactos: la posible contaminación del aire por bacterias presente en ellos, y la contaminación del suelo si logran filtrarse a las capas inferiores de este. El proyecto incluye la instalación de un lecho de secado, en el cual estos serán acumulados y gradualmente deshidratados para que resulten inocuos, además se colocará una capa permeable bajo el lecho de desecación para evitar la posibilidad de filtración al subsuelo de sustancias nocivas.
7. La demanda de mano obra, aunque temporal, será desde cualquier punto de vista, un impacto benéfico.
8. Forestación y creación de áreas verdes; este punto también será muy favorable para la comunidad estudiantil, ya que redundará en un mejor lugar para desarrollar sus actividades académicas, tanto estética como ambientalmente, pues producirá oxígeno que contribuirá a aliviar un poco el problema de la calidad del aire de la zona.

A continuación se muestra la matriz del Método Simplificado de Leopold, tomada del trabajo tesis titulado "Apuntes de Impacto Ambiental", que para obtener el título de Ingeniero Civil presentó el Ing. Victor Bobadilla Hernández (1995), en ella se resumen los impactos que se generarían de llevarse a cabo la Planta de Tratamiento.

METODO SIMPLIFICADO DE LA MATRIZ DE LEOPOLD

FACTORES DEL MEDIO		ACTIVIDADES	PREPARACION Y CONSTRUCCION						OPERACION					
			LIMPIEZA Y DESPLAZAMIENTO	EXCAVACIONES Y MOVILIZACION DE MATERIALES	UTILIZACION DE PERSONAL E INFRAESTRUCTURA	GENERACION DE RESIDUOS	CREACION DE AREAS VERDES	PROCESO DE FUMIGACION	MONITORIO DE INSTALACIONES	PLUGA DE RESIDUOS	UTILIZACION DE PERSONAL	MONITORIO DE AREAS VERDES	GENERACION DE RESIDUOS	
			A	B				B				B		
SUELO	EROSION DEL SUELO													
	CALIDAD DEL SUELO													
AGUA	INUNDACION SUPERFICIAL								B			B		
	CALIDAD DEL AGUA								B					
	ALTERACION DE FLUJO								B			B		
	CALIDAD DE AGUA							/			B	/		
ATMOSFERA	CALIDAD DE AIRE		a	a	a			a	a	a	B			
	RUIDO			a	a				a					
BIOTA	FLORA		a	a				a	B				B	a
	FAUNA		a	a	a			a	B				B	a
ESTRUCTURA	PASAJES			a		/		b				B	/	
	ZONAS DE RESERVA		a	A	a				b			B		
SOCIOECONOMIA	ECONOMIA REGIONAL				b							b		
	INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS		/			B		/	b					
	EMPLEO				b				b			b		
	SALUD Y SEGURIDAD							a	B	b	a			a

SIMBOLOGIA

- A: Adverso significativo
- B: Benéfico significativo
- /: Impacto mitigable
- a: Adverso no significativo
- b: Benéfico no significativo

APENDICE B CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Resultado del sondeo de verificación de conductividad eléctrica.

TOMA	PROBETA	C.E.
TS-1	A	1396
	B	1470
TS-2	A	345
	B	317
TS-3	A	426
	B	492
TS-4	A	564
	B	531
TS-5	A	392
	B	348
TP1	A	482
	B	420
TP2	A	5072
	B	4981
TP3	A	17563
	B	17472
TP4	A	16752
	B	16124
TP5	A	15891
	B	15846

C.E.: Conductividad eléctrica en Microhoms/cm 25°C

TS: Toma sanitaria

TP: Toma pluvial

APENDICE C

GRAFICAS PARA DISEÑO HIDRAULICO

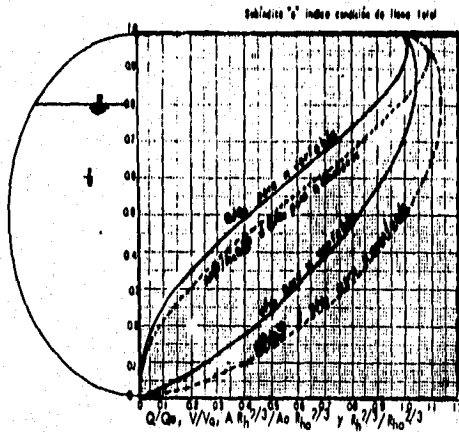


Figura I. Características del flujo en un conducto circular parcialmente lleno, según Kozony.

