



# Universidad Autónoma de Chiapas

Campus I

Facultad de Ingeniería



---

---

---

Maestría en ingeniería

Terminación en Calidad del Agua

**“Evaluación y diagnóstico de alternativas de tratamiento de aguas residuales usando sistemas convencionales y sus impactos ambientales: Caso de estudio Tenango, Ocosingo, Chiapas”.**

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería presenta:

**Ing. Jorge Luis Pérez Rodríguez**

Director de Tesis:

**Dr. Hugo Alejandro Guillén Trujillo**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Octubre de 2015.



## Universidad Autónoma de Chiapas

Facultad de Ingeniería C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,  
Octubre 02 de 2015.  
OFICIO. F.I. 01.01530/2015.

### ING. JORGE LUIS PÉREZ RODRÍGUEZ.

Alumno de la Maestría en Ingeniería  
con Terminal en Calidad del Agua.  
P r e s e n t e.

Por este medio comunico a Usted, que se le autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: **“Evaluación y Diagnóstico de Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales usando Sistemas Convencionales y sus Impactos Ambientales: Caso de Estudio Tenango Ocosingo, Chiapas”**, para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería con Terminal en Calidad del Agua.

Sin otro particular por el momento, aprovecho el medio para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

  
**DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA**  
**DIRECTOR**



C. c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinador de Investigación y Posgrado de la Facultad  
C. c.p. Archivo/minutario  
FAAF/masn\*



Boulevard Belisario Domínguez, Km 1081, Sin Número, Terán, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.  
México, C.P. 29050, Tels., (961) 61 7-80-00 ext. 1560, [www.unach.mx](http://www.unach.mx) [www.ingenieria.unach.mx](http://www.ingenieria.unach.mx)



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 11 de septiembre de 2015.


**DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA.**  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
P R E S E N T E

En nuestra calidad de sinodales del examen de grado para obtener el Grado de Maestría en Ingeniería terminal en Calidad del Agua del alumno **ING. JORGE LUIS PÉREZ RODRÍGUEZ**, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo de tesis titulado: **"EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO SISTEMAS CONVENCIONALES Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES: CASO DE ESTUDIO TENANGO, OCOSINGO, CHIAPAS"**.

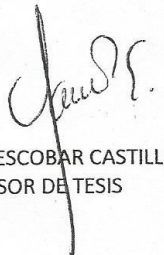
Quedamos enterados de que formaremos parte del jurado del examen de grado, en la fecha y hora que se nos comunique.

ATENTAMENTE

"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"



**DR. HUGO ALEJANDRO GUILLEN TRUJILLO**  
DIRECTOR DE TESIS



**DRA. DAISY ESCOBAR CASTILLEJOS**  
ASESOR DE TESIS



**DR. JANIO ALEJANDRO RUIZ SIBAJA**  
ASESOR DE TESIS

C.c.p. Archivo.



## **AGRADECIMIENTOS.**

### ***A Dios.***

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

### ***A mi madre Martha Patricia.***

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### ***A mi padre José Sarain.***

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

### ***A mis familiares.***

A mi hermano Williams por ser el ejemplo de un hermano mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; a mi hermana Paola y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

### ***A mi director de tesis.***

Dr. Hugo Alejandro Guillén Trujillo por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios y para la elaboración de esta tesis.

### ***A mis amigos.***

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Priscila, Tatiana y Fernando por haberme ayudado a realizar este trabajo.

Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino en la universidad, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

**¡Gracias a ustedes!**

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.....	15
General:.....	15
Específicos:.....	15
1.3. ANTECEDENTES.....	16
1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	16
1.3.1.1. Delimitación del área de estudio.....	16
1.3.1.2. Marco Físico.....	16
1.3.1.3. Rasgos Bióticos.....	24
1.3.1.4. Descargas de Aguas Residuales Municipales e Industriales.....	26
1.3.1.5. Gasto y Calidad de las Aguas Residuales.....	26
1.3.1.6. Estimación de la generación de aguas residuales.....	27
1.3.1.7. Identificación de las aguas residuales.....	29
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	31
2.1. DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS.....	31
2.1.1. Tratamiento preliminar.....	31
2.1.2. Tratamiento primario.....	33
2.1.2.1. Tanque imhoff.....	33
2.1.2.2. Sedimentador primario.....	34
2.1.2.3. Sedimentador de tres cámaras.....	36
2.1.3. Tratamiento secundario.....	38
2.1.3.1. Filtro percolador.....	38
2.1.3.2. Lodos activados.....	45
2.1.3.3. Humedales.....	49
2.1.4. Tratamiento terciario.....	55
2.1.4.1. Tanque de contacto de cloro.....	55
2.1.5. Tratamiento de lodos.....	56
2.1.5.1. Lecho de secado.....	57

2.2.	ECUACIONES DE DISEÑO.....	58
2.2.1.	Pretratamiento y canal de llegada.....	58
2.2.2.	Sedimentador de tres cámaras.....	67
2.2.3.	Sedimentador primario circular.....	70
2.2.4.	Tanque imhoff.....	73
2.2.5.	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).....	76
2.2.6.	Filtro percolador.....	78
2.2.7.	Lodos activados.....	81
2.2.8.	Humedal artificial.....	84
2.2.9.	Tanque de contacto de cloro.....	86
2.3.	NORMATIVIDAD.....	87
3.	METODOLOGÍA.....	93
3.1.	CÁLCULO DE LA POBLACIÓN ACTUAL Y FUTURA.....	93
3.2.	GASTOS DE DISEÑO.....	94
3.3.	PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	95
3.4.	RESUMEN DE LOS DATOS BÁSICOS DE DISEÑO.....	96
4.	MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	99
4.1.	ALTERNATIVA UNO. TANQUE IMHOFF – FILTRO PERCOLADOR.....	100
4.1.1.	Descripción.....	100
4.1.2.	Dimensionamientos.....	101
4.1.3.	Calidad del efluente.....	102
4.2.	ALTERNATIVA DOS. SEDIMENTADOR DE 3 CAMARÁS – FILTRO PERCOLADOR.....	102
4.2.1.	Descripción.....	102
4.2.2.	Dimensionamiento.....	103
4.2.2.1.	Sedimentador de tres cámaras.....	103
4.2.3.	Calidad del efluente.....	104
4.3.	ALTERNATIVA TRES. SEDIMENTADOR PRIMARIO – LODOS ACTIVADOS.....	105
4.3.1.	Descripción.....	105
4.3.2.	Dimensionamiento.....	105
4.3.3.	Calidad del efluente.....	107



4.4.	ALTERNATIVA CUATRO. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE – HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL.....	107
4.4.1.	Descripción.....	107
4.4.2.	Dimensionamiento.....	108
4.4.3	Calidad del efluente.....	109
5.	MATRIZ ATRIBUTOS PARA LAS CUATRO ALTERNATIVAS.....	111
5.1.	MÚLTIPLE SATRIBUTOS, MÚLTIPLES ALTERNATIVAS.....	111
5.2.	PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO SELCCIONADO.....	114
6.	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	121
6.1.	INDICADORES DE IMPACTO.....	121
6.2.	CRITERIO Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN.....	123
6.2.1.	Criterio.....	123
6.2.2.	Metodología de la evaluación y justificación de la metodología seleccionada.....	124
6.2.3.	Identificación de impactos.....	125
6.3.	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES. IDENTIFICADOS.....	129
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	139
9.	ANEXOS.....	143
9.1.	Memoria de cálculo Excel.....	143
9.1.1.	Datos generales.....	143
9.1.2.	Dotación y aportación.....	144
9.1.3.	Calculo de gastos.....	146
9.1.4.	Canal de llegada.....	146
9.1.5.	Parámetros de diseño.....	147
9.1.6.	Diseño de rejillas.....	148
9.1.7.	Diseño del desarenador.....	151
9.1.8.	Diseño del canal Parshall.....	153
9.1.9.	Diseño del sedimentador circular primario.....	155
9.1.10.	Diseño del reactor anaerobio del flujo ascendente.....	157
9.1.11.	Diseño de tanque sedimentador de tres cámaras.....	160

9.1.12.	Diseño del tanque Imhoff. ....	161
9.1.13.	Diseño del filtro percolador circular. ....	164
9.1.14.	Diseño de los lodos activados y sedimentador secundario. ....	167
9.1.15.	Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial. ....	173
9.1.16.	Diseño del tanque de contacto de cloro. ....	175
9.2.	Matrices de importancia. ....	177
9.2.1.	Matriz de importancia de los impactos ambientales de la alternativa uno. ....	177
9.2.2.	Matriz de importancia de los impactos ambientales de la alternativa dos. ....	178
9.2.3.	Matriz de importancia de los impactos ambientales de la alternativa tres. ....	179



LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Localidad Tenango, Ocosingo, Chiapas. ....	16
Figura 2. Ubicación del proyecto, Tenango municipio de Ocosingo, Chiapas. ....	17
Figura 3. Cuerpos de agua en la localidad de Tenango. ....	17
Figura 4. Mapa de climas del municipio de Ocosingo, Chiapas. ....	18
Figura 5. Mapa hidrográfico de la región XII Selva Lacandona.....	20
Figura 6. Mapa geológico del municipio de Ocosingo.....	21
Figura 7. Mapa de suelos dominantes del municipio de Ocosingo. ....	23
Figura 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del municipio de Ocosingo.....	23
Figura 9. Tipos de sedimentadores circulares. ....	35
Figura 10. Diagrama del uso de la fosa séptica en una casa habitación. ....	36
Figura 11. Sección transversal de fosa séptica de dos cámaras. ....	37
Figura 12. Sección transversal de fosa séptica de tres cámaras. ....	37
Figura 13. Esquema filtro percolador. ....	41
Figura 14. Corte y detalles de un filtro percolador típico. ....	42
Figura 15. Esquema básico de la biomasa fija.....	44
Figura 16. Proceso básico de lodos activados.....	46
Figura 17. Curva de crecimiento ideal para una unidad de lodos activados. ....	48
Figura 18. Tipos de humedales artificiales.....	50
Figura 19. Componentes de un humedal artificial de flujo subsuperficial. ....	51
Figura 20. Lecho de secado de lodos. ....	57
Figura 21. Factor de forma de barras para rejas ( $\beta$ ). ....	60
Figura 22. Esquema del diseño de rejillas. ....	61
Figura 23. Diseño de las longitudes en las rejillas. ....	62
Figura 24. Diseño del desarenador horizontal. ....	65
Figura 25. Diseño para canal Parshall. Planta y corte. ....	67
Figura 26. Diagrama de flujo de balance de líquidos y balance de sólidos del sedimentador circular. ....	72
Figura 27. Tanque imhoff típico de forma rectangular. ....	73
Figura 28. Diseño de la cámara de sedimentación del tanque imhoff.....	74
Figura 29. Esquema del sedimentador del tanque imhoff.....	76
Figura 30. Tren de tratamiento de alternativa uno. ....	100
Figura 31. Tren de tratamiento de alternativa dos. ....	103
Figura 32. Tren de tratamiento de alternativa tres. ....	105
Figura 33. Tren de tratamiento de alternativa cuatro. ....	108
Figura 34. Diseño de canal de llegada para el agua residual. ....	115
Figura 35. Diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente. Planta.....	115
Figura 36. Diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial. Planta. ....	116
Figura 37. Diseño del humedal artificial. ....	116
Figura 38. Diseño del tanque de contacto de cloro. Planta.....	117
Figura 39. Diseño de los edificios auxiliares. ....	118

Figura 40. Plano de conjunto de la alternativa cuatro. .... 119

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Árboles característicos de la selva alta mediana perennifolia del estado de Chiapas. ....	25
Tabla 2. Consumos domésticos peer cápita. ....	27
Tabla 3. Generación de aguas residuales por año. ....	27
Tabla 4. Composición típica de las aguas crudas de origen doméstica. ....	29
Tabla 5. Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria, Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. ....	32
Tabla 6. Características típicas de filtros percoladores. ....	39
Tabla 7. Técnicas de control de la concentración de oxígeno con aireadores mecánicos. ....	49
Tabla 8. Procesos naturales en un humedal artificial. ....	52
Tabla 9. Remoción de contaminantes. ....	54
Tabla 10. Características del influente de los humedales. ....	54
Tabla 11. Funcionamiento típico de un humedal artificial. ....	55
Tabla 12. Dosis típicas para la desinfección. ....	56
Tabla 13. Coliformes remanentes después del contacto con cloro. ....	56
Tabla 14. Información de diseño de rejillas manual y mecánica. ....	60
Tabla 15. Datos típicos de diseño para desarenadores de flujo horizontal. ....	63
Tabla 16. Valores de K en desarenadores de acuerdo al diámetro de partícula. ....	63
Tabla 17. Gastos mínimos y máximos recomendados para canales Parshall. ....	66
Tabla 18. Dimensiones de canales Parshall. ....	67
Tabla 19. SS separados, en % en función del tiempo de retención o residencia. ....	70
Tabla 20. Tiempo para la digestión de lodos. ....	75
Tabla 21. Coeficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento. ....	79
Tabla 22. Características de filtros biológicos. ....	79
Tabla 23. Características de los diferentes medios de empaque para filtros percoladores. ....	79
Tabla 24. Parámetros de diseño para los procesos de lodos activados. ....	82
Tabla 25. Parámetros de diseño. ....	85
Tabla 26. Normas técnicas para el análisis de parámetros. ....	88
Tabla 27. NOM-001-SEMARNAT-1996 (Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales). ....	88
Tabla 28. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros. ....	89
Tabla 29. . Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos. ....	90
Tabla 30. . Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos. ....	90
Tabla 31. Aprovechamiento de biosólidos. ....	90
Tabla 32. Proyección de poblaciones. ....	93
Tabla 33. Proyecciones de población futura (método interés compuesto). ....	93
Tabla 34. Composición típica de las aguas crudas de origen doméstica. ....	96
Tabla 35. resumen de los datos básicos de diseño. ....	96
Tabla 36. Dimensionamiento del tanque imhoff. ....	101
Tabla 37. Dimensionamiento del filtro percolador. ....	101

Tabla 38. Dimensionamiento del sedimentador de tres cámaras. ....	103
Tabla 39. Dimensionamiento del filtro percolador y sedimentador secundario. ....	103
Tabla 40. Dimensionamiento del sedimentador circular primario. ....	105
Tabla 41. Dimensionamiento de lodos activados y sedimentador secundario. ....	106
Tabla 42. Dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente. ....	108
Tabla 43. Dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial. ....	109
Tabla 44. Calidad del efluente de la alternativa seleccionada. ....	118

# CAPÍTULO I

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. JUSTIFICACIÓN.**

Uno de los factores principales de crisis de nuestros días tiene que ver con la disposición de agua para la vida diaria en las viviendas, comercios, servicios e industrias. Obtener nuevas fuentes de agua se va haciendo cada día más difícil, dado que la población crece y demanda este recurso en las ciudades y en el campo.

Es por eso que una alternativa para el tratamiento de aguas residuales son las plantas de tratamiento, ya sea para fines de cumplimiento de normas, cuidado del medio ambiente o reúso, estas en la actualidad han sido la mejor opción para la disposición de las aguas residuales, ya sea en zonas urbanas o rurales.

Debido a esto es que la toma de decisión que se realizan para la construcción de un proyecto para el tratamiento de aguas residuales es de suma importancia ya que de esto depende de que una planta de tratamiento de aguas residuales municipales se construya y opere correctamente.

Los protagonistas en estos tipos de proyectos son presidentes municipales y gobernantes de una entidad, y es que a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Gobierno de México, elaboró el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007-2012, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en el que se establecieron ocho objetivos principales, con sus respectivas metas e indicadores.

Dentro de los objetivos de este programa se busca incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento y establece como una de sus metas en materia de saneamiento, que el 60% de las aguas residuales que se generen y colectan a nivel nacional sean tratadas para recuperar la calidad de ríos, lagos y lagunas, fomentar el reúso e intercambio de las aguas residuales y promover la recarga de los acuíferos (PNH 2012).

Sin embargo, esta meta representa un gran reto por la gran inversión requerida y por los costos operativos implicados. De hecho, un gran número de PTARS instaladas en México y basadas en sistemas aerobios de lodos activados han dejado de ser utilizadas por los altos costos que implica la operación de estos sistemas. En ese contexto, los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales han jugado un papel muy importante en México, no sólo por contribuir significativamente a incrementar el volumen total tratado; sino también, a disminuir los costos operativos de las PTAR instaladas en México (Cervantes Francisco, 2010).

Por tal motivo, en la toma de decisiones para proyectos de esta importancia se deben de tener diversas opciones para el análisis de cada uno de ellos dependiendo de las circunstancias, que vienen siendo desde costos de construcción y operación hasta los impactos ambientales durante cada uno de las etapas.

## 1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

### General:

Diagnosticar y evaluar alternativas de tratamiento de aguas residual para la toma de decisiones usando sistemas convencionales, así como también identificar sus impactos ambientales.

### Específicos:

- ⊕ Proponer presupuestos para la implementación de las alternativas de solución.
- ⊕ Elaborar el cálculo de la población actual y futura.
- ⊕ Proponer alternativas de trenes de tratamiento de aguas residuales.
- ⊕ Valorar las alternativas de tratamiento en términos de costos de inversión, operación y mantenimiento y área requerida.
- ⊕ Generar planos de conjunto, estructurales, hidráulicos e isométricos.
- ⊕ Proponer presupuestos para la implementación de trenes de tratamiento.
- ⊕ Elaborar una matriz “múltiples alternativas/múltiples atributos” (MAMA).



### 1.3. ANTECEDENTES.

#### 1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

##### 1.3.1.1. Delimitación del área de estudio.

El proyecto se ubica en la localidad de Tenango, municipio de Ocosingo, Chiapas, por lo que se localiza en la región socioeconómica “XII Selva Lacandona”.