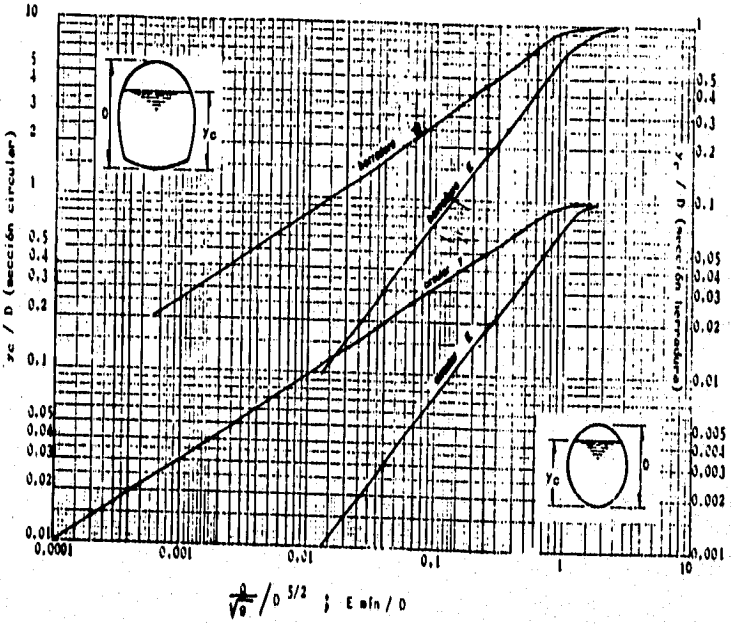


Figura II. Curvas para determinar el tirante crítico y energía específica mínima en secciones circular y herradura.

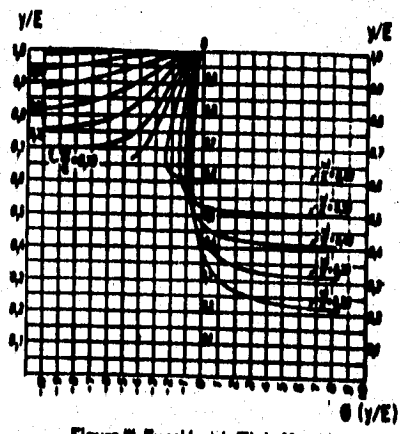


Figura III. Función $\phi(y/E)$ de Marchi.

GLOSARIO

A

Acidez. Es una medida de la cantidad total de sustancias ácidas (H^+) presentes en esa agua, expresadas en ppm de carbonato de calcio equivalente. La acidez se da en carbonato de calcio equivalente.

A.B.S. Detergentes sintéticos que son una cadena alquil-benceno-sulfanatos de sodio.

Aforo, métodos de.

Descarga directa:

Orificio. Es una abertura cilíndrica o prismática a través de la cual fluye el líquido. El orificio normalizado es aquel en que el borde del orificio que determina el chorro es tal que este chorro en su salida no toca de nuevo la pared del orificio. En la práctica puede conseguirse biselando el borde del orificio. El caudal que fluye a través de él se determina utilizando el teorema de Torricelli.

Canal de aforo Venturi (Parshall). Utilizan el principio del calado crítico para medir caudales en canales. El canal de aforo Parshall es generalmente fijo y se usa para medir caudales en las plantas de tratamiento.

Medida volumétrica de descargas. Se mide el volumen del fluido descargado en un período especificado de tiempo. Generalmente, ello puede hacerse sólo en caudales muy bajos.

Calado-pendiente. Consiste en realizar mediciones de calado de la corriente en el lugar y la pendiente de la alcantarilla. Se elige un valor para el coeficiente de rugosidad. Se trata de una aproximación que depende directamente de la regularidad de flujo y la precisión del coeficiente de rugosidad elegido.