La región socioeconómica XII Selva Lacandona, según el Marco Geoestadístico 2010 que publica el INEGI, tiene una superficie de 10,535.02 km<sup>2</sup> y se integra por 2 municipios localizados en la parte este del estado. Colinda al norte con las Regiones XIII Maya y XIV Tulijá Tzeltal Chol, al este y sur con la República de Guatemala y al oeste con las Regiones V Altos Tsotsil Tseltal y XV Meseta Comiteca Tojolabal. La cabecera regional es la ciudad de Ocosingo



Figura 1. Localidad Tenango, Ocosingo, Chiapas.

Fuente: Google Earth.

##### 1.3.1.2. Marco Físico

###### Localización Geográfica.

La localidad de Tenango se encuentra en el municipio de Ocosingo que limita al norte con los municipios de Chilón, Palenque y La República de Guatemala; al este con La República de Guatemala y los municipios de Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas; al sur con los municipios de Marqués de Comillas, Maravilla Tenejapa, Las Margaritas y Altamirano; al oeste con los municipios de Altamirano, Oxchuc, San Juan Cancuc y Chilón.

Las coordenadas de la cabecera municipal son: 17° 17' 00" de latitud norte y 92° 33' 03" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 270 metros sobre el nivel del mar. Entre los paralelos 16°05' y 17°15' de latitud norte; los meridianos 90°39' y 92°22' de longitud oeste; altitud entre 0 y 2 000 m.

Las coordenadas de la localidad de Tenango es 16° 54' 10.13" norte y 92° 15' 45.21" oeste y se encuentra a una altitud de 1284 m sobre el nivel del mar.

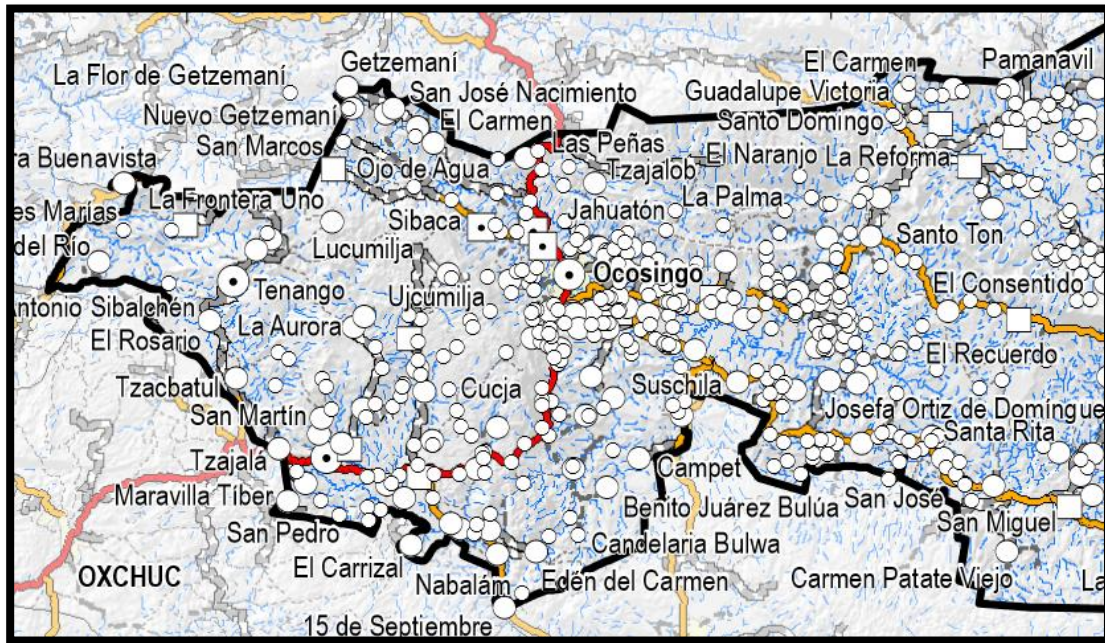


Figura 2. Ubicación del proyecto, Tenango municipio de Ocosingo, Chiapas.



Figura 3. Cuerpos de agua en la localidad de Tenango.

## Clima.

### a) Tipo de Clima:

Los climas existentes en el municipio de acuerdo a la clasificación de climas de Enriqueta García son los siguientes:

Am(f) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, que abarca el 61.11%; Aw0(w) cálido subhúmedo con lluvias en verano, el 12.71%; Af(m) cálido húmedo con lluvias todo el año, el 12.16%; (A)C(m)(w) semicálido húmedo con lluvias abundantes en verano, el 11.88% y (A)C(w1)(w) semicálido subhúmedo con lluvias en verano, que ocupa el 1.88% de la superficie municipal.

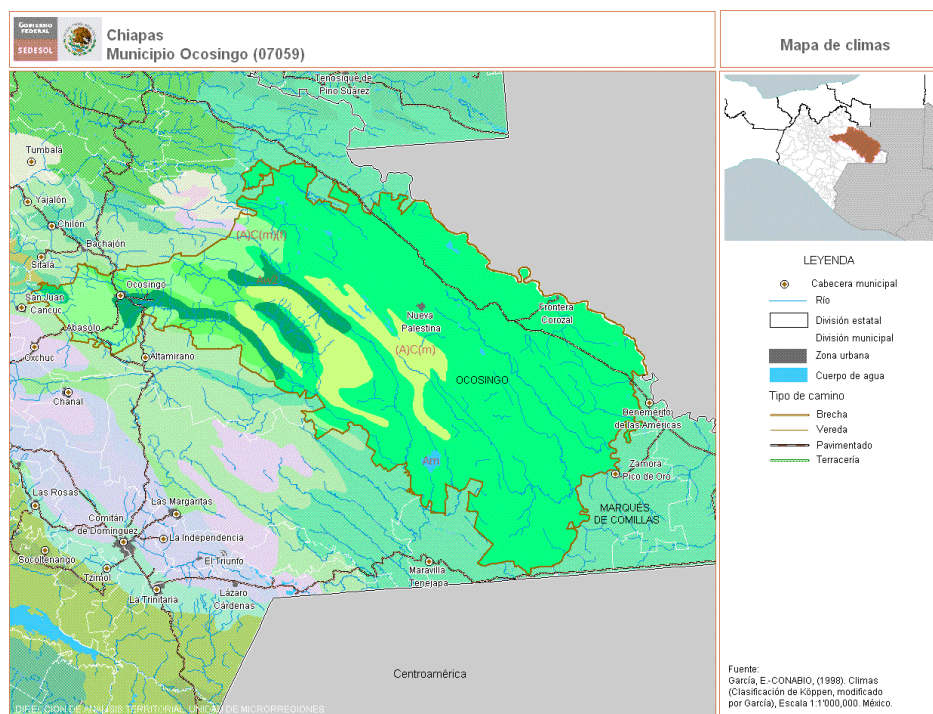


Figura 4. Mapa de climas del municipio de Ocosingo, Chiapas.

### b) Temperatura promedio.

En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 12°C a los 22.5°C, mientras que la máxima promedio oscila entre 21°C y 34.5°C.

En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 9°C a 19.5°C, y la máxima promedio fluctúa entre 18°C y 30°C.

### c) Precipitación promedio anual (mm).

En los meses de mayo a octubre, la precipitación media fluctúa entre los 1200 mm y los 3000 mm, y en el periodo de noviembre - abril, la precipitación media va de los 350 mm a 800 mm.



El mayor régimen de lluvias ocurre en el periodo de mayo octubre, el promedio de lluvias en este periodo para el municipio de 1700 a 2000 mm.

Para el periodo de Noviembre-Abril, con la entrada de la temporada de secas, la precipitación se reduce hasta en un 50%, no obstante el umbral de humedad relativa para la región de Ocosingo sigue siendo elevada, ello explica que desde el punto de vista agrícola sea posible obtener en el año hasta dos cosechas.

Hidrología.

a) Principales ríos y arroyos cercanos:

Permanentes o intermitentes, estimación del volumen de escorrentía por unidad de tiempo, actividad para la que son aprovechados, indicar si recibe algún tipo de residuo, señalar la distancia al predio, etc.

Las principales corrientes del municipio son: los ríos perennes Usumacinta, San Pedro, Perlas, Negro, Lacanjá, y Jataté, entre otros, además de las lagunas perennes Miramar, Suspiro, Ojos Azules, Ocotal y Metzabok. El territorio municipal está integrado por las subcuencas Usumacinta, Lacantún, Chocajah, Lacanjá, San Pedro, Laguna Miramar, Perlas, Jatate, Tzaconeja y Azul (de la cuenca Río Lacantún) y en menor proporción en las subcuencas Chacté y Yashijá (de la cuenca Río Grijalva).

Existen algunos ríos muy importantes que conforman la hidrografía de este lugar como lo es, la principal corriente de agua que es el río Usumacinta, que sirve de límite con Guatemala. Su principal afluente en territorio chiapaneco es el Lacantún, al que fluyen los ríos Jataté, Taniperla, Tzendales, Perlas y Lacanja. Aparte de estos, existe un gran número de ríos, arroyos permanentes e intermitentes; además, este municipio es rico en lagos, destacándose entre ellos El Mirador que es el lago natural más grande del estado y el grupo de Los Ocotales.

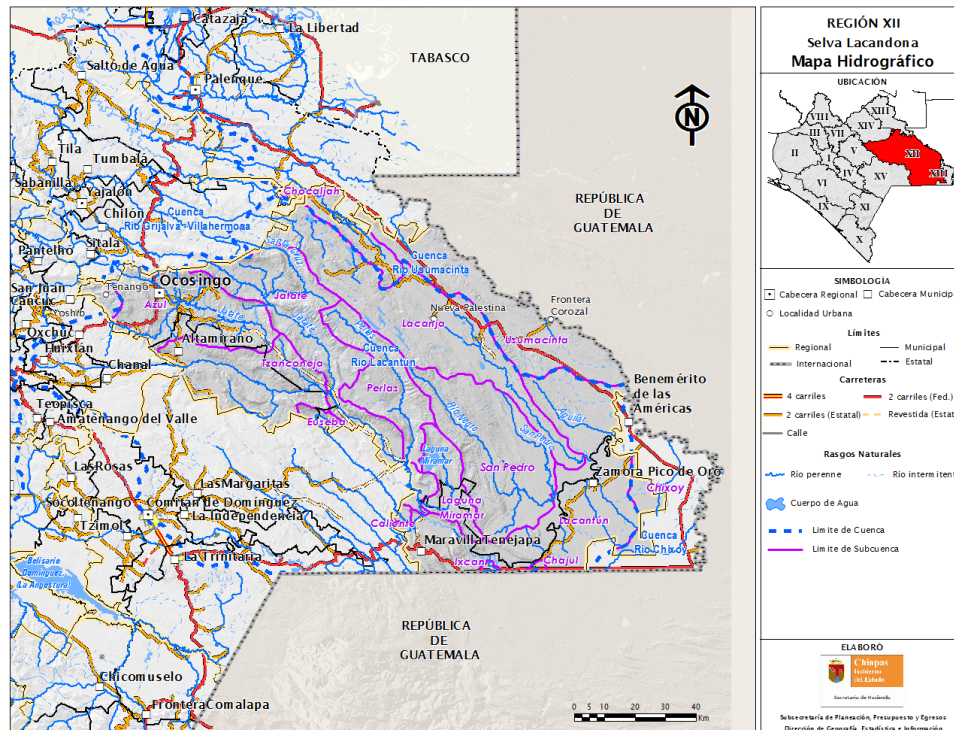


Figura 5. Mapa hidrográfico de la región XII Selva Lacandona.

## Geología y Edafología.

### a) Geomorfología General:

Geológicamente el Municipio de Ocosingo, está constituido por terrenos de la Era Mesozoica del periodo cretácico superior e inferior (con rocas sedimentario caliza), cuaternario, (con roca sedimentaria) y terciario oceno (con roca sedimentaria limitada y areniza).

Los tipos de suelos presentes en el municipio son: rendzina con el 43.23%; litosol con el 16.35%; acrisol con el 14.42%; gleysol con el 7.01%; luvisol con el 6.70%; feozem con el 5.33%; vertisol con el 2.63%; regosol con el 1.76%; cambisol con el 1.70% y cuerpos de agua que ocupan el 0.75% de la superficie municipal.

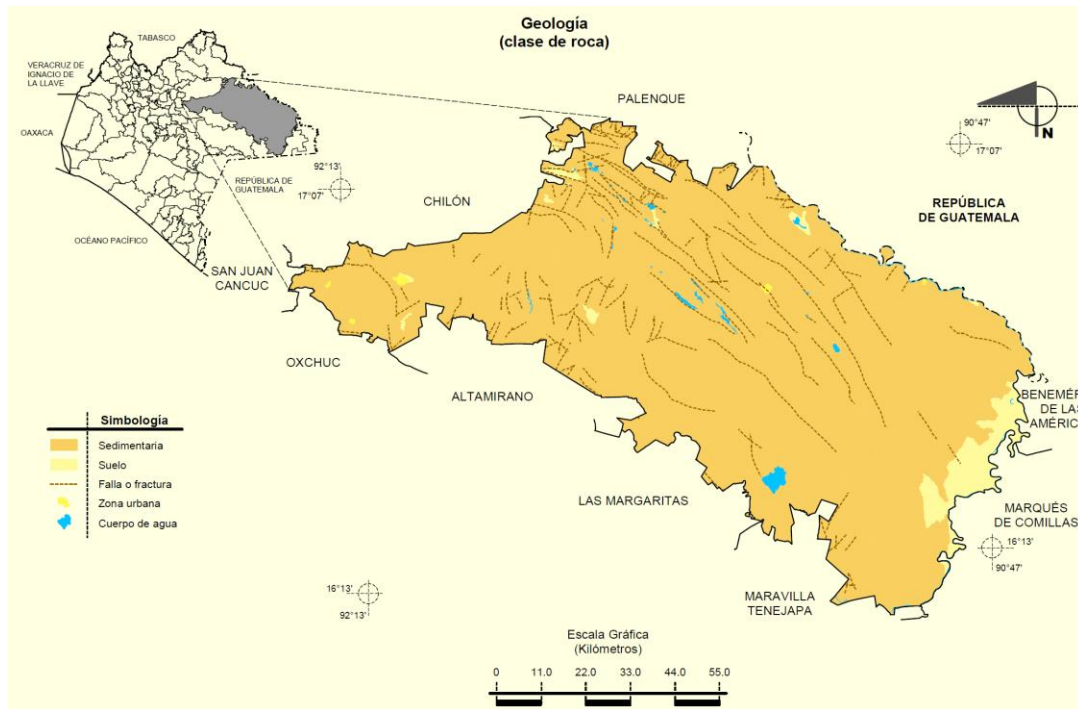


Figura 6. Mapa geológico del municipio de Ocosingo.

Suelos:

a) Tipos de suelos presentes en el área.

**Luvisol:** son suelos propios de climas húmedos pero que presentan una estación de secas. Bajo climas tropicales se forman en materiales de reciente depositación. El suelo está dotado de un exceso de agua que fluye a través del mismo en forma de drenaje. Esta agua de drenaje arrastra minerales arcillosos y complejos órgano-minerales que paulatinamente se van acumulando a cierta profundidad del suelo. A pesar del exceso de drenaje poseen una reserva de nutrimentos relativamente alta. Naturalmente presentan vegetación de bosque o de selva y son altamente susceptibles a la erosión. Pueden ser usados para la producción agrícola adoptando técnicas que minimicen los riesgos de erosión.

**Litosol:** Son los suelos más abundantes del país, se encuentran en todos los tipos de climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su uso es forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y en algunos

casos se destinan a la agricultura, en especial el cultivo del maíz o del nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua.

**Regosol, del griego reghos:** manto, cobija o capa de material suelto que cubre la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que le da origen. Muchas veces están asociados con litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad o pedregosidad.

**Acrisol:** Deriva del vocablo latino "acris" que significa muy ácido, haciendo alusión a su carácter ácido y su baja saturación en bases. Se desarrollan principalmente sobre productos de alteración de rocas ácidas, con elevados niveles de arcillas muy alteradas, las cuales pueden sufrir posteriores degradaciones. Predominan en viejas superficies con una topografía ondulada o colinada, con un clima tropical húmedo, monzónico, subtropical o muy cálido. Los bosques claros son su principal forma de vegetación natural.

**Fluvisol:** Del latín fluvius: río, literalmente significa suelo de río. Se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua. Son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Se encuentran en todos los climas y regiones de México, cercanos siempre a los lechos de ríos. Los ahuehetes, ceibas y sauces son especies típicas que se desarrollan sobre estos suelos. Presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos. Los más apreciados en la agricultura son los fluvisoles mólicos y cálcricos por tener mayor disponibilidad de nutrientes a las plantas.



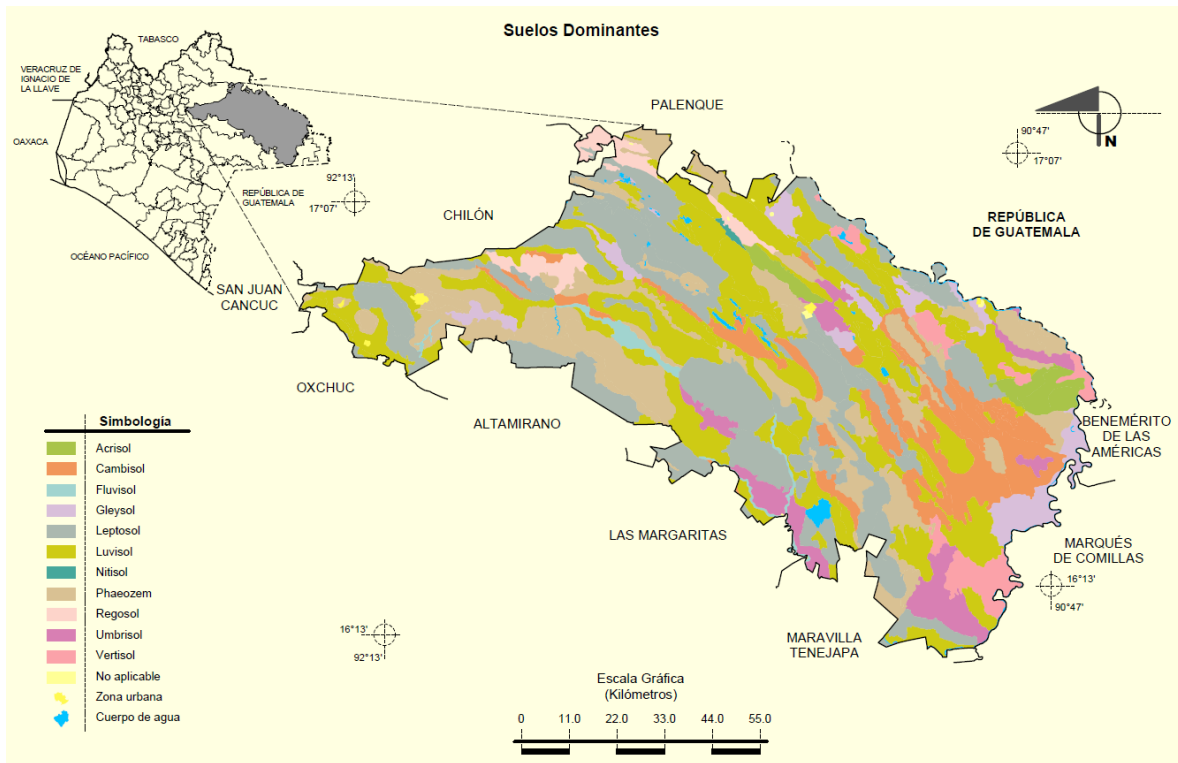


Figura 7. Mapa de suelos dominantes del municipio de Ocosingo.