Toberas de flujo. Los medidores del caudal con toberas hacen uso del principio de Venturi, pero utilizan una tobera que se inserta en la tubería en vez del tubo de Venturi para producir la presión diferencial. Las toberas de flujo abiertas unidas al final de la tubería suelen ser del tipo Kennison. Dado que las toberas situadas al final de las tuberías son esencialmente vertederos proporcionales, solamente se necesita una conexión a presión para medir la carga.

Tubo de Venturi. Consta de tres partes: 1) El cono de entrada, en el cual el diámetro de la tubería se reduce gradualmente; 2) La garganta o sección contraída y, 3) el cono de salida, en el cual el diámetro aumenta gradualmente hasta el de la tubería en la que se inserta el medidor. La garganta en los tubos normalizados varía entre 1/5 y 3/4 del diámetro de la tubería, y su longitud es aproximadamente igual al diámetro. Se inserta un piezómetro diferencial en la garganta y en la porción recta de entrada, la determinación de la cantidad de agua que fluye se basa en la diferencia de presiones indicadas entre la entrada y en la garganta del medidor.

Cómputo área-velocidad:

Molinetes. Se utilizan para la determinación precisa de la velocidad de flujo siempre y cuando no haya demasiados papeles u otras materias suspendidas que puedan obstruir el medidor. Este tipo de aforo puede realizarse siguiendo diversos métodos: el de un sólo punto, el de dos puntos, el de puntos múltiples, el de integración por secciones y el de integración de una sola operación.

Medidas con flotadores. Son raramente realizadas en alcantarillas, excepto en canales rectangulares o para la determinación aproximada de la velocidad de flujo entre dos pozos de registro; son muy utilizados en estudios de corrientes de mareas o de aguas residuales en masas de agua en las que aquellas son vertidas. Se utilizan tres tipos de flotadores: superficial, sumergido y de varilla. Con los flotadores superficiales solo pueden obtenerse velocidades en la superficie, los resultados son aproximados. Los flotadores sumergidos se componen de cuerpos relativamente grandes, algo más pesados que el agua, conectados por alambres finos a flotadores superficiales de tamaño suficiente para proporcionar la flotación necesaria, que llevan marcadores mediante los cuales pueden trazarse sus trayectorias. Los flotadores de varilla, consisten en unos cilindros metálicos lastrados de manera que pueden flotar en posición vertical; los resultados tienen mucha precisión.

Tubos de Pitot. Ha sido muy útil en aforos de tuberías de agua, no se aplica en aforos de alcantarillas debido a que la materia suspendida tiende a obturarlos.

Trazadores con colorantes. Una vez elegida una sección de una alcantarilla en que el flujo es constante y uniforme, se inyecta el colorante en el extremo superior y se determina el tiempo de su llegada al extremo inferior.

Aguas residuales. Es el agua suministrada a una población, que habiéndose aprovechado para diversos usos, ha quedado impurificada.

Alcalinidad. Representa el contenido de carbonato, bicarbonatos, hidróxidos y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos en el agua. Es expresado en ppm de carbonato de calcio. Medida de la cantidad total de sustancias alcalinas presentes en el agua. La actividad de un ácido se mide por el valor del pH. Cuanto más activo sea un ácido, menor será el pH y cuanto más activo sea un álcali, será mayor el pH.

B

Bacterias. Vegetales rudimentarios, generalmente no pigmentados los cuales se reproducen por división en uno, dos o tres planos. Se encuentran como células aisladas, en grupos, en cadenas o filamentos y no requieren luz para su proceso vital. Pueden desarrollarse en medios de cultivo especiales fuera de su hábitat natural.

Anaerobias. Bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno libre y que extraen oxígeno de las sustancias complejas, al descomponerlas.

Anaerobias facultativas. Estas bacterias se adaptan por sí mismas al desarrollo tanto en presencia como en ausencia de oxígeno no combinado.