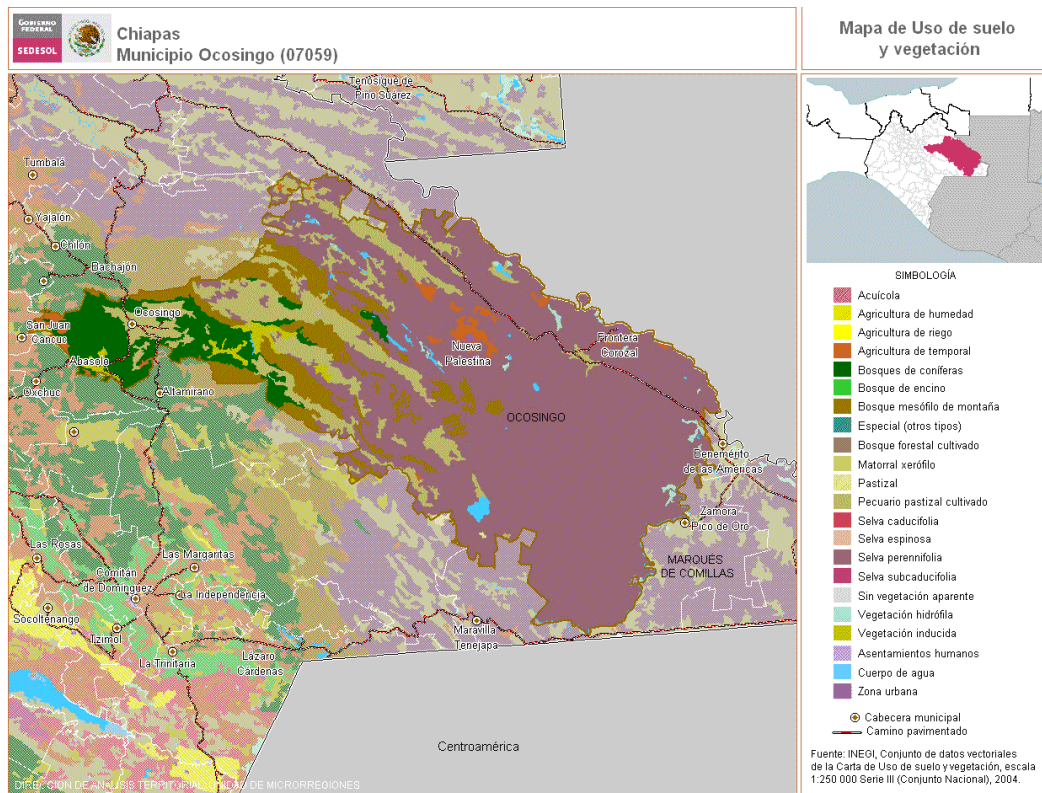


Figura 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del municipio de Ocosingo.

### 1.3.1.3. Rasgos Bióticos.

#### Vegetación:

- a) Tipo de vegetación en el predio y en la zona circundante.

En este extenso territorio regional se identifica la existencia de bosque mesófilo de montaña en una extensión de 365.23 Km<sup>2</sup> y 196.10 Km<sup>2</sup> de bosque de coníferas, en este último ecosistema predomina el ocote o pino, la asociación debería ser pino-encino, pero el encino al tener una fuerte demanda para combustible, ya sea para el uso de leña o elaboración de carbón, se encuentra en proceso la pérdida de esta asociación considerada como natural en este tipo de bosque. De selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, se estima en la región una superficie de 6,104.25 Km<sup>2</sup> y en materia agrícola la extensión territorial es de 713.30 Km<sup>2</sup>.

Por otro lado, en la Región se identifica una superficie de 168.08 Km<sup>2</sup> de pastizales, misma que corresponden al Municipio de Altamirano. A pesar a que la Región ha sido muy estudiada, desafortunadamente ninguna investigación arroja información sobre la superficie existente de matorrales.

La vegetación natural en la Región Selva Lacandona corresponde a diversos tipos de asociaciones tropicales: selva alta perennifolia, selva alta-mediana subperennifolia, sabana, encinar tropical, pinar tropical, bosque mesófilo, selva mediana o baja perennifolia, palmar, canacoital, popal, tular y jimbal.

- b) Principales asociaciones de vegetación y distribución.

En el municipio la vegetación es de selva alta, la flora del municipio está integrada por una gran variedad de especies de las cuales predominan las siguientes: paloma, coroso, roble, cedro, caoba, hormiguillo, chicozapote, hule, pino, ciprés, romerillo, sabino, manzanilla, amate, ceiba, guarumbo y jimba.

En la selva alta siempre verde muchos de sus componentes arbóreos pierden las hojas durante un periodo de tiempo muy corto, generalmente por el tiempo de la floración, en la época más seca del año que comprende de Marzo a Mayo. Sin embargo, como este periodo es muy corto y no es el mismo para todos los árboles, la selva como un todo se ve verde durante todo el año, aunque la densidad del verde disminuye en los meses anteriormente mencionados. Además, algunos de los árboles altos y casi todos los bajos son de follaje persistente, pues sus hojas se renuevan antes de que caigan las viejas. Se considera que la selva alta siempre verde es la que posee una mayor vegetación, por su densidad y altura que puede existir en la tierra.

Enseguida se describe algunos de los árboles característicos que con mayor frecuencia forman parte de la selva alta y mediana perennifolia que se encuentran en la región “XII Selva Lacandona” del Estado de Chiapas.

Tabla 1. Árboles característicos de la selva alta mediana perennifolia del estado de Chiapas.

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
<b>Canshán o cortés amarillo</b>	<i>Terminalia obovata</i>
<b>Palo de chombo</b>	<i>Guatteria anómala</i>
<b>Caoba</b>	<i>Swietenia macrophylla</i>
<b>Bayalté o chichi colorado</b>	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>
<b>Chuchum o baqueta</b>	<i>Chaetoptelea mexicana</i>
<b>Cedro</b>	<i>Cedrela mexicana</i>
<b>Guapaque</b>	<i>Dialium guianense</i>
<b>Jolmashté o flor de corazón</b>	<i>Talauma mexicana</i>
<b>Leche maría</b>	<i>Calophyllum brasiliense</i>
<b>Itzampi o sunzapote</b>	<i>Licania platypus</i>
<b>Tzotzash o manash</b>	<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>
<b>Zapotillo</b>	<i>Sideroxylon sp.</i>
<b>Guaité</b>	<i>Dipholis stevensonii</i>
<b>Ash o mojú</b>	<i>Brosimum alicastrum</i>
<b>Ujtui</b>	<i>Tapirira macrophylla</i>
<b>Cotón de Caribe</b>	<i>Alchornea latifolia</i>
<b>Chijilté o chumi</b>	<i>Chrysophyllum mexicanum</i>
<b>Goté</b>	<i>Salacia belizensis</i>
<b>Maca o palo de brujo</b>	<i>Vochysia hondurensis</i>
<b>Chicozapote</b>	<i>Achras zapota</i>
<b>Marquesote</b>	<i>Bernoullia flammea</i>
<b>Tapón de pumpo</b>	<i>Guettarda combsii</i>
<b>Hoja menuda</b>	<i>Wimmeria bartletti</i>
<b>Mulato</b>	<i>Bursera simaruba</i>
<b>Amates</b>	<i>Ficus sp.</i>
<b>Pimienta</b>	<i>Pimenta dioica</i>
<b>Carnero</b>	<i>Coccoloba cozumelensis</i>

Fauna:

- a) Fauna característica de la zona.

El municipio conforma grandes reservas ecológicas y se compone de una gran variedad de especies de animales, existe fauna terrestre significativa incluyendo el tapir (*Tapirus bairdii*), el Saraguato (*Aloautta pigra*), el Jaguar (Félix onca), y el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletti*), destacan otros y son las siguientes: mono araña, ardilla voladora, jabalí, venado de campo, zorrillo espalda blanca, puma, dragoncito labios rojos, azulejo ocotero, coyote, armadillo, manatí, mapache, mico de noche, nutria, ocelote, puerco espín, tigrillo, venado cabrío.

Las siguientes aves: gavián golondrino, pica madero ocotero, murciélago, águila arpía, guacamayo rojo, ocofaisan, pava, pavo ocelado, tucán cuello amarillo, zopilote rey, paloma, colibrí, loros y cotorras.

Aspectos Socio-económicos.

a) Demografía.

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, se identifican los siguientes resultados:

Una población total regional de 228,742 habitantes, lo que representa el 4.77% de la población estatal; correspondiendo 29,865 habitantes al Municipio de Altamirano y 198,877 habitantes al Municipio de Ocosingo, de esta información se derivan los siguientes datos: Regionalmente se observa un crecimiento poblacional de 1.17%, que equivale a 33,737 habitantes más, con respecto a 2005. En este incremento el Municipio de Altamirano aporta un total de 5,140 habitantes y el Municipio de Ocosingo creció en 28,597 habitantes.

Del total de la población en la Región, 114,132 son hombres, es decir, regionalmente representan el 4.85% del total estatal; y 114,610 son mujeres, mismas que representan el 4.69% del total estatal. Los datos anteriores nos dicen que hay una densidad de población de 26 habitantes por km<sup>2</sup>, mientras que a nivel estatal es de 65 habitantes por km<sup>2</sup> y una tasa de crecimiento anual de 3.75%, en el periodo del 2005 al 2010, en cambio a nivel estatal la tasa de crecimiento anual es de 2.40% en el mismo periodo.

En cuanto a la localidad de Tenango, esta cuenta con 8500 habitantes y tiene una tasa de crecimiento anual de 2.70%.

1.3.1.4. Descargas de Aguas Residuales Municipales e Industriales.

Las aguas residuales que serán tratadas son aguas residuales domésticas provenientes de la localidad de Tenango. Al tratarse de aguas residuales domésticas, el contaminante de mayor concentración es la materia orgánica y los nutrientes. Cuando estos contaminantes están en exceso existen alteraciones en la vida acuática del cuerpo receptor.

El cuerpo receptor, destino de las aguas tratadas, es un arroyo llamado “shambal” localizado cerca del sitio donde se pretende realizar el proyecto, en la localidad de Tenango.

1.3.1.5. Gasto y Calidad de las Aguas Residuales.

La aportación estimada de generación de aguas residuales, es el equivalente al 75% de la dotación de agua potable por habitante por día. De esta manera los datos anteriores sirven para estimar el gasto total de la generación de aguas residuales.

Es comúnmente aceptado que la aportación de aguas residuales representa el 75 % de la dotación de agua, asumiendo que el 25% restante se pierde y nunca llega a la tubería.

Tabla 2. Consumos domésticos peer cápita.

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIECONÓMICA		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
CÁLIDO	400	230	185
SEMICÁLIDO	300	205	130
TEMPLADO	250	195	100

Para los casos de climas semifrío se consideran los mismos valores que para el clima templando

Fuente: CONAGUA

Por lo tanto la localidad de Tenango tendría una dotación de **130 litros/hab/día**, ya que se encuentra en una región donde el clima es semicálido y su clase socioeconómica está dentro de la clase popular.

#### 1.3.1.6. Estimación de la generación de aguas residuales.

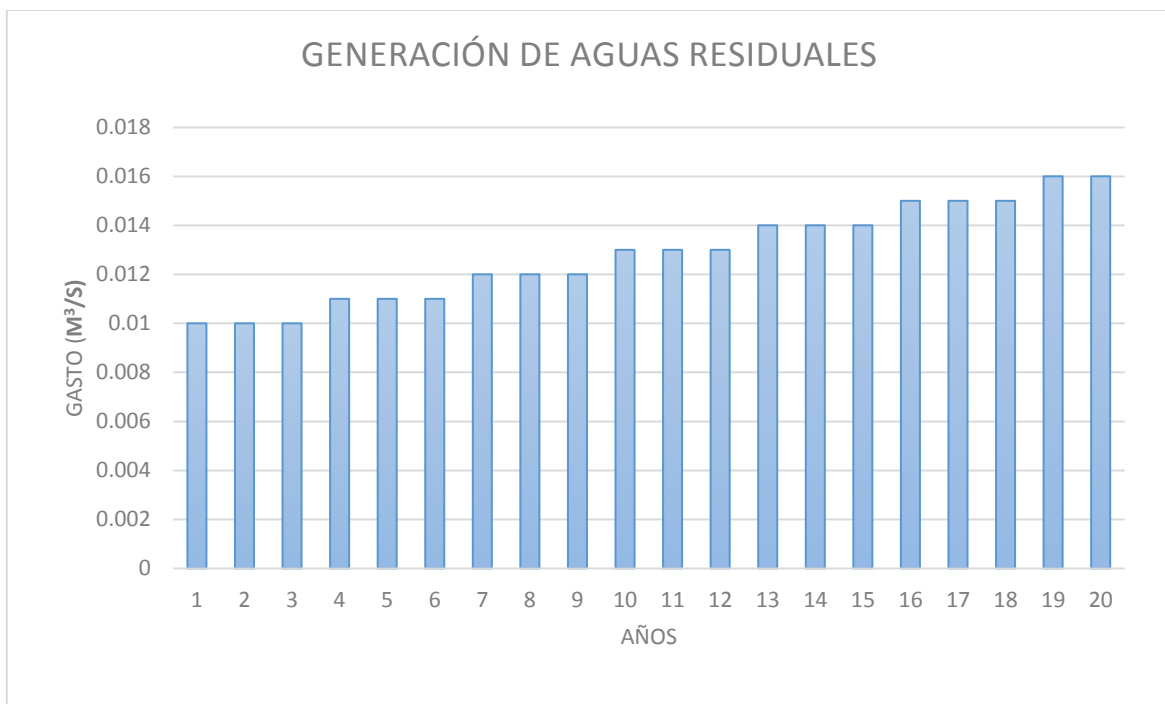
$$\text{GASTO TOTAL} = (\text{POBLACIÓN DEL PROYECTO}) (\text{DOTACIÓN}) (\text{APORTACIÓN})$$

Tabla 3. Generación de aguas residuales por año.

AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN L/ HAB.DÍA	APORTACIÓN %	GENERACIÓN TOTAL (m <sup>3</sup> /s)
1	8730	130	0.75	0.01
2	8966	130	0.75	0.01
3	9208	130	0.75	0.01
4	9457	130	0.75	0.011
5	9712	130	0.75	0.011
6	9974	130	0.75	0.011
7	10243	130	0.75	0.012
8	10520	130	0.75	0.012

AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN L/ HAB.DÍA	APORTACIÓN %	GENERACIÓN TOTAL (m³/s)
9	10804	130	0.75	0.012
10	11096	130	0.75	0.013
11	11396	130	0.75	0.013
12	11704	130	0.75	0.013
13	12020	130	0.75	0.014
14	12345	130	0.75	0.014
15	12678	130	0.75	0.014
16	13020	130	0.75	0.015
17	13372	130	0.75	0.015
18	13733	130	0.75	0.015
19	14104	130	0.75	0.016
20	14485	130	0.75	0.016

Grafico 1: Incremento de la generación de aguas residuales.





Por lo tanto el diseño de la planta de tratamiento de la localidad deberá tener la capacidad para tratar **0.013 m<sup>3</sup>/s**.

#### 1.3.1.7. Identificación de las aguas residuales.

Las aguas residuales serán de origen doméstico, proveniente de las viviendas conectadas al dren público. Debido a que no se tiene la caracterización del agua residual, se tomará de referencias bibliográficas, la composición típica de las aguas crudas de origen doméstico. Para el diseño del tren de tratamiento se escoge el valor de la composición media de los contaminantes.

**Tabla 4. Composición típica de las aguas crudas de origen doméstica.**

Parámetro	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (mL/L)	20	10	5
DBO (a 20°C)	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrogeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosfatos (como P):	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Clorados b	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasas	150	100	50

a Unidades en mg/l, excepto los sólidos sedimentables

b Valor que debe ser incrementado de acuerdo con la cantidad de suministro de agua.

Fuente: Metcalf & Eddy, Inc.

La tabla anterior nos indica que los principales contaminantes en un agua de origen doméstico son la materia orgánica, DBO, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables. En concentraciones más bajas se encuentran los nutrientes pero éstos representan una gran importancia en la contaminación de cuerpos de agua, debido a que son los causantes de eutrofización en las aguas.



# CAPÍTULO II

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

### 2.1. DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS.

#### 2.1.1. Tratamiento preliminar.

Es la primera fase del tratamiento de aguas residuales. Generalmente se trata de operaciones físicas unitarias, donde se utilizan fuerzas físicas para la separación de los contaminantes. Entre estos procesos se mencionan: Sedimentación, flotación, cribado, filtración, igualación de flujo, separadores de gravedad, etc.