Grupo coliforme. Grupo de bacterias que habitan predominantemente en el intestino del hombre, también pueden encontrarse en los vegetales, incluyéndose todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos que no esporulan y fermentan la lactosa desprendiendo gases. Todos los animales de sangre caliente albergan en su tracto intestinal bacterias parásitas de varios tipos. A todos los miembros de un grupo específico de ellas, se les conoce como bacterias coliformes. No son normalmente patógenas e intervienen en el proceso digestivo del organismo huésped. Son descargados del tracto intestinal en cantidades enormes. Se encuentran siempre en grandes cantidades en las aguas negras, las cuales contienen cuando menos de cuatro a cinco millones de bacterias coliformes por milímetro. Su presencia es evidencia positiva de contaminación y de la posible presencia de bacterias patógenas provenientes de las descargas del cuerpo de los animales.

Autótrofos. Organismos "auto-alimentantes" que pueden elaborar una gran variedad de compuestos a partir de las moléculas simples de nutrientes.

Saprófitas. Bacterias que medran sobre materia orgánica muerta. Tienen una existencia independiente, hallan su propio suministro alimenticio, se adaptan a las condiciones del medio ambiente y llevan a cabo su trabajo sin el estímulo de otros organismos. Escinden los complejos orgánicos componentes de la materia mediante el proceso conocido como degeneración o descomposición en sustancias más simples.

Metanogénica. Son las bacterias que emplean los productos de la fase no metanogénica para producir gas metano, en cuyo proceso intervienen aparentemente dos grupos: uno que obtiene energía de la oxidación de hidrógeno molecular, mientras que el otro oxida el acetato.

No metanogénicas. Son las bacterias productoras de hidrógeno y que se consideran un subgrupo de las bacterias productoras de ácidos. Constituyen un grupo diverso de bacterias facultativas anaeróbicas, con las que se obtiene gran número de productos finales resultantes del metabolismo, la mayoría de los cuales son convertidos en acetato, bióxido de carbono e hidrógeno.

Patógenas. Entre las bacterias parásitas existen algunas cuyos productos finales son venenosos para el organismo huésped, y son la causa de las enfermedades.

Bases. Son compuestos que se ionizan en el agua produciendo iones hidróxido (OH⁻). Las bases se ionizan en diferentes grados. Las bases "fuertes" como el hidróxido de sodio y el hidróxido de calcio, se ionizan en alto grado, mientras que las bases "débiles" se ionizan parcialmente.

Biodegradable. Producto químico capaz de descomponerse por procesos biológicos naturales.

Biomasa. La cantidad total de materia viviente en una área determinada.

Biota. Poblaciones de organismos que existen e interactúan en una área determinada.

C

Compuesto. Sustancias homogéneas formadas por la unión de dos o más elementos diferentes combinados en porciones fijas de peso.

D

Decantación. Método de separación de un sólido y un líquido por acumulación de aquél en el fondo de un recipiente y posterior trasvase del líquido.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, en un tiempo y a una temperatura especificada. No tiene relación con los requerimientos de oxígeno para la combustión química dependiendo de la disponibilidad de materia utilizable como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación.

Destilación. Es un método para separar dos sustancias en las que sólo una es volátil. Procedimiento en el cual se evapora un líquido en tales condiciones, que el vapor se condensa más tarde.

Digestión. Proceso que ocurre en un digestor.

Anaerobia. El proceso consiste en la estabilización de materia orgánica putrescible, mediante la actividad biológica de microorganismos que toman oxígeno para su subsistencia de compuestos que lo contienen, como nitratos y carbonatos, pero que no usan el oxígeno libre del aire. El proceso por tanto debe realizarse en espacios cerrados.

Mesofílica. Digestión por acción biológica que se desarrolla a 45°C (113°F) o menos.

Termofílica. Digestión que se efectúa generalmente a temperaturas de 45° a 63°C (113-145°F).

Dilución. La relación de volumen de flujo de una corriente al volumen total de aguas negras o efluentes de plantas de tratamiento de aguas negras, descargadas en ella.

Dureza del agua. Se denomina al agua que contiene calcio y magnesio.

E

Efluente. Aguas negras, agua o cualquier otro líquido, parcial o totalmente tratado, o en su estado natural, como puede ser el caso de la corriente de salida de un depósito, estanque o planta de tratamiento o de alguna sección de ella.