##### a) Canal de llegada.

Es la obra civil que va al principio del sistema de tratamiento. Sirve para regular la velocidad de llegada del agua al sistema, tomando el agua residual desde el punto de descarga del sistema de alcantarillado o desde el emisor.

##### b) Rejillas.

El primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual a través de rejillas y tamices. Las rejillas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores, mientras que los tamices se caracterizan por disponer de aberturas libres inferiores a los 15 mm, y se emplean en plantas (tamaños pequeños). Los residuos de tamaño grande con piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, raíces de árboles, plásticos, y trapos. También se puede separar materia orgánica.

Cuando consisten de barras o soleras, se les llama "rejillas", pueden ser mecánicas o manuales y se ubican a la entrada de los procesos de tratamiento para proteger los equipos como bombas, válvulas, tuberías, etc., de los posibles daños u obstrucciones ocasionados por objetos de gran tamaño como palos, trapos, animales muertos, cartones, rocas, ramas, raíces, plásticos, etc.

##### c) Desarenador.

Características de las arenas.

Las arenas consisten en arena, grava, cenizas y otros materiales pesados con pesos específicos o velocidades de sedimentación considerablemente superiores a los de los sólidos orgánicos putrescibles.

Los desarenadores se instalan para: 1) proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste; 2) reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducciones, y 3) reducción de la frecuencia de limpieza de los digestores provocada por la excesiva acumulación de arenas. Los desarenadores suelen colocarse después de las rejillas y antes de los sedimentadores.

Existen tres tipos de desarenadores: de flujo horizontal, de diseño rectangular o cuadrado; aireado, y de vórtice. El primero de ellos, el agua circula a través del elemento en dirección horizontal y la velocidad de circulación se controla por la propia geometría de la unidad, con compuertas de distribución especiales, y mediante la adopción de vertederos de secciones especiales a la salida del canal. El desarenador aireado consiste en un tanque de aireación de flujo helicoidal en el que se induce una velocidad es espiral que se controla por la propia geometría del tanque y por la cantidad de aire suministrada a la unidad, el desarenador de vórtice consiste en un tanque cilíndrico en el que el agua entra siguiendo una dirección de flujo tangencial creando un flujo en vórtice; las fuerzas centrífugas y gravitatorias son las responsables de la separación de las arenas.

El tipo de desarenador más antiguo empleado en el tratamiento de las aguas residuales es el desarenador de flujo horizontal con control de velocidad. Estas unidades se proyectan de modo que se mantenga una velocidad lo más cercada a 0.3 m/s, y que proporcione suficiente tiempo como ara que sedimenten en el fondo del canal las partículas de arena. La velocidad de diseño indicada permite la circulación a través de la unidad de la mayor parte de la materia orgánica y la puesta en suspensión de todas aquellas partículas orgánicas pesadas.

La extracción de las arenas de los desarenadores de flujo horizontal se suele llevar a cabo mediante un mecanismo transportador dotado de rasquetas o cangilones. La elevación de las arenas para su posterior lavado y eliminación se realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones. En plantas pequeñas se realiza manualmente.

Las arenas son sólidos con densidad específica de 2.65. En teoría, estas partículas se sedimentan como piezas individuales sin tener interacción con otras partículas o sólidos vecinos. La función principal es detenerlas antes de que pasen a los equipos de la planta de tratamiento, ya que este tipo de sólidos es abrasivo e igualmente puede dañarlos.

Lo más común es diseñar un canal rectangular, de concreto, de limpieza manual, tipo flujo horizontal, donde prácticamente se le da suficiente tiempo al agua para que las partículas de arena sedimenten en el fondo. La velocidad de diseño debe permitir que la mayoría de materia orgánica se mantenga suspendidas y las partículas más pesadas se sedimenten.

**Tabla 5. Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria, Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales.**

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Tiempo de retención, en h	1.5 – 2.5	2.0
Carga superficial, en m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d		
Gasto medio	32 – 48	
Gasto máximo extraordinario	80 – 120	100
Carga sobre el vertedor m <sup>3</sup> /md	125 – 500	250
Dimensiones, en m		
Rectangular		
Profundidad	3 – 5	3.6

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Longitud	15 – 90	25 – 40
Ancho	3 – 24	6 – 10
Velocidad de la rastra	0.6 – 1.2 m/min	1.0
Circular		
Profundidad	3 – 5	4.5
Diámetro	3.6 – 60	12 – 45
Pendiente del fondo	60 – 160 mm/m	80
Velocidad de la rastra	0.02 – 0.05 rpm	0.03

Fuente: Metcalf & Eddy, Inc

#### a) Medición y control de flujo.

Al final de cada canal de pretratamiento se ubica un dispositivo para la medición del flujo de las aguas residuales que ingresan, el cual consiste en un vertedor rectangular calibrado. Posteriormente el agua residual descarga a una caja cuya función es repartir equitativamente el flujo de agua hacia los módulos de tratamiento siguientes.

#### 2.1.2. Tratamiento primario.

##### 2.1.2.1. Tanque Imhoff.

El tanque Imhoff es un tanque que dispone de doble cámara y es empleado como unidad de tratamiento de las aguas residuales provenientes de zonas residenciales que cuenten con sistema de alcantarillado. Aunque el proceso de tratamiento es similar al tanque de una fosa séptica, se diferencian en que el tanque Imhoff tiene dos pisos; uno, superior, donde se produce la sedimentación; y otro inferior, donde tiene lugar la digestión de los sólidos sedimentados. Este tipo de tratamiento primario de las aguas residuales, de fácil operación, fue muy empleado antes de que la digestión de lodos con calentamiento en tanques separados se hiciese común. Los tanques Imhoff no cuentan con dispositivos para el calentamiento de lodos (Heinke, 1999). Los tanques Imhoff pueden ser rectangulares o circulares, siendo éstos últimos empleados para el tratamiento de aguas residuales de pequeño caudal. Para el tratamiento de las aguas, un tanque Imhoff dispone de un sedimentador y un digestor de lodos. El proceso de tratamiento de las aguas residuales mediante un tanque Imhoff consiste, básicamente, en la remoción constante de las espumas, en la inversión del flujo de entrada para una distribución uniforme de los sólidos sedimentables en los extremos del digestor y en el drenaje periódico de los lodos digeridos.

El sedimentador, ubicado en la parte superior del tanque, tiene como misión la de remover los sólidos sedimentables y flotantes. Por su parte, el digestor ocupa la parte inferior del tanque Imhoff y su función es la estabilización anaeróbica de los lodos sedimentados. El material sedimentable va depositándose en el fondo del sedimentador desde donde pasa a través de su abertura inferior hacia el digestor anaeróbico, donde se producirá su estabilización o mineralización. Por su parte, los flotantes quedan retenidos en la superficie del sedimentador siendo impedido su escape por medio de pantallas ubicadas a la salida.

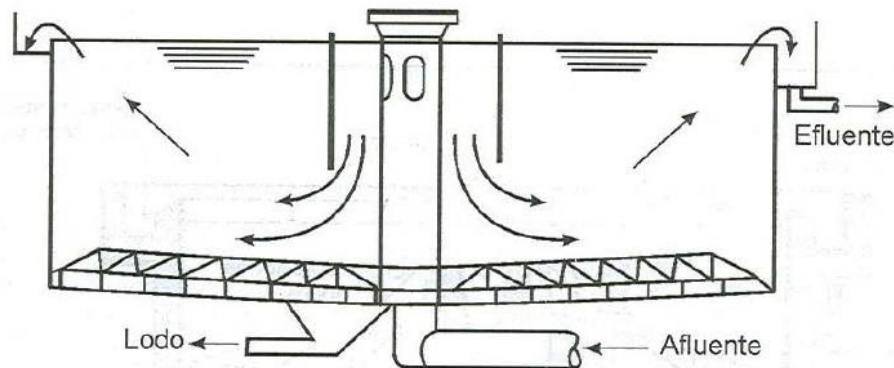
Los gases que se producen a consecuencia del proceso de digestión de los lodos ascienden a la superficie y escapan por la zona de ventilación. El diseño de la abertura ubicada en la parte inferior del sedimentador evita que los gases y los sólidos arrastrados por ellos ingresen nuevamente a la cámara de sedimentación (Ramalho, 1996). Los lodos mineralizados, con aproximadamente 95% de humedad, son dispuestos en lechos de secado como un fluido ligeramente viscoso, inodoro y de color negruzco. Allí, se secan hasta alcanzar una humedad manejable que permita su aprovechamiento o disposición final. Las aguas resultantes del secado de los lodos son retornadas al sistema de tratamiento o, en su defecto, infiltradas en el subsuelo, evaporadas o tratadas en pequeñas lagunas de estabilización.

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos: (Mariano, 1997).

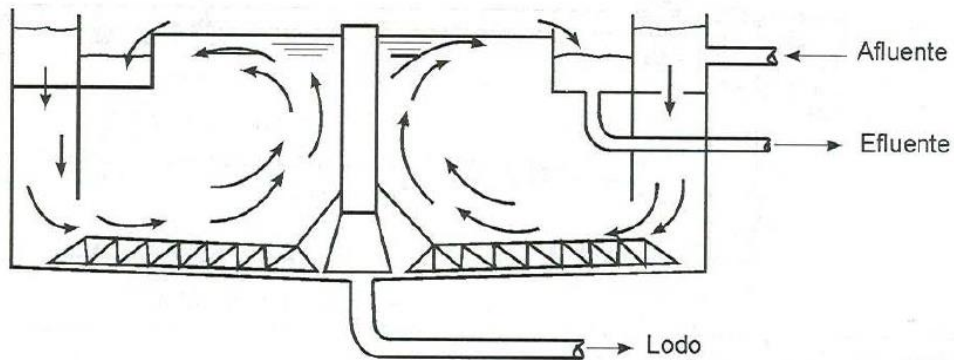
- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

#### 2.1.2.2. Sedimentador primario.

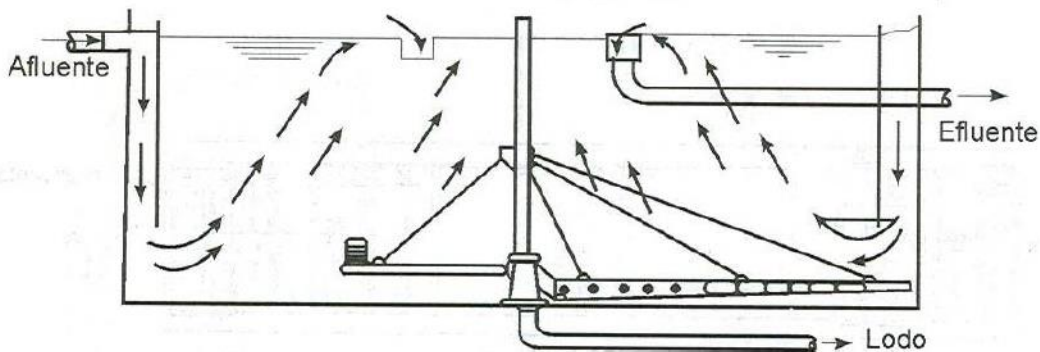
Se denominan tanques primarios de sedimentación aquellos que reciben aguas residuales crudas, generalmente antes del tratamiento biológico secundario. Estos tanques pueden ser rectangulares o circulares.



(A) Con dosificación central y barredora de lodos.



(B) Con alimentación perimetral y remoción central de lodo por succión hidráulica.



(C) Con alimentación perimetral y evacuación perimetral

Figura 9. Tipos de sedimentadores circulares.

En el tanque circular, el agua residual entra a través de aberturas en la parte superior de una tubería vertical central y fluye radicalmente hacia el vertedero perimetral de salida. Por lo general el tanque está dotado de una barredora de lodos que dirige los sólidos sedimentables hacia la tolva de lodos colocada en el centro del mismo. Los sólidos flotantes migran hacia el borde del tanque y son retenidos mediante una pantalla colocada en frente del vertedero de salida. Un desnatador adherido a los brazos de la barredora de lodos puede recoger la espuma superficial y las natas y drenarlas por el canal de espuma.

Estos tanques son los más usados porque la barredora de lodos requiere menos partes móviles que el mecanismo de arrastre de un sedimentador rectangular y porque los muros pueden ser más delgados que los de los tanques rectangulares. Aunque la turbulencia a la entrada, debajo del pozo del influente, es grande en un sedimentador circular, a medida que le agua fluye hacia el vertedero de salida su velocidad disminuye apropiadamente gracias a la mayor longitud del vertedero perimetral.

El lodo primario puede bombearse a tanques de espesamiento o a digestores, según el caso, junto con la nata y espuma removidas, cuando los tanques primarios de sedimentación son de extracción de lodos mecánico, es recomendable desocuparlos una vez al año para mantenimiento.

### 2.1.2.3. Sedimentador de tres cámaras.

Un sedimentador, también conocido como fosa séptica es un depósito rectangular donde se vierten las aguas residuales domésticas para tratamiento y se compone de una, dos o tres cámaras, usualmente ubicadas bajo el nivel del suelo (Figura 11).

El objetivo del tanque es recibir las excretas y las aguas grises domésticas, con la finalidad de que los sólidos se sedimenten y sufran digestión anaerobia en un tiempo de retención que varía de 24 a 72 horas.

Las fosas sépticas son útiles para una o varias familias, escuelas, edificios, hoteles, etc., que cuenten con abastecimiento de agua continuo, así como con suficiente terreno permeable.

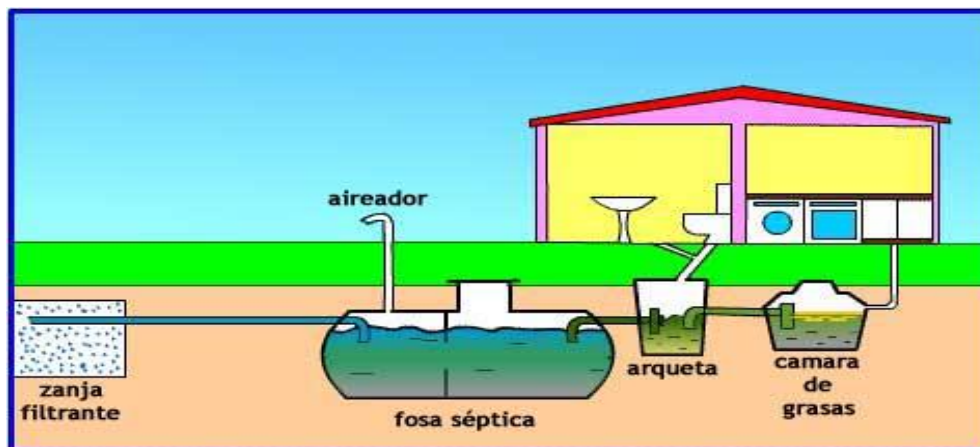


Figura 10. Diagrama del uso de la fosa séptica en una casa habitación.

### Modelos de Fosas Sépticas.

Aunque existen diferentes modelos, las fosas sépticas tradicionales de un solo compartimiento o cámara son las más baratas y fáciles de construir.

El tanque de dos cámaras tiene un costo mayor, pero tiene la ventaja de que se limpia con menor frecuencia que el de una cámara y logra un mejor tratamiento del agua residual.



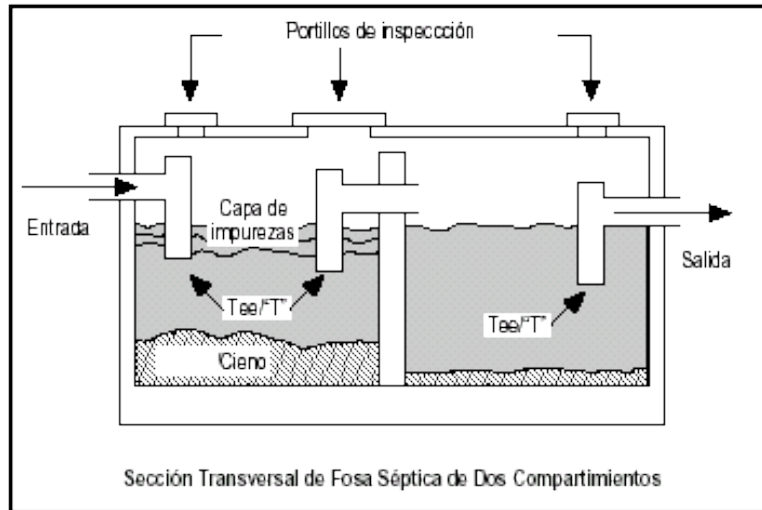


Figura 11. Sección transversal de fosa séptica de dos cámaras.

Fuente: (www.ctv.com.es)

El modelo de fosa más funcional es el tanque de tres cámaras con una secuencia de tratamiento que consiste en primer lugar en una cámara de sedimentación que en algunos casos también cumple la función de trampa de grasas, de allí el agua pasa a una cámara con condiciones anaerobias donde se reduce la carga orgánica disuelta. La tercera cámara cumple las funciones de sedimentador secundario para clarificar el agua antes de ser dispuesta en un campo de oxidación. El problema básico de las fosas sépticas es que suelen acumular lodos hasta el punto de saturación, lo cual se incrementa si la fase anaerobia no funciona correctamente. El efluente debe necesariamente ser tratado en un campo de oxidación antes de infiltrar al suelo y los lodos extraídos necesitan tratamiento adicional.

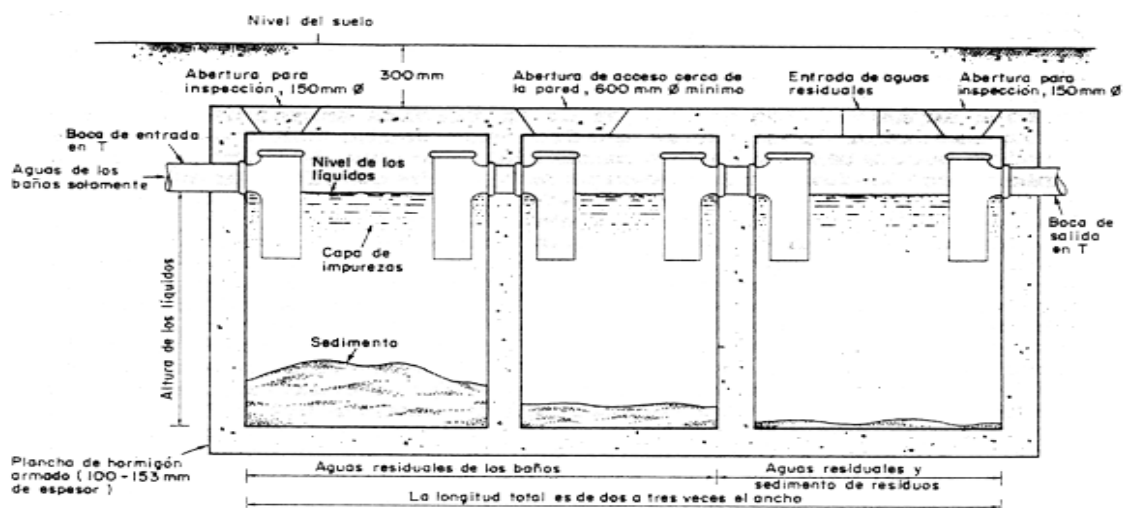


Figura 12. Sección transversal de fosa séptica de tres cámaras.

Fuente: (www.fao.org).

Procesos internos del sedimentador.

a) Separación de Sólidos.

La densidad de los sólidos y la reducción de la velocidad del flujo hacen que estos se depositen en el fondo del tanque, por lo que el efluente se clarifica. Cuando no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado, los sólidos pueden salir en el efluente y atascar el siguiente sistema de tratamiento, que usualmente es un campo o pozo de absorción.

b) Digestión de los Lodos.

Los sólidos y líquidos son sometidos a descomposición por la acción de las bacterias anaerobias y por los compuestos que se producen (dióxido de carbono y metano). Esta descomposición que prospera teóricamente sin oxígeno libre, es llamada séptica. La velocidad del proceso de digestión se incrementa a temperaturas altas, de 30 a 35 °C. El uso de grasa, aceites y desinfectantes disminuyen la rapidez de la digestión de lodos.

c) Estabilización del Líquido.

Los cambios químicos que sufre el líquido en el sedimentador, no afectan a los patógenos. El efluente que se envía usualmente al campo de absorción contiene un número alto de bacterias patógenas infecciosas, por lo que no se debe usar en riego ni descargarse directamente a un cuerpo receptor de agua.

Criterios para la localización de un sedimentador.

Los criterios que deben tomarse en cuenta para la localización de una fosa séptica son los siguientes:

- El tanque debe localizarse a una distancia de por lo menos 15 m de cualquier fuente de abastecimiento.
- El tanque debe encontrarse a una distancia mayor de 2 m del nivel de aguas freáticas.
- La ubicación de la fosa debe ser en un lugar libre de riesgo, de inundación y con espacios suficientes para la construcción de sistemas de tratamiento posterior o de disposición.
- Debe tenerse fácil acceso a la fosa para su adecuada limpieza y mantenimiento.

### 2.1.3. Tratamiento secundario.

#### 2.1.3.1. Filtro percolador.

El uso de los filtros biológicos decreció en la década de los sesentas y principios de los setenas, debido a la necesidad de producir mejores efluentes, lo que se logra con las plantas de lodos activados. Sin embargo al final de los setentas, el creciente costo de la energía y avances en el diseño de filtros, como la mayor altura del filtro y aplicación de cargas más altas, debidas al mejoramiento de medios sintéticos, causó un renovado interés por el uso de los filtros percoladores,

incrementando actualmente por el creciente empleo de las plantas duales o procesos combinados que producen efluentes de muy alta calidad, acordes con las mayores exigencias que los organismos responsables del control de la contaminación.

Clasificación.

Los filtros percoladores se clasifican por su carga hidráulica o por su carga orgánica en:

- Carga baja (Estándar).
- Carga intermedia.
- Alta carga.
- Súper alta carga.
- De desbaste.

Y por su número:

- Una sola etapa.
- Dos etapas (dos filtros conectados en serie).

El rango de cargas y características más importantes de esta clasificación se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 6. Características típicas de filtros percoladores.**

CARACTERÍSTICAS	CARGA					FILTROS DE DOS ETAPAS
	BAJA	INTERMEDIA	ALTA	SUPER ALTA	FILTROS DE DESBASTE	
<b>Medio filtrante</b>	Roca, escoria	Roca, escoria	Roca, plástico	Plástico	Plástico	Roca, plástico
<b>Carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)</b>	1-4	4-10	4-10	40-200	160-533	10-40
<b>Carga orgánica kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.d</b>	0.08-0.32	0.24-0.48	0.32-10	0.8-0.6	2.67-10.67	0.32-0-10
<b>Profundidad (m)</b>	1.8-2.4	1.8-2.4	0.9-1.8	3-12	4.5-16	1.8-2.40
<b>Relación de recirculación</b>	0	0-1	1-2	0-2	1-4	0.5-3
<b>Presencia de moscas</b>	Muchas	Varias	Pocas	Pocas o ningunas	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna
<b>Desprendimiento del cultivo</b>	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo

<b>biológico</b>						
<b>Eficiencia de remoción DBO<sub>5</sub></b>	80-90	50-70	65-85	65-85	40-65	85-95
<b>Efluente</b>	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No hay nitrificación	Bien nitrificado

La carga hidráulica se define como el gasto aplicado por unidad de superficie. Las unidades usuales en el sistema decimal son m<sup>3</sup>de agua aplicados por m<sup>2</sup> de superficie del medio filtrante por día (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día).

La carga orgánica se define como el peso de la materia orgánica biodegradable, medida como la DBO a 5 días (DBO<sub>5</sub>) y 20 °C, aplicada por unidad de volumen de medio filtrante por día.

Las unidades usuales en el sistema decimal son Kg de DBO<sub>5</sub> aplicados por m<sup>3</sup> por día (Kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>. Día).

Tipos de filtros.

- Filtros de carga baja.

Los filtros de carga baja son de diseño simple con funcionamiento confiable, que producen un efluente de calidad consistente, a pesar de que el influente tenga concentración variable. Pueden ser circulares o cuadrados.

Normalmente no requieren recirculación; pero si el gasto nocturno es muy bajo, puede utilizarse recirculación para mantener húmedo el medio filtrante. El máximo periodo aconsejable para el medio quede sin rociar es de 2 hrs, para evitar deterioro del cultivo biológico.

En la mayoría de este tipo de filtros, únicamente la parte superior del filtro, tiene un crecimiento abundante del cultivo biológico quedando la parte inferior poblada de bacterias nitrificantes. Esta combinación de cultivos en un filtro bien operada, en condiciones climáticas favorables, logra la producción de un efluente con baja DBO<sub>5</sub> bien nitrificado.

Los problemas que se presentan en estos filtros son la presencia de olores que se acentúan con influentes sépticos clima caluroso y la presencia de moscas que se pueden proliferar a menos que se apliquen medidas de control.

- Filtros intermedios y de alta carga.

En estos filtros, la recirculación, aparte de permitir mayores cargas orgánicas que la aplicada a filtros estándar, obteniendo las mismas eficiencias, ayuda a evitar enlagueamientos y a reducir molestias de olores y moscas.

➤ Filtros de súper alta carga.

Aceptan cargas orgánicas e hidráulicas mayores que los tipos anteriores, debido principalmente a la mayor profundidad del medio filtrante. La gran altura es posible por el empleo de módulos de medios plásticos que son muy ligeros.

➤ Filtros de desbaste.

Se utilizan para tratar altas cargas orgánicas, mayores de  $1.6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{día}$  y cargas hidráulicas hasta de  $187 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ . en muchos casos se utilizan previos a un tratamiento secundario para reducir la carga de residuos con muy alta  $\text{DBO}_5$ .

➤ Filtros de dos etapas.

Se utilizan para tratar influentes con altas cargas orgánicas o para conseguir nitrificación. Puede diseñarse con o sin un sedimentador intermedio entre filtros.

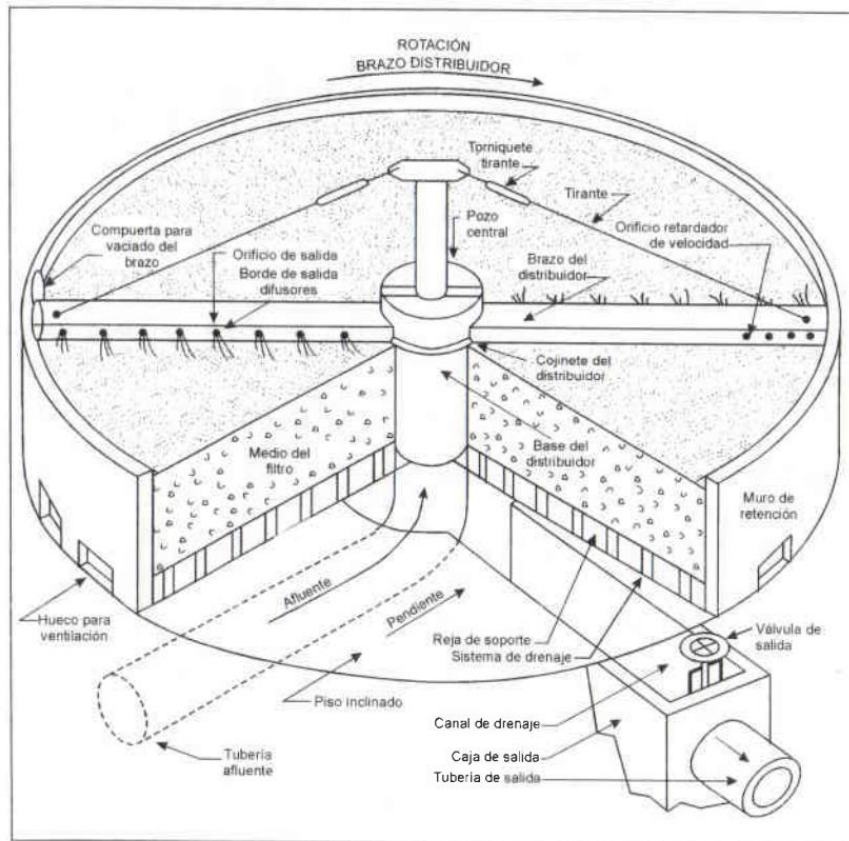


Figura 13. Esquema filtro percolador.

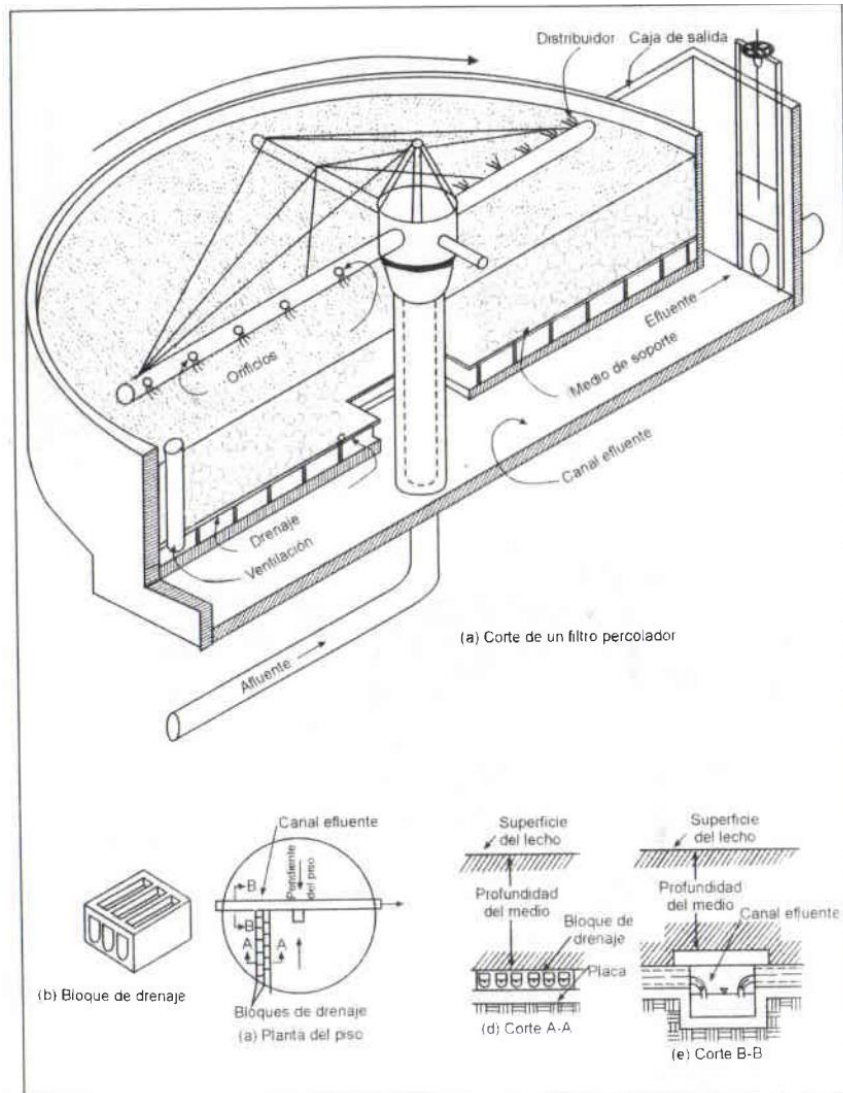


Figura 14. Corte y detalles de un filtro percolador típico.

### Sistema de distribución.

Debido a su fiabilidad y facilidad de mantenimiento, el distribuidor rotatorio ha llegado ser un elemento estándar en los procesos de filtros percoladores. El distribuidor está formado por dos o más brazos montados sobre un pivote central que gira en un plano horizontal. Los brazos son huecos y cuentan con una serie de boquillas por las cuales distribuye el agua residual sobre el medio filtrante. El movimiento del distribuidor puede estar gobernando por la reacción dinámica de la descarga del agua residual en su salida por las boquillas o por un motor eléctrico.



## **Medios filtrantes.**

Se han utilizado muchos medios filtrantes: grava, piedra quebrada, piedra de campo, tabiques, carbón, escoria, conchas de mariscos, latas de estaño, tiras de madera, tiras de polietileno, varias formas de plástico moldeado y módulos de láminas de plásticos.

Tradicionalmente, el medio usual ha sido el de piedra quebrada. Cuando se cuenta localmente con buen material, la principal ventaja es su bajo costo. Cualquier roca usada para este propósito debe ser de tamaño uniforme para asegurar el volumen de vacío adecuado para el paso del agua y circulación del aire. El tamaño efectivo de la roca es de 75 a 125 mm. Las piedras de menor diámetro no proporcionan suficiente para el crecimiento biológico.

Debido al peso del medio, la profundidad del filtro se limita de 1.5 a 3 m. otras propiedades importantes de la piedra o de cualquier otro material que se utilice incluyen: gran resistencia, ausencia de finos, tamaño uniforme, insolubilidad y resistencia química al agua aplicada, resistencia a la designación por intemperismo, carencia de toxicidad a microorganismos, inmunidad a ataques bacterianos y degradación por rayos ultravioleta.

Los medios sintéticos fabricados en plásticos son ahora de uso común por sus ventajas sobre los medios de piedra. A continuación se citan algunas de sus ventajas:

- Mayor área superficial por unidad de volumen para alojar el crecimiento biológico.
- Mucha mayor relación de volumen de vacío que mejora la circulación del aire y transferencia de oxígeno y decrece la posibilidad de taponamientos.
- Aumenta el tiempo de retención hidráulico.
- Su peso ligero permite construir filtros de mayor altura.
- Su resistencia química a las aguas residuales es mejor.
- Proporciona mejor distribución de las aguas residuales aplicadas.
- No se requiere una estructura de contención de concreto reforzado, ya que los módulos de medio filtrante son autoportables.

Hay varias formas de medio plástico. El medio plástico moldeado tiene la apariencia de un panel de abejas. Está formado por láminas de PVC lisas y corrugadas y ensambladas con pegamento en módulos rectangulares.

Otro medio plástico también usado consiste en piezas cilíndricas, similares a los tubos para rizar, colocados aleatoriamente en los filtros. Tiene la ventaja de no requerir cortes ni ajustes. Tiene menos vacíos que los medios laminados por lo que es más vulnerable a taponamientos, ellos lo hace poco adecuado para manejar altas cargas orgánicas y/o hidráulicas.

## **La película de lama microbiana.**

Los microorganismos emplean la materia orgánica como su fuente de alimentación y en la presencia de oxígeno la metabolizan. El metabolismo de la materia orgánica abarca numerosas y complejas reacciones bioquímicas dentro de las células que componen los microorganismos hasta obtener

$$\text{Microorganismos} + \text{Materia orgánica} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Microorganismos} + \text{Energía} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Productos de desecho}$$

Para asegurar una degradación rápida de los compuestos orgánicos y libre de olores desagradables, el filtro debe permanecer en condiciones aerobias, es decir, debe haber suficiente oxígeno disuelto en el agua residual a medida que ésta pasa por el medio filtrante. El oxígeno disuelto requerido proviene del aire que circula a través del filtro, si existe insuficiente circulación de aire se desarrollarán condiciones anaerobias, olores desagradables y la eficiencia del tratamiento disminuirá.

La figura 15 se muestra un diagrama de la capa de zooglea que se desarrolla en un filtro. Como se puede observar en esta figura, a través del fenómeno de difusión, el oxígeno contenido en las aguas residuales pasa a la superficie de la capa biológica y, a medida que los microorganismos de la biopelícula consumen el alimento, se reproducen, incrementándose el espesor de la misma. Cuando ésta ha crecido demasiado, el oxígeno es consumido rápidamente en la parte superficial generándose entonces condiciones anaerobias en las zonas más profundas donde los microorganismos anaerobios producen gases que tienden a separar la capa adherida al medio filtrante. La fuerza cortante ejercida por el agua residual aplicada favorece el desprendimiento de la película y se inicia el crecimiento de una nueva capa. A las partículas que se han desprendido se les denomina humus y son arrastradas junto con el agua tratada a través del sistema de drenaje hacia un tanque final de sedimentación.