F

Fermentación. Desasimilación anaeróbica de compuestos orgánicos por la acción de microorganismos y otras células o de extractos celulares. Acción microbiana regulada por el hombre.

Filtro. Dispositivo para separar los sólidos de un líquido, mediante algún tipo de colado.

Fosa séptica. El más antiguo y simple de los sistemas de tratamiento anaerobio. Su utilización se ha limitado a tratar los desechos domésticos de casas aisladas. El drenaje conduce los residuos al tanque o reactor, donde los residuos se sedimentan y metabolizan anaeróbicamente. El sobrenadante, parcialmente estabilizado, es evacuado y los gases que se producen son liberados a la atmósfera; los sólidos digeridos deben retirarse periódicamente.

I

Incubación. Procedimiento biológico, que consiste en mantener en recipientes adecuados y a una temperatura determinada, medios de cultivo para provocar el desarrollo bacteriano, o mezclas de suelos y bacterias o células para estudiar diversos fenómenos relacionados con la inmunidad.

Indicador. Sustancia que se utiliza para el descubrimiento visual y la determinación de un componente en una sustancia o en una mezcla de sustancias. Determina el punto de equivalencia de una titulación. Cambia de color al variar el pH de la solución durante la titulación. Son ácidos o bases débiles.

Influyente. Aguas negras, agua o cualquier otro líquido crudo o parcialmente tratado, que entra a un depósito, estanque, o planta de tratamiento o alguna parte de ella.

Inóculo. Es un lodo activo con características granulares, buena sedimentabilidad y alta actividad metanogénica.

L

Lecho de secado. Estructura diseñada para la disposición de lodos, producto de la purga de la unidad de tratamiento.

Licuefacción. La transformación de la materia orgánica de las aguas negras de su estado insoluble a soluble con la consiguiente disminución en su contenido de sólidos.

Lixiviación. Es una operación usual que consisten en dos etapas: a) un buen mezclado del sólido o de la mezcla sólido-líquido con el líquido de lavado y, b) separación del líquido de lavado.

Lodo. Los sólidos depositados por las aguas negras, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques o estanques, o bien por disposición, en lechos de secado. Contienen más o menos agua para formar un masa semilíquida.

M

Materia orgánica. Sustancias químicas de origen animal, vegetal e industrial. Incluye a la mayor parte de los compuestos de carbono, y son combustibles y volatizables por el calor.

Materia suspendida. Son aquellos sólidos seguidos que pueden ser separados por filtración en el laboratorio.

Membrana. La que permite el paso de un disolvente, pero es impermeable a las sustancias disueltas.

Microorganismos. Diminutos organismos, vegetales o animales, invisibles o apenas visibles a simple vista.

N

Nitrificación. Cualquier proceso bioquímico que convierte el amoníaco y nitrógeno orgánico en nitrato.

N.M.P. En el ensayo del contenido bacteriano por el método de dilución, el número de organismos que, de acuerdo con la teoría estadística, sería entre los otros números posibles el más probable que se obtenga como resultado del examen; o el que obtendría con la mayor frecuencia como resultado del examen. Se expresa en cantidad de organismos por 100 ml.

O

Oxidación. La adición de oxígeno, la pérdida de hidrógeno o el aumento en la valencia de un elemento.

Aguas negras, de. Proceso en el cual, y a través de la acción de organismos vivos en presencia de oxígeno, la materia orgánica contenida en las aguas negras es convertida a formas más estables.

P

Partes por millón (ppm). La concentración de un determinante componente disuelto en las aguas negras, expresada en mg/lit.

Período de retención. El tiempo teórico requerido para desalojar el contenido de un tanque o una unidad, a una velocidad o régimen de descarga determinado (volumen dividido por el gasto).

pH. Es el logaritmo de la recíproca de la concentración de los iones de hidrógeno. (No es lo mismo que la alcalinidad, ni puede ser calculado de ella).

Proceso biológico. El proceso por el cual, la actividad vital de las bacterias y otros microorganismos, en su busca de alimento, descomponen los materiales orgánicos complejos, en sustancias más simples y estables. La autopurificación de las corrientes contaminadas con aguas negras, la digestión de los lodos y los llamados tratamientos secundarios de las aguas negras, son el resultado de estos procesos. También se llama proceso bioquímico.