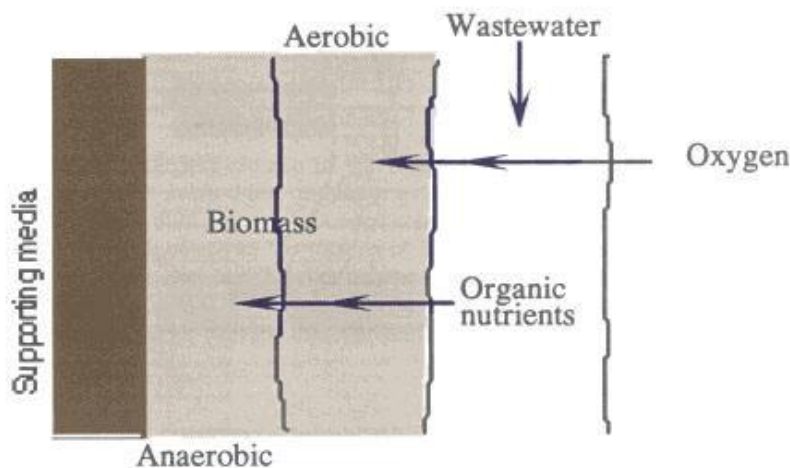


Figura 15. Esquema básico de la biomasa fija.



Se ha observado que el espesor de la capa microbiana es una función de las cargas hidráulica y orgánica aplicadas al filtro y en general, el espesor de la biopelícula tiende a ser mayor a medida que se aproxima a la superficie del filtro.

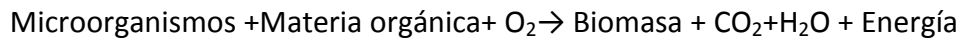
Como sucede con los sistemas biológicos de tratamientos residuales, el rango y las proporciones de las diferentes especies de organismos presentes en la población microbiana dependen de las condiciones de operación del sistema, especialmente la carga y la composición de nutrientes de las aguas residuales en proceso de tratamiento. Sin embargo, la lama microbiana de los percoladores es ecológicamente más compleja que, por ejemplo, los lodos activados. El equilibrio entre las diferentes especies presentes varía también con la situación dentro del lecho, y cuando la unidad está situada al aire libre, el equilibrio ecológico mostrará también variaciones estacionales. La película de lama interviene en una compleja serie de cadenas alimenticias y relaciones entre el predador y la presa, desde las bacterias hasta los insectos, teniendo cada una de ellas un efecto significativo en la operación del percolador. Los sistemas de película fija reaccionan diferente ante los cambios en el ambiente operacional, como la temperatura y la presencia de cargas de choque y materiales tóxicos, comparados con los sistemas de crecimiento en suspensión, como el proceso de lodos activados.

El desarrollo de la película comienza con un medio de soporte limpio, el crecimiento inicial de la lama podrá necesitar varias semanas para alcanzar su desarrollo sobre la superficie del empaque, un proceso que se conoce como "maduración". La lama se desarrolla a partir de los organismos presentes en aguas residuales o inoculados, al principio, la eficiencia de purificación es baja pero se aumenta según se acumula la película de lama sobre las superficies del empaque. Según se consumen los nutrientes, la película de lama se hace más gruesa hasta que es suficientemente pesada para separarse del empaque por su propio peso y el flujo del líquido lo arrastra fuera del sistema. Como ya se mencionó antes, a la película de lama se la conoce como biomasa o zooglea; la separación de la lama de la superficie del empaque se llama "desprendimiento", y a la lama separada "humus". Por tanto, los procesos de purificación que tienen lugar en un percolador son, como los de un proceso de lodos activados, una combinación y aglomeración del material en la masa microbiana, oxidación microbiana de los nutrientes y conversión de los nutrientes a masa microbiana. La proporción con que cada componente contribuye al efecto global de purificación depende de la carga del sistema y de la naturaleza de las aguas residuales sometidas a tratamiento. En el caso de aguas residuales que contengan una gran proporción de sólidos, el mecanismo de absorción puede llegar a ser el más importante, y a menudo, los sólidos influentes se pueden recuperar de la lama desprendida, prácticamente sin cambio alguno.

#### 2.1.3.2. Lodos activados.

Este sistema de tratamiento biológico se desarrolla en un ambiente rico en oxígeno (aerobio), con microorganismos vivos y materia orgánica. Es similar al proceso biológico natural que se observa en las capas superiores del suelo que contiene gran variedad de microorganismos; la diferencia consiste en que el proceso de lodos activados es un proceso controlado que mantiene a los

microorganismos en un ambiente líquido. El mecanismo básico del sistema se representa de una manera simplista con la siguiente reacción biológica:



Los primeros microorganismos dirigen una parte de la materia orgánica absorbiéndola a través de su pared celular, produciendo ciertos productos de desecho, los que se utilizan como alimento por otros microorganismos. Este proceso de degradación acumulativa continúa hasta que la materia orgánica compleja original ha sido degradada y asimilada por la población biológica.

### Componentes del sistema de lodos activados.

El proceso básico de lodos activados (Fig. 16) se integra de varios componentes que se interrelacionan entre sí:

- Tanque de aeración (uno o varios) diseñado para un mezclado completo o trabajar como flujo pistón.
- Fuente de aeración que permita transferir el oxígeno y proporcione la mezcla que requiere el sistema. La fuente puede ser un soplador con difusores, aeración mecánica o a través de la inyección o de oxígeno puro.
- Sedimentador (uno o varios) para separar los sólidos biológicos (lodos activados) del agua tratada.
- Un mecanismo para recolectar los sólidos biológicos del sedimentador y recircular la mayor parte de ellos al reactor biológico o tanque de aeración, en lo que se conoce como recirculación de lodos activados.
- Un mecanismo para desechar el exceso de sólidos biológicos del sistema, lo que se conoce como purga de lodos.

En una planta municipal típica, un proceso de lodos activados bien diseñado y operado puede alcanzar efluentes con 20 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 20 mg/L de sólidos suspendidos. El proceso tiene capacidad para mayores eficiencias hasta de 10 mg/L de DBO y 15 mg/L se SS. Para alcanzar valores menores a estos últimos, se requiere tratamiento avanzado.

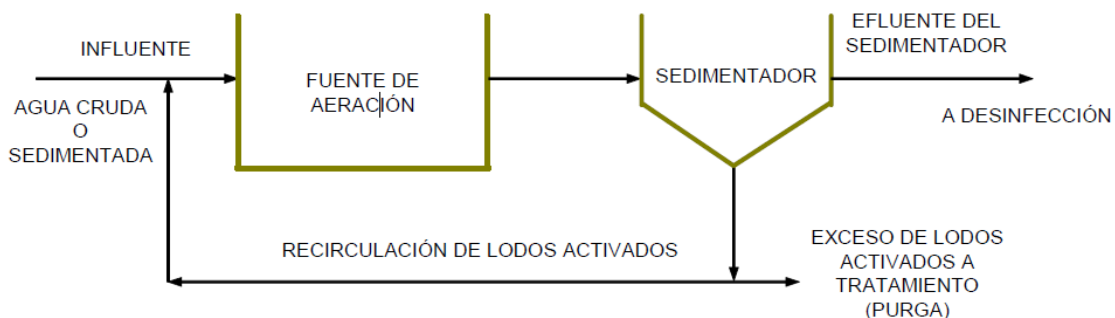


Figura 16. Proceso básico de lodos activados.

Los lodos recirculados y el agua residual proveniente del sedimentador primario, si lo hay, entran en el tanque de aireación, donde son aireados y mezclados a medida que la mezcla líquida (lodos + agua residual) fluye a lo largo del tanque. Los microorganismos estabilizan aerobiamente la materia orgánica en el tanque de aireación y fluye al sedimentador secundario donde el floc biológico es separado del agua residual, dejando un efluente claro de bajo contenido orgánico. Una porción de los lodos es recirculada al tanque de aireación como al principio y, el exceso, enviado al sistema de tratamiento y disposición de lodos.

En el sistema mostrado en la figura anterior, el tanque de aireación tiene un tamaño fijo y por consiguiente un tiempo de retención fijo para un caudal determinado. Ello significa que el tiempo para la actividad biológica estará limitado a un periodo fijo para cada caudal de entrada. Dentro de dicho período de retención se efectuará la actividad biológica de los microorganismos, los cuales pasan por diferentes fases de desarrollo, dependiendo de la relación A/M y demás condiciones ambientales.

En un proceso de lodos activados, tipo cochada, cuando comienza la aireación la relación A/M es muy grande, o sea, los microorganismos están ante un exceso de alimento. Como el crecimiento es función del alimento presente, inicialmente será máximo, esto es, logarítmico. La materia orgánica del residuo se utiliza a la tasa máxima con una tasa óptima de conversión de material orgánico en células nuevas, el nivel de energía es alto y mantendrá todos los microorganismos completamente esparcidos, crecimiento disperso, haciendo difícil formar floc biológico de lodo activado durante el período en que los microorganismos permanecen en la fase logarítmica. A medida que se consume el alimento y se producen nuevas células, la relación A/M disminuye y se llega a un punto en que el alimento ya no se encuentra en exceso sino que es el factor limitante.

El crecimiento pasa entonces de la fase logarítmica a la fase de declinación, algunas células comienzan a fallecer y el floc comienza a formarse, pues las células han perdido energía, ya no se apartan unas de otras y la turbulencia promueve su contacto y aglutinación. La concentración de alimento continúa disminuyendo y los microorganismos aumentando, pero a una tasa cada vez menos, la relación A/M alcanza un valor mínimo y se inicia la fase endógena, durante la cual los microorganismos son incapaces de obtener suficiente energía del alimento remanente en el residuo y comienza a metabolizar sus propias reservas de alimento (lisis), aumentando rápidamente la tasa de formación de floc biológico. Si el tiempo de aireación se prolonga lo suficiente, todas las formas biológicas morirían y solamente permanecería la porción inerte de las células. El proceso de lodos activados nunca se deja llevar a tales extremos, puesto que se requerirían tiempos de retención de varios meses.

En general, cuando se obtiene la fase endógena, el floc biológico formado es separado de la fracción líquida mediante sedimentación y recirculado al tanque de aireación. La recirculación de floc

biológico concentrado hace que la concentración de microorganismos sea mayor que la inicial, la relación A/M será también menor que la relación inicial y las bacterias empiezan de nuevo el período de crecimiento. Si el tiempo de aireación permaneciera constante, el sistema progresaría poco a poco dentro de la fase endógena y se obtendrían una mejor floculación y un efluente más claro. En conclusión, la remoción orgánica es más rápida en la fase de crecimiento logarítmico, mientras que la formación de floc es mejor en la fase endógena. Consecuentemente, el diseño del proceso y la operación de la planta deben tener en cuenta las variaciones de carga orgánica y de caudal en las aguas residuales afluentes.

El tamaño del tanque de aireación, en un proceso de lodos activados, debe ser suficiente para permitir que los microorganismos alcancen la fase endógena durante los períodos de caudal máximo y máxima carga orgánica. Si el tanque de aireación no es lo suficientemente grande como para que esto ocurra el efluente se hará turbio, pues se perderán microorganismos es el problema básico para un diseño adecuado y una operación exitosa de las unidades de lodos activados. (Romero Jairo, 2005).

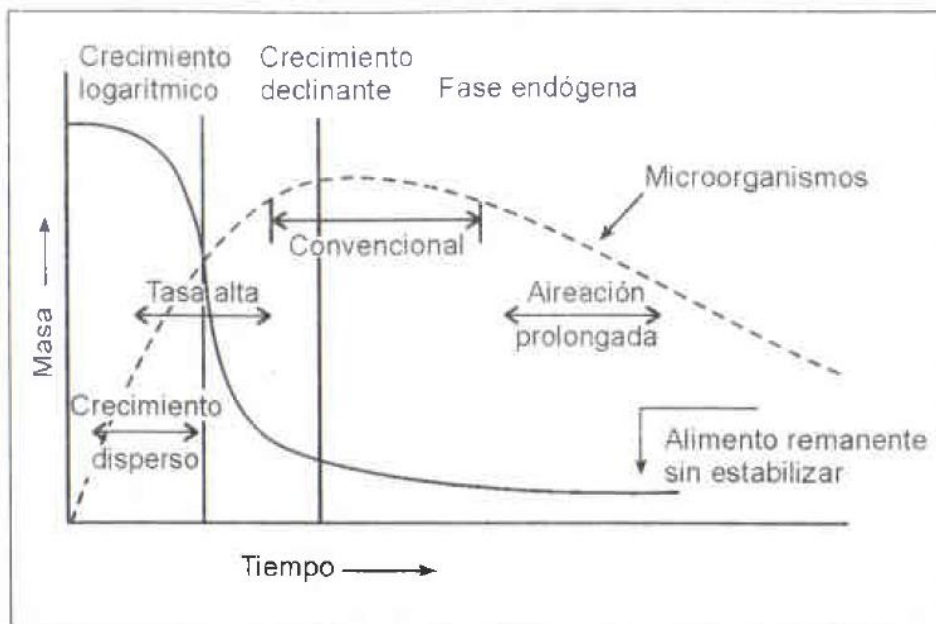


Figura 17. Curva de crecimiento ideal para una unidad de lodos activados.

Consideraciones en la operación y mantenimiento.

La operación efectiva del equipo de aeración mecánica debe minimizar el consumo de energía y maximizar su funcionamiento. La operación y mantenimiento se enfocará al control de la concentración de oxígeno disuelto en el líquido airado; proporcionar la mezcla mínima requerida en el sistema y proporcionar el servicio e inspección necesaria sin interrumpir la operación.

Generalmente la concentración de oxígeno disuelto se establece entre 1 y 2 mg/L, a temperaturas cercanas a los 20 °C; el consumo de energía para proporcionar 4 mg/L de oxígeno en lugar de 2 mg/L puede aumentar entre un 5 y 40%. Debido a que el consumo de energía en aeración es uno de los mayores costos de operación de la planta no se debe sobre oxigenar el licor mezclado.

Tabla 7. Técnicas de control de la concentración de oxígeno con aireadores mecánicos.

TIPO DE AERADORES	TÉCNICA			
	SUMERGENCIA	VELOCIDAD	AIRE	ENCENDIDO/APAGADO
Superficiales centrífugos de baja velocidad	SI	SI	NO	SI
Superficiales axiales de alta velocidad	NO	NO	NO	SI
Flujo descendente turbina abierta	POSIBLE	POSIBLE	NO	SI
Flujo descendente turbina cerrada	POSIBLE	PPSIBLE	NO	SI
Flujo descendente turbina cerrada con aire forzado	NO	NO	SI	SI
Turbina sumergida	NO	NO	SI	NO
Impulsor sumergido	NO	NO	NO	SI
Rotor superficial y disco	SI	SI	NO	SI
Eje horizontal aeración mecánica	NO	NO	SI	SI

El mantenimiento de aireadores mecánicos involucra lo siguiente:

- Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión de cables eléctricos y mecanismos de fijación, revisión del desgaste de bandas, etc.
- Registro de datos de uso de energía, sumergencia de aireadores, gasto de aireadores, gasto de aire (si aplica).
- Registro de datos de tiempos de uso, tiempos de reparación.
- Análisis de la falla de equipos, interrupciones de la operación, mantenimiento de sopladores y tubería con equipos combinados.

#### 2.1.3.3. Humedales.

Los sistemas de humedales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente. La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo libre superficial (FLS, free water surface wetlands) en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera estos incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), las zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas. Un humedal artificial de flujo

subsuperficial (FS, *subsurface flow wetlands*) está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado, éstos pueden ser de flujo horizontal o vertical.

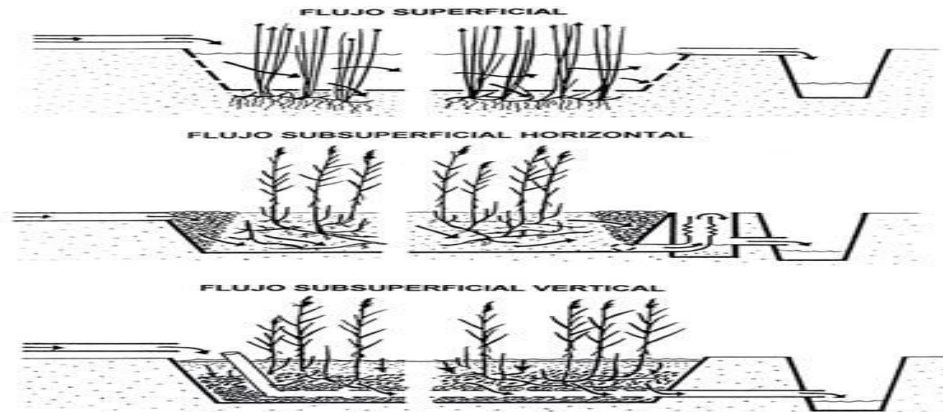


Figura 18. Tipos de humedales artificiales.

La mejora en la calidad del agua en humedales naturales ha sido observada por científicos e ingenieros durante muchos años, y ha llevado al desarrollo de humedales artificiales para duplicar en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat de los humedales naturales. Se considera que las reacciones biológicas se deben a la actividad de los microorganismos adheridos a las superficies disponibles de sustrato sumergido.

Características específicas básicas de un humedal artificial

- Sustrato (suelo) casi siempre artificial o muy modificado
- Vegetación implantada (especies vegetales elegidas según el tipo y función del humedal)
- Afluentes líquidos contaminados con diversos productos (asumibles por el humedal, previo estudio correspondiente).
- Gestión del sustrato (limpieza más o menos frecuente, a veces adición de fertilizantes, adición de componentes del sustrato para renovación, etc.).

Desde el punto de vista hidrológico, una característica fundamental de los humedales es que el medio esencial, aparte del sustrato, es el agua, de la que, en principio, están saturados. Otra característica es la condición del agua presente como masa, de tipo lentic, en la que sus desplazamientos son lentos, lo que permite que se realice una serie de procesos físicos (sedimentación), químicos (reducción) y biológicos (fotosíntesis y crecimiento de las plantas) que en aguas loticas serían inviables.

Componentes de los humedales artificiales:



- Estructuras de entrada del afluente.
- Impermeabilización del fondo y laterales.
- Medio granular
- Vegetación emergente típica de zonas húmedas

Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua (Hernández, 2008).

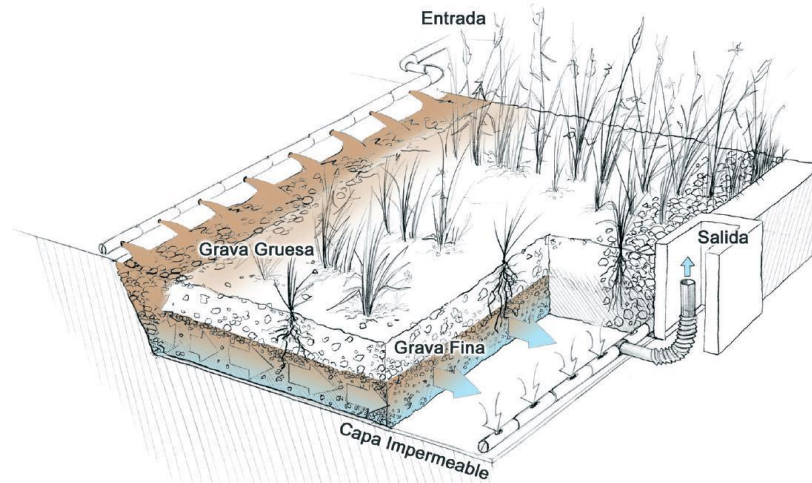


Figura 19. Componentes de un humedal artificial de flujo subsuperficial.

Factores incidentes.

En un humedal artificial se deben tener en cuenta los siguientes factores incidentes:

- Caudal del líquido a recibir.
- Características de ese líquido (composición, etc.)
- Objetivos de la instalación del humedal.
- Sustrato apropiado.
- Selección de la vegetación a implantar.
- Condiciones ecológicas de la zona (temperatura, humedad, topografía, etc.).
- Parámetros de diseño:
  - Tiempo de retención hidráulica.
  - Profundidad.
  - Figura geométrica.
  - Dimensiones.
  - Carga admisible de  $DBO_5$ .
  - Carga invisible de otros contaminantes.
  - Fluctuaciones de la carga hidráulica.

Tabla 8. Procesos naturales en un humedal artificial.

FASE	PROCESO
Acción bacteriana	Conversión y transformación de contaminantes. En la transformación aerobia de los residuos orgánicos se consume oxígeno. Se realizan también transformaciones de productos orgánicos tóxicos. Siempre se reduce la DBO.
Absorción de oxígeno	Si la lámina líquida del humedal no está en saturación de oxígeno disuelto, lo toma de la atmósfera, en una aeración natural.
Sedimentación	Se debe al movimiento lento de líquido, que hace que los sólidos en suspensión se depositen en el fondo. En ciertos casos se produce una floculación. En otros se produce turbulencia (en la entrada) que hacen que estos sólidos se distribuyan uniformemente por todo el humedal.
Degradación natural	La supervivencia de muchos organismos tiene un plazo limitado, por lo que gran parte de ellos muere pasado un periodo de tiempo en el humedal. Por otra parte, la acción fotoquímica provoca la oxidación de muchos componentes orgánicos.
Adsorción	Muchos contaminantes químicos tienden a unirse por adsorción con diversos sólidos, lo que dependerá, en gran parte, de la cantidad y composición de estos presentes en la fase líquida en forma de suspensión. Esta adsorción se complementa después casi siempre con la posterior sedimentación.
Volatilización	Los contaminantes volátiles presentes en el líquido se transfieren a la atmósfera.
Reacciones químicas	A parte de las reacciones fotoquímicas que ya hemos indicado en la degradación natural, en el humedal existen fenómenos de hidrólisis, oxidaciones diversas, reducciones, etc.
Evaporación	A parte de la volatilización y la desorción de oxígeno, muchos gases que se pueden aportar con el afluente se pueden evaporar, y lo mismo ocurre con parte de la masa del humedal, que puede ver producido así su volumen.

Componentes principales de los humedales.

Los componentes de un humedal construido son: las plantas, el sustrato y la población microbiana.

- Plantas.



Usualmente las plantas que se usan en estos sistemas se llaman macrófitas, e incluyen plantas acuáticas vasculares, musgos acuáticos y algunas algas grandes, aunque se estima que se ha utilizado apenas el 1% de las especies disponibles.

Una gran variedad de especies de plantas han sido usadas, o han invadido y se han adaptado a los ecosistemas formados por los humedales construidos, para tratar aguas residuales, específicamente en sistemas municipales.

Algunas especies que se han adaptado a las aguas residuales domésticas, puede que no sobrevivan con aguas residuales de granjas (i.e., porcícolas), por la diferencia en la concentración de los contaminantes.

Para un sistema de flujo subsuperficial, la vegetación juega un papel muy importante en el tratamiento de las aguas residuales, ya que también transfiere el oxígeno al interior del medio poroso, creando un ambiente adecuado por debajo de la superficie del agua para los microorganismos que se encargan del tratamiento biológico. Una característica de diseño para este sistema es la profundidad de penetración de sus raíces. Las planta emergente recomendable para este sistema, es la espadaña (*Typha spp*), arraigadas en el suelo o medio poroso, que emergen o penetran en la superficie libre del agua. Las espadañas crecen a profundidades de agua de hasta 1.5 m, ya que la profundidad de penetración de sus raíces lo hacen a más de 75 cm. Lo que permite diseñar depósitos de considerables profundidades.

La mayoría de los humedales construidos en Estados Unidos utilizan junco (*Scirpus spp*), carrizo (*Phragmites spp*) o espadaña (*Typha spp*). Solamente cerca del 40% usa junco. El carrizo es la especie más utilizada en Europa, y en México es la espadaña. Una especie importante con respecto a la elección de la especie de planta del humedal, es utilizar plantas útiles para la comunidad a fin de reciclar los nutrientes que absorbe, y tener una retribución económica de ser posible.

➤ Sustrato.

El sustrato funciona como fijador de las plantas del sistema fuente de nutrientes, como medio de fijación de microorganismos y como conductor hidráulico. Sus características físicas y químicas juegan un papel importante en el comportamiento de los humedales construidos. Entre estas características están la porosidad, la conductividad hidráulica, el potencial de hidrogeno, el potencial de oxidación-reducción, la capacidad de absorción, la capacidad de intercambio iónico, la superficie de contacto, la concentración de nutrientes y de materia orgánica, las concentraciones de hierro, aluminio y calcio, así como la disponibilidad de oxígeno disuelto y su estado de saturación.

➤ Población Microbiana.

Los humedales son sistemas biológicos de medio fijo. Requieren un sustrato para el desarrollo del crecimiento biológico. Su comportamiento depende del tiempo de retención y de la oportunidad de contacto y son regulados por la disponibilidad de oxígeno y la temperatura. El crecimiento ocurre en

las porciones sumergidas de las plantas, sobre los desechos de hojas y otro detritus o directamente sobre el sustrato.

Puede existir una amplia variedad de organismos, desde bacterias o protozoarios a animales superiores. Se piensa que el crecimiento de microorganismos fijos es el principal participante en el tratamiento de las aguas residuales.

Un ecosistema de este tipo consiste en la interacción de varios componentes biológicos y químicos que modifican el flujo de los materiales. Un modelo genérico de estas interacciones contienen diferentes compartimientos de almacenamiento: hojas, tallo, raíz y rizoma, sustrato superficial, sustrato profundo, residuos y agua; así como numerosas rutas de flujo entre ellos.

Remoción de contaminantes.

Estos sistemas reducen muchos contaminantes, incluyendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno (N), fósforo (P), metales traza, orgánicos traza y patógenos (Tabla 9). La eficiencia en la remoción de los contaminantes es variable.

**Tabla 9. Remoción de contaminantes.**

Contaminante	% de remoción
DBO	73
Sólidos Suspendidos	69
N-amonio	44
Nitrógeno total	64
Fósforo total	55

Kadlec y Knight (1996) presentan resultados de remoción de los distintos contaminantes que es una comparación del promedio anual estimado de la capacidad de tratamiento de la alternativa con Humedales basado en las características del influente (Tabla 10).

**Tabla 10. Características del influente de los humedales.**

Contaminante	Influente (mg/l)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	30
Sólidos suspendidos totales (SST)	30
NH <sub>3</sub>	15
Nitrógeno Total (NT)	20
Fósforo Total (PT)	4
Cadmio (Cd)	10 µg/l
Cobre (Cu)	50
Plomo (Pb)	50

Zinc (Zn)

300

Fuente: Kadlec y Knight, 1996.

Nota: Todos los valores en mg/l, excepto los indicados específicamente.

Tabla 11. Funcionamiento típico de un humedal artificial.

Contaminante	DBO y SST		NH <sub>3</sub> -N		N.T.		P.T.		Metales	
	TR	E	TR	E	TR	e	TR	e	TR	e
Humedal Construido	10	67	4.7	62	6.9	69	0.95	48	0.1	50
F.S.										
Construido F.S.S.	10 -12	67 - 80	6.3	84	7.6	76	0.95	48	0.12	60
Natural	4.5 – 6.7	30 – 45	4.4	50	5	50	0.4	20	0.06	30

TR: Tasa de remoción en kg/ha/día.

E: Eficiencia en %

F.S: Flujo Superficial.

F.S.S: Flujo Subsuperficial

Fuente: Kadlec y Knight, 1996.

#### 2.1.4. Tratamiento terciario.

##### 2.1.4.1. Tanque de contacto de cloro.

Cloración es el proceso de desinfección de aguas residuales más comúnmente usado. El proceso incluye la adición de cloro o hipoclorito al agua residual. Cuando se usa cloro, este se combina con agua para formar ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico (HCl). El ácido hipocloroso es el desinfectante primario en el agua. En aguas residuales, el desinfectante primario son las especies de monocloraaminas; Por lo tanto, la tendencia del ácido hipocloroso para disociarse a ácido hipoclorito debe evitarse manteniendo un pH menor de 7.5. (Conagua, 2007).

La demanda de cloro se determina mediante la diferencia entre el cloro suministrado y la concentración del cloro residual medido después de un tiempo de la aplicación del cloro, usualmente de 15 a 30 minutos. El tanque de contacto de cloro cuenta con baffles para tener buen mezclado y evitar los cortos circuitos. La cloración usada en desinfección tiene el objetivo de prevenir la proliferación de enfermedades y el control de crecimientos de algas y producción de olores.

##### Criterios de diseño.

Generalmente, se requiere un tiempo de contacto de 15 a 30 minutos para flujos pico. Los tanques de contacto se deben diseñar con baffles para evitar cortos circuitos. Se requiere una concentración de por lo menos 0.15 mg/l de cloro residual.

A continuación se presentan las dosis típicas para desinfección del agua residual:

Tabla 12. Dosis típicas para la desinfección.

Efluente	Dosis (mg/l)
Aguas crudas (Precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Tratamiento de precipitación química	3-10
Filtros percoladores	3-10
Lodos activados	2-8
Filtros de lechos mixtos + lodos activados	1-5

Fuente: (Conagua, 2007)

Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio, se tiene:



Eficiencias del proceso.

En la tabla siguiente se presentan los coliformes remanentes después de un tiempo de contacto con cloro de 30 minutos, suponiendo un efluente primario con contenido de coliformes totales de 35, 000,000, y un efluente secundario con contenido de coliformes totales de 1,000,000. Los valores dados dependen de una buena mezcla, un régimen de flujo altamente turbulento suido de un flujo pistón en el tanque de contacto.

Tabla 13. Coliformes remanentes después del contacto con cloro.

Cloro Residual (mg/l)	Coliformes totales remanentes (NMP/100ml)	
	Efluente Primario	Efluente Secundario
<b>0.5-1.5</b>	24 000 - 400 000	1 000 – 12 000
<b>1.5-2.5</b>	6 000 - 24 000	2 00 – 1 000
<b>2.5-3.5</b>	2 000 -6 000	60 – 200
<b>3.5-4.5</b>	1 000 – 2 000	30 - 60

Fuente: (CONAGUA, 2007)

### 2.1.5. Tratamiento de lodos.

Los materiales sólidos y semisólidos removidos del agua residual en plantas de tratamiento son considerados como lodos. Los residuales orgánicos del tratamiento primario y secundario constituyen la mayoría de los lodos, pero también incluyen arena, natas y sólidos del cribado.

La producción de lodos en los procesos unitarios típicos dependerá del porcentaje de aportación industrial, basura molida, el uso de químicos, control del proceso, cargas pico y condiciones climatológicas. Los tipos de lodos incluyen:

- Lodo Primario.

- Lodo Biológico.
- Lodos Químicos.

#### 2.1.5.1. Lecho de secado.

Esta unidad consiste en un tanque con medio filtrante (arena y grava), el lodo depositado en esta unidad se seca por la acción de evaporación y drenado, el lixiviado se envía al humedal de la primera etapa, y el lodo seco se puede utilizar como mejorador de suelos.

Las principales ventajas son su bajo costo, el escaso mantenimiento que precisan, y el elevado contenido en sólidos del producto final. Se utilizan cuatro tipos de canchas de secado:

- Convencionales de arena.
- Pavimentadas.
- De medio artificial.

Se suelen utilizar en comunidades de pequeñas dimensiones y población de tamaño medio, aunque se han dado casos en los que se han empleado en instalaciones más grandes.

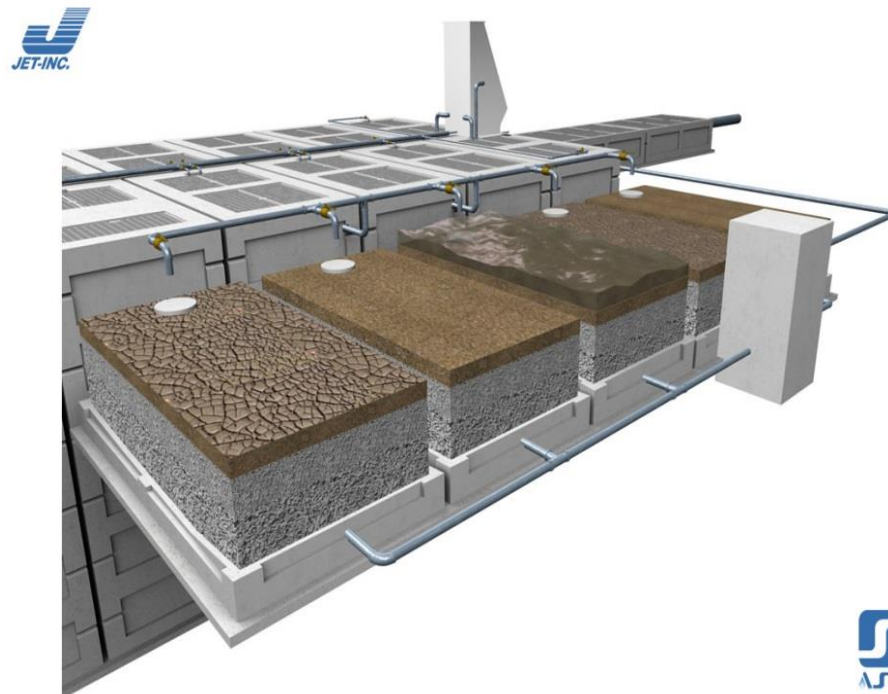


Figura 20. Lecho de secado de lodos.

## 2.2. ECUACIONES DE DISEÑO.

### 2.2.1. Pretratamiento y canal de llegada.

#### 2.2.1.1. Canal de llegada.

El canal de acceso o de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción en la planta. Para el proyecto se propone un canal de conducción a cielo abierto y con sección rectangular.

**Para determinar el área del canal se utiliza la ecuación de continuidad**

$$Q = A * V$$

Donde:

Q= Gasto.

A= área hidráulica (es el área ocupada por el flujo en la sección del canal).

V= Velocidad (propuesta, recomendable que sea cercana a 1).

Material	Velocidad (m/s)	
	Maxima	Minima
Acero (sin revestimiento, revestido y galvanizado)	3	0.3
Concreto reforzado	5	
Concreto simple		
Fibrocemento		
Polietileno alta densidad (PEAD)		
Poli (cloruro de vinilo) (PVC)	3	
Poliester reforzado con fibra de vidrio (PRFV)		

Fuente:(CONAGUA 2009)

**El valor del tirante hidráulico (H) es la relación entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre:**

$$H = \frac{A}{b}$$

Donde:

A= área hidráulica.

b= ancho del canal (propuesto).

Perímetro mojado, es la longitud de la línea de contacto entre el agua y las paredes del canal, es decir, no incluye la superficie libre.

$$b + 2H$$

**El Radio Hidráulico, es el cociente Rh del área hidráulica y el perímetro mojado.**

$$Rh = \frac{bH}{b + 2H}$$

Donde:

b= ancho del canal.

H= tirante.

La ecuación de fricción "Manning" se utiliza en flujos turbulentos en canales rugosos, su precisión depende de una selección cuidadosa de n, coeficiente que se considera dependiente solo de la rugosidad de las paredes y fondo del canal. Sin embargo, n es un factor de fricción, esto es, depende también de la geometría de la sección y características hidráulicas del flujo

$$V = \frac{1}{n} (R^{\frac{2}{3}}) (S^{\frac{1}{2}})$$

Donde:

V = Velocidad media, (m/s)

n= Coeficiente de rugosidad, (adimensional)

R= Radio Hidráulico, (para tuberías circulares llenas es D/4)

S= Pendiente de la línea de energía, (m/m)

Para el Coeficiente de rugosidad (n) podemos elegir un valor de la siguiente tabla de acuerdo a las características requeridas.

Material	Coficiente n
Concreto	0.012
Concreto con revestimiento de PVC/PEAD	0.009
Acero soldado con recubrimiento interior (pinturas)	0.011
Acero sin revestimiento	0.014
Fibrocemento	0.010
Polietileno pared sólida	0.009
Polietileno corrugado/estructurado	0.012
PVC pared sólida	0.009
PVC pared corrugado/estructurado	0.009
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,009

Fuente: Manual alcantarillado y saneamiento CONAGUA (2011).