Putrescibilidad. 1) La tendencia relativa de la materia orgánica a sufrir descomposición en ausencia de oxígeno; 2) La susceptibilidad de las aguas de desecho, aguas negras, efluentes o lodos, a la putrefacción; 3) Término usado en el análisis de las aguas o aguas negras para definir la estabilidad de una agua contaminada o de aguas negras crudas o parcialmente tratadas.

Protozoos. Son protistas móviles microscópicos, y por lo general unicelulares. La mayoría son heterótrofos aerobios, algunos pocos son anaerobios. Son de un orden de magnitud mayor que las bacterias y suelen consumir bacterias como fuentes de energía. Actúan como purificadores de los efluentes de procesos biológicos de tratamientos de aguas residuales al consumir bacterias y partículas orgánicas.

R

Rejas. Una criba formada por barras paralelas que pueden colocarse verticales o inclinadas en un cauce de agua para detener los desperdicios flotantes y de la cual pueden retirarse los desperdicios retenidos mediante rastrillos.

Residuo volátil. Se consideran, aunque no con entera precisión, equivalentes a los contenidos minerales y orgánicos.

S

Saturación. Estado de equilibrio entre dos fases de un sistema (sólido-líquido, vapor-líquido, etc). Depende de la temperatura, por la cual en las soluciones la saturación define el límite de solubilidad para la temperatura de observación. La solubilidad, generalmente, aumenta con la elevación de la temperatura.

Sedimentación. Es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. Esto se logra usualmente disminuyendo la velocidad del líquido por debajo del límite necesario para el transporte del material suspendido. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.

Septicidad. Acción producida por la putrefacción o por gérmenes patógenos.

Sólidos. Material en el estado sólido.

Disueltos. Sólidos que están en solución.

No sedimentables. Sólidos suspendidos finamente divididos que no se asientan en el agua, aguas negras, u otro líquido en reposo, en un período de tiempo razonable. Este período se considera arbitrariamente de dos horas.

Sedimentables. Sólidos suspendidos que se asientan en el agua en reposo, en un período considerado de dos horas.

Suspendidos. Es la cantidad de material que se deposita, al filtrar cierta cantidad de agua, a través de una capa de asbesto en un crisol de Gooch.

Totales. Son los sólidos contenidos el agua, se incluyen los sólidos suspendidos (en su mayoría eliminables por el papel de filtro), así como los filtrables (o sea aquellos que pasan a través del papel filtro).

Volátiles. Es la parte de los sólidos totales que hay en el agua que se pierden por calcinación.

Solubilidad. El grado en que una sustancia se disuelve en un determinado solvente.

T

Tanque de Imhoff. Es un tanque profundo de dos secciones, para aguas negras, patentado originalmente por Kari Imhoff. Consiste de una cámara superior o de sedimentación a flujo continuo, y de otra cámara inferior o de digestión de lodos. El fondo de la cámara superior está inclinado hacia topes fijos, por los cuales pueden resbalar los sólidos hacia la cámara inferior. En este tanque, al sedimentarse los sólidos se van deslizando al compartimiento de digestión sobre el falso fondo (muy inclinado), los gases y las nubes producidas durante el proceso se dirigen hacia los canales laterales donde son evacuados. Una vez digeridos los lodos se extraen por gravedad o por presión hidrostática.

Titulación. Cuando se determina la concentración de un reactivo, haciéndolo reaccionar con una cantidad conocida de otro reactivo se realiza una titulación. Un equivalente de un compuesto reacciona siempre con un equivalente de cualquier otro compuesto.

V

Virus. Grupo específico de agentes infecciosos que pasan a través de un filtro ultramicroscópico. Carecen de los sistemas bioquímicos necesarios para las funciones metabólicas normales de la célula y son esencialmente unidades organizadas para la autoduplicación. Para llevar a cabo este proceso parasitan e invaden a otras células.

GLOSARIO DE TERMINOS FINANCIEROS

C

Capital social. Total de capital aportado por los socios de una empresa. Se distingue el capital social fijo que es aquella parte del capital de la sociedad que no puede aumentar o disminuir sin reformar previamente los estatutos sociales a través de una asamblea extraordinaria de accionistas. En las sociedades de capital variable, el capital social se puede incrementar por nuevas aportaciones de los socios fundadores o ingreso de nuevos socios, o disminuir por retiro parcial o total de los mismos.

Capital contable. Equivale al valor en libros de la empresa. Es el resultado de restarle el activo total el pasivo total. Es también la suma de las cuentas de capital en un balance: capital social + utilidades acumuladas no distribuidas + superavit por ventas de acciones + superavit por revaluaciones + utilidades del ejercicio en curso.

Costo financiero. Se entiende como costo financiero el que resulta del pago de los intereses, cargos y comisiones de un crédito, también llamado servicio de la deuda, durante el período fijado para su amortización o pago total.

I

Índice de Rentabilidad. El índice de rentabilidad (IR) o razón costo beneficio de un proyecto, es el valor presente de los flujos de efectivos netos futuros sobre el desembolso de efectivo inicial.

Interés. Es el costo que el beneficiario de un crédito debe pagar al prestamista por el uso del dinero, dicho costo resulta de la aplicación periódica de una tasa porcentual convenida de antemano al principal de la deuda. Cuando el interés generado en el período se suma al principal para el cálculo del interés del siguiente período se dice que se realiza una capitalización de los intereses. Las tasas de interés son fijadas por los oferentes de crédito -instituciones financieras- en función de la oferta y la demanda del mercado de dinero, y asociando para cada operación en particular su grado de riesgo con las expectativas de rendimiento de los inversionistas que aportan los recursos para su fondo.

Inversión. Aportación de recursos para obtener un beneficio futuro.

M

Mercado de capitales. El mercado de capitales es el constituido por recursos a largo plazo para inversión (acciones) y para financiamiento (obligaciones).

Mercado de dinero. El mercado de dinero se puede definir como un mercado de instrumentos de renta fija a corto plazo. Actualmente este mercado incluye operaciones con los siguientes instrumentos principales: Cetes, aceptaciones bancarias, papel comercial bursátil y extrabursátil y pagarés empresariales y en cierta medida por obligaciones.

P

Plazo. En los mercados financieros se define como corto plazo el de menos de tres meses; mediano de tres meses a dos años y largo de más de dos años. Sin embargo el concepto de plazo es variable según el inversionista y el entorno económico; así en una época de hiperinflación corto plazo puede ser un día, mediano una semana y largo un mes.

T

Tasa de descuento. Es la tasa de rendimiento que se usa para deflactar flujos futuros (estimados) de una inversión para calcular su valor presente.

Tasa real. Rendimiento que otorga un instrumento de inversión una vez desconectados los efectos inflacionarios.

Tasa activa. Tasa de interés que los clientes deben pagar a las Instituciones financieras por el crédito que estas le conceden.

Tasa pasiva. Tasa de interés que un banco debe pagar por el dinero que recibe en préstamo (inversión).

Tasa anual. Es el rendimiento anual expresado en porcentaje que otorga una inversión en el período de un año.

Tasa nominal. Tipo de interés que se carga sobre el valor nominal de un instrumento.

Tasas equivalentes. Se dice de dos o más tasas de interés con diferentes períodos de conversión (capitalización o pago) que producen el mismo interés compuesto al final de un año.

Tasa interna de retorno. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de efectivo negativos (egresos) que se esperan con el valor presente de los flujos positivos o ingresos esperados.

V

Valor presente neto. Al igual que el método de la tasa interna de retorno, el método del valor presente neto VPN es un enfoque de flujo de efectivo descontado. Con el método del valor presente neto todos los flujos de efectivo se descuentan usando la tasa de rendimiento requerida.

BIBLIOGRAFIA

1. **Apuntes de Impacto Ambiental.** Bobadilla Hernández, Víctor. E.N.E.P. Aragón, U.N.A.M. México, 1995 pag. 130.
2. **Atlas General del Estado de México. Vol. II. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Finanzas y Planeación. Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral. Coordinador general: Jorge Enrique Vázquez Martínez. Toluca, 1993.**
3. **Cálculo de Ingresos Pluviales y Sanitarios a las Redes de Alcantarillado AL/100-85. Criterios y Recomendaciones para Proyecto de Aprovechamiento de Agua y Alcantarillado. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.) Secretaría General de Obras. D.D.F. México, 1985. 28 p.**
4. **Climatología de México.** Vivó A., Jorge/Gómez C., José. Publicación No. 19. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México D.F., 1946.
5. **Curso Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales, Municipales, Industriales y Reuso, XXV. División de Educación Continua, U.N.A.M. Fecha: del 25 al 30 de abril. Lugar: Palacio de Minería.**
6. **Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes.** Technomic Publishing A. G. Pennsylvania, U.S.A., 1992.
7. **Diario Oficial de la Federación. "Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección al Ambiente" 18 de octubre de 1993.**

8. **Diplomado en el Ciclo de Vida de los Proyectos de Inversión.** Dirección de Desarrollo Empresarial, Subgerencia de Formación Profesional. Nacional Financiera, 1º de México, 1992. 240 p.
9. **Especificaciones para la Elaboración de Proyectos Ejecutivos de la Subdirección de Ingeniería Hidráulica.** DENM Consultores, S.A. de C.V., D.G.C.O.H., D.D.F. México, 1989.
10. **Estudio Geotécnico en la E.N.E.P. Aragón.** Rosendo Matías, Santiago. E.N.E.P. Aragón, U.N.A.M. México, 1989. 95 p.
11. **Estudio y Propuestas sobre la Participación Privada en el Servicio de Tratamiento de Aguas Residuales.** Aguilar Delfin, Carlos Ignacio. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. México, 1994.
12. **"Ex-lagos de Xochimilco y Chalco".** Nader D., Fidel/Morales, M. Simposio de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos: "El Sub suelo en la Ingeniería de Cimentaciones en el Area Urbana del Valle de México". México, marzo de 1978. pag. 89.
13. **Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitation Strategies in Developing Countries.** Alaerts G. J./Veenstra S./Bentvelsen W.L.A. van Duijl. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering-Delft (IHEE/Delft). The Netherlands, 1990.
14. **Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales.** Fair, Gordon Maskew/Geyer, John Charles/Okun, Daniel Alexander. Ed. Limusa, 6ª reimpresión. México, 1989.
15. **Ingeniería, Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales.** Metcalf, Leonard/Eddy, Harrison P. Ed. Labor, 4ª ed. España, 1993.
16. **Manual de Hidráulica.** King, Horace Williams. Ed. U.T.E.H.A., 1ª ed. México, 1981. 536 p.
17. **Manual de Técnicas Analíticas para Aguas Residuales.** Dirección de Area de Normas y Vigilancia. Subdirección de Laboratorios. S.E.D.U.E. México, octubre de 1985. 302 p.
18. **Memorias de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. (SMISAAC).** Querétaro, México, 1988.
19. **Plan Maestro de la Dirección General de Obras y Servicios Generales.** E.N.E.P. Aragón-U.N.A.M. Septiembre 1994 - Febrero 1995.

20. **Proyecto Geotécnico para la Construcción de la Planta Piloto de Tratamiento Terciario.** Murillo Fernández, Rodrigo. Comisión del Lago de Texcoco, S.A.R.H. México, 1987.
21. **Tratamiento de Aguas Residuales.** Ramalho, R. S., 1ª ed. Ed. Reverté, S.A. España, 1991. 705 p.
22. **Tratamiento de Aguas Residuales Municipales para cumplir con la NOM-007-ECOL/1984, Ciclo de Conferencias.** Fecha: del 10 al 14 de julio de 1985. Lugar: SMISAAC.
23. **Tratamiento de Desagües Domésticos en Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente en Manto de Lodos.** Mansur Aisse, Miguel. CEPIS/SENPA/ININTEC/SEDAPAL. Programa de Protección Ambiental y Ecología Urbana. Programa de Salud Ambiental. Organización Panamericana. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, octubre de 1985.
24. **UNAM. Hoy.** Año 1, N° 3. Abril-Junio. México, 1992. págs. 29-34.