### 2.2.1.2. Rejillas.

El sistema de rejillas para el tratamiento de aguas residuales pueden ser de limpieza: mecánica o manual. Cuando la población del proyecto es mayor a 10,000 habitantes se recomienda diseñar una rejilla de limpieza mecánica. En la siguiente tabla se especifican los parámetros para el diseño de las rejillas de limpieza manual y mecánica.

Tabla 14. Información de diseño de rejillas manual y mecánica.

Información típica de diseño para rejillas de limpieza manual y mecánica		
Característica	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Velocidad a través de las rejillas ( $V_r$ ), m/s	[0.3 - 0.6]	[0.6 - 1]
Tamaño de la barra:		
Ancho (S), mm	[4 - 8 mm]	[8 - 10 mm]
Profundidad (Z), mm	[25 - 50 mm]	[50 - 75 mm]
Separación entre barras (b), mm	[25 - 75 mm]	[10 - 50 mm]
coeficiente K	[1.1 - 1.2]	1.05
Pendiente en relación a la horizontal ( $\alpha$ ), grados	[45° - 60°]	[75° - 85°]

Fuente: UNACH (2013)

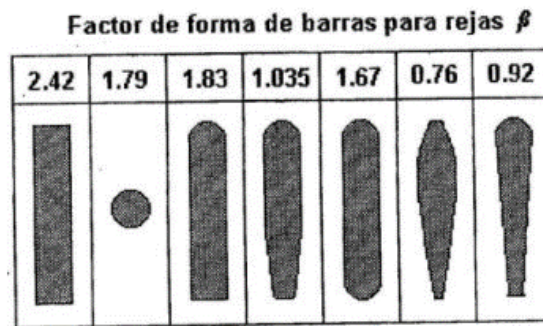
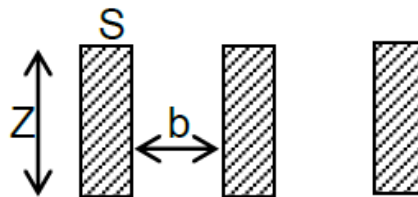


Figura 21. Factor de forma de barras para rejillas ( $\beta$ ).



Una vez seleccionado el tipo de limpieza se realiza una serie de ecuaciones.



Número de barras.

$$n = \frac{Q}{bHVr} K - 1$$

$$Br = (n + 1)b + ns$$

$$br = \frac{Br}{2}$$

Br= ancho canal de rejillas=br

B=ancho canal de entrada.

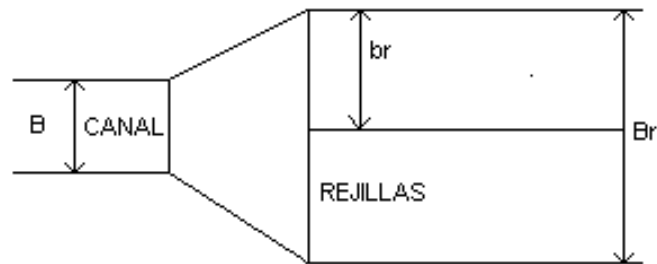


Figura 22. Esquema del diseño de rejillas.

Longitudes.

$$l_1 = \frac{Br - B}{2 \tan \alpha}$$

$$l_2 = \frac{l_1}{2}$$

$$l_3 = \frac{H - h}{\tan \alpha}$$

$l_4$  y  $l_5$  son considerando los siguientes rangos.

$l_4$  [0.8-1.0 m]

$l_5$  [1.0-1.2 m]

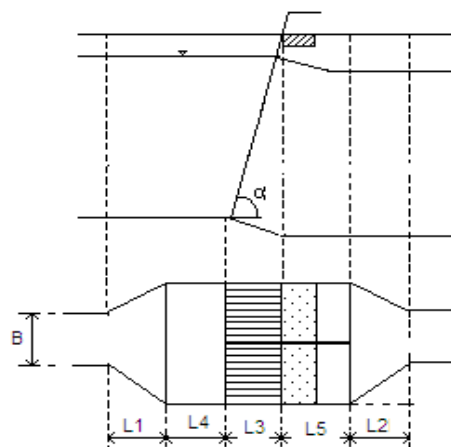


Figura 23. Diseño de las longitudes en las rejillas.

Pérdidas hidráulicas.

Velocidad antes de la rejilla.

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \longrightarrow \quad V_2 = \frac{V_1 A_1}{A_2}$$

$V_1$ = velocidad.

H= tirante.

B= ancho canal de entrada.

$B_r$ = ancho canal de rejillas.

$$\xi = \beta \left( \frac{S}{b} \right)^{4/3} \text{sen } \alpha$$

S= ancho de la barra.

b= separación entre barras.

$$\Delta H = \xi \frac{V^2}{2g} K$$

$V^2$ =velocidad.

K= efecto del material retenido.

g= gravedad.

Material retenido en la rejilla.

$$Mr = \frac{180}{b^{1.15}}$$

$$V_{material} = \frac{Mr N}{365(1000)}$$

N= número de habitantes.

$$G = (V_{mat})(\gamma_{mat})$$

G= material retenido en la rejilla.

Vmat= Volumen de la materia.

### 2.2.1.3. Desarenador.

El diseño del desarenador de flujo horizontal se basa en el concepto del tanque de sedimentación ideal. Para esto se deben de tomar en cuenta las siguientes tablas.

Tabla 15. Datos típicos de diseño para desarenadores de flujo horizontal.

CONCEPTO	VALOR	
	RANGO	TÍPICO
Tiempo de retención, s	45-90	60
Velocidad horizontal, m/s	0.25-0.40	0.30
Velocidades de sedimentación:		
Material retenido en la malla 65 (0.21 mm), m/min	1.0-1.3	1.15
Material retenido en la malla 100, m/min	0.6 – 0.9	0.75
Pérdida de carga en la sección de control como porcentaje de la profundidad del canal,%	30-40	36
Estimación de la longitud adicional por el efecto de turbulencia en la entrada y en la salida.	2 Dm	0.5L

Dm = Profundidad máxima del desarenador

L = longitud teórica del desarenador

Fuente: UNACH (2013).

$$U = \frac{U_o}{K}$$

Donde:

U= Velocidad real.

U<sub>o</sub>= Velocidad de la partícula (mm/s)

K= Constante en desarenadores de acuerdo al diámetro de partícula.

Tabla 16. Valores de K en desarenadores de acuerdo al diámetro de partícula.

d (diámetro)	U <sub>o</sub> mm/s	k			
		Desarenadores horizontales	Desarenadores aireados		
			B:H=1.0	B:H=1.25	B:H=1.5
0.15	13.2	-----	2.62	2.50	2.39
0.20	18.7	1.67	2.43	2.25	2.08
0.25	24.2	1.27	2.22	2.02	1.72
0.30	29.7	1.16	2.00	1.66	1.24
0.35	35.1	1.11	1.78	1.26	-----
0.40	40.7	1.08	1.48	-----	-----
0.50	51.6	1.05	-----	-----	-----

Fuente: UNACH (2013).

### Tiempo de retención.

$$T = \frac{h_1}{U}$$

Donde:

T= tiempo de retención (segundos)

$h_1$ = altura máxima del canal de llegada (m).

U= Velocidad real de la partícula dentro del desarenador (m/s).

### Longitud del desarenador.

$$L = \frac{V h_1}{U}$$

### Área transversal.

$$A_{TRANS} = \frac{Q}{V}$$

Donde:

Q= Caudal máximo de diseño.

### Área superficial.

$$A_{SUP} = \frac{Q}{U}$$

### Ancho del desarenador.

$$B = \frac{A_{SUP}}{L}$$

Si se consideran dos canales entonces:

$$b = \frac{B}{2}$$

**Cantidad de arena.**

$$Q_{arena} = (No. equiv)(cant. Unit)$$

Donde:

Qarena= Cantidad de arena.

No. Equivalente= No. Habitantes.

Cant. Unit.= Cantidad unitaria de arena retenida = 0.02 l/hab/día.

**Altura.**

$$h_2 = \frac{(Q_{arena})(T)}{L b n}$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

$h_3$ = Bordo libre, por diseño=0.3 m

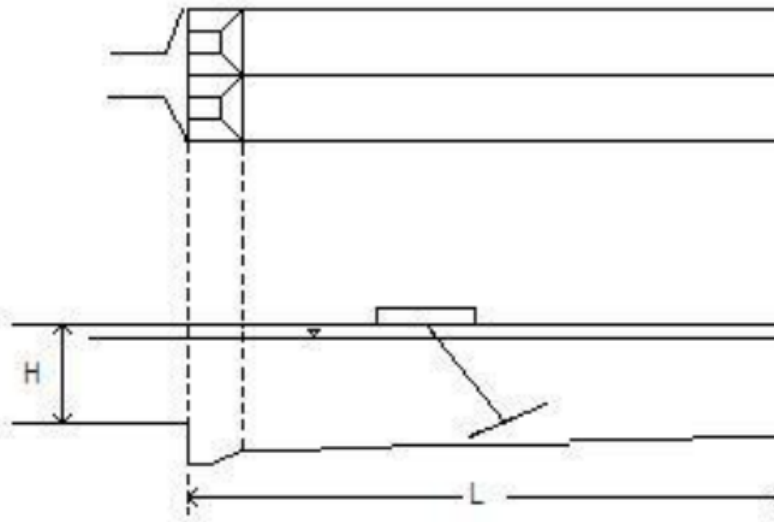


Figura 24. Diseño del desarenador horizontal.

**Volumen de la tolva.**

$$V_{tolva} = (Q_{arena})(Tr_{tolva})$$

Tr tolva= Tiempo de retención en la tolva.

#### 2.2.1.4. Canal Parshall (control de la velocidad en el desarenador).

El canal Parshall es una unidad medidora de flujo que consiste en un canal provisto de una sección de flujo restringido. Entre sus múltiples ventajas destacan las dos siguientes: (1) la pérdida de carga en el medidor es muy baja en comparación con otros sistemas de medición de flujo, como los vertedores y (2) las altas velocidades que se alcanzan en la garganta del canal evitan la deposición de sólidos. Una desventaja del Parshall es la de ser una estructura que requiere de más terreno y mayor inversión en comparación con otras estructuras de medición, como son los vertedores.

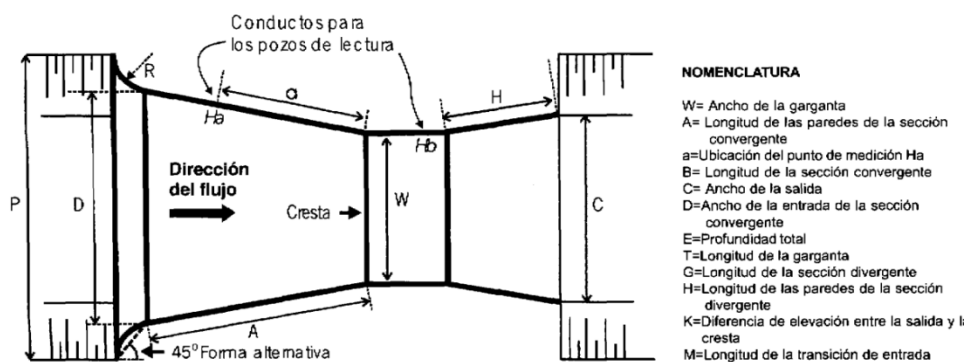
Para el diseño del canal se necesita saber los caudales mínimos y máximos en litros por segundo (lps).

Nota: en caso de no obtener en tablas el caudal máximo, se toma el caudal máximo superior a este.

Tabla 17. Gastos mínimos y máximos recomendados para canales Parshall.

GASTOS MINIMO Y MAXIMO RECOMENDADOS PARA CANALES PARSHALL				
Ancho de garganta W(m)	Carga H (m)	Gasto mínimo (lt/seg)	Carga H (m)	Gasto máximo (lt/seg)
0.0254 (1")	0.02	0.13	0.18	4
0.0508 (2")	0.02	0.31	0.18	9
0.0762 (3")	0.03	0.79	0.46	52
0.1524 (6")	0.03	1.53	0.46	111
0.2286 (9")	0.03	2.58	0.61	251
0.3048 (1')	0.03	3.42	0.76	456
0.4572 (1.5')	0.03	4.91	0.76	697
0.6096 (2')	0.05	11.9	0.76	938
0.9144 (3')	0.05	17.4	0.76	1428
1.219 (4')	0.06	35.8	0.76	1924
1.524 (5')	0.06	43.8	0.76	2423
1.829 (6')	0.08	75	0.76	2932
2.438 (8')	0.08	98	0.76	3948
3.048 (10')	0.09	163	1.07	8282
3.658 (12')	0.10	225	1.37	14680

A continuación se presentan los diseños y la tabla correspondiente para las dimensiones del canal Parshall.





N=Profundidad de la cubeta  
P=Ancho de la entrada de la transición  
R=Radio de curvatura  
X=Abscisa del punto de medición Hb  
Y=Ordenada del punto de medición

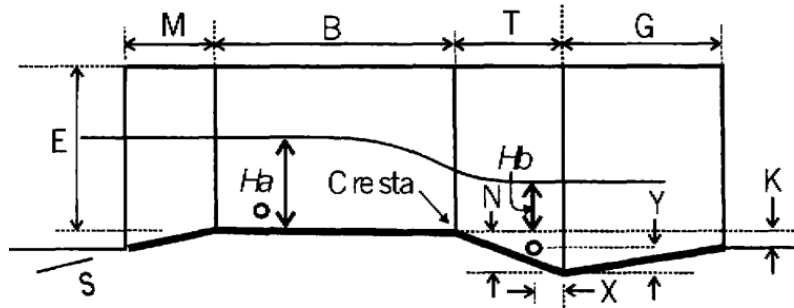


Figura 25. Diseño para canal Parshall. Planta y corte.

Tabla 18. Dimensiones de canales Parshall.

Dimensiones de Canales Parshall (mm)

W	A	2/3 A	B	C	D	E	T	G	H	K	M	N	P	R	X	Y
25.4 (1")	362.7	241.8	355.6	92.9	167.5	152.4 α 228.6	76.2	203.2	206.4	19.0	*	28.6	*	*	7.9	12.7
50.8 (2")	414.3	276.2	406.4	134.9	213.5	152.4 α 254.0	114.3	254.0	257.2	22.2	*	42.9	*	*	15.9	25.4
76.2 (3")	466.7	311.1	457.2	177.8	258.8	304.8 α 457.2	152.4	304.8	308.8	25.4	*	57.2	*	*	25.4	38.1
152.4 (6")	620.7	413.8	609.6	393.7	396.9	609.6	304.8	609.6	*	76.2	304.8	114.3	901.7	406.4	50.8	76.2
228.6 (9")	879.5	586.3	863.6	381.0	574.7	762.0	304.8	762.0	*	76.2	304.8	114.3	1079.5	406.4	50.8	76.2
304.8 (1')	1371.6	914.4	1343.0	609.6	844.5	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	1492.2	508.0	50.8	76.2
457.2 (1' 6")	1447.8	965.2	1419.2	762.0	1025.5	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	1676.4	508.0	50.8	76.2
609.6 (2')	1524.0	1016.0	1495.4	914.4	1206.5	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	1854.2	508.0	50.8	76.2
914.4 (3')	1676.4	1117.6	1644.6	1219.2	1571.6	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	2222.5	508.0	50.8	76.2
1219.2 (4')	1828.8	1219.2	1793.9	1524.0	1936.7	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	2711.4	609.6	50.8	76.2
1524.0 (5')	1981.2	1320.8	1943.1	1828.8	2301.9	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	3079.7	609.6	50.8	76.2
1828.8 (6')	2133.6	1422.4	2092.3	2133.6	2667.0	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	3441.7	609.6	50.8	76.2
2133.6 (7')	2286.0	1524.0	2241.5	2438.4	3032.1	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	3810.0	609.6	50.8	76.2
2438.4 (8')	2438.4	1625.6	2390.8	2743.2	3397.2	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	4171.9	609.6	50.8	76.2
3048.0 (10')	*	1828.8	4267.8	3657.6	4756.1	1219.2	914.4	1828.8	*	152.4	*	342.9	*	*	304.8	228.6
3657.6 (12')	*	2032.0	4876.8	4470.4	5607.1	1524.0	914.4	2438.4	*	152.4	*	342.9	*	*	304.8	228.6
4572.0 (15')	*	2336.8	7620.0	5588.0	7620.0	1828.8	1219.2	3048.0	*	228.6	*	457.2	*	*	304.8	228.6
6096.0 (20')	*	2844.8	7620.0	7315.2	9144.0	2133.6	1828.8	3657.6	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
7620.0 (25')	*	3352.8	7620.0	8940.8	10668.0	2133.6	1828.8	3962.4	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
9144.0 (30')	*	3860.8	7924.8	10566.4	12312.6	2133.6	1828.8	4267.2	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
12192.0 (40')	*	4876.8	8229.6	13817.6	15481.3	2133.6	1828.8	4876.8	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
15240.0 (50')	*	5892.8	8229.6	17272.0	18529.3	2133.6	1828.8	6096.0	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6

2.2.2. Sedimentador de tres cámaras.

Volumen de sólidos diarios

$$VSD = Pp * As$$

Donde:

VSD = Volumen de sólidos diario kg/día

$P_p$  = Población de proyecto hab

$A_s$  = Aportación de sólidos Kg/hab/día

**Volumen de sólidos anuales.**

$$VSA = \frac{VSD * DA}{Ds}$$

Donde:

$VSA$  = Volumen de sólidos anuales en g/día o kg/día .

$DA$  = Días del año en días

$DS$  = Densidad de los sólidos en kg/m<sup>3</sup>

$VSD$  = Volumen de sólidos diarios en g/día o kg/día

**Volumen de sólidos totales**

$$VST = VSA * TRL$$

Donde:

$VSA$  = Volumen de sólidos anuales m<sup>3</sup>/año

$TRL$  = Tiempo de retiro de lodos en años

$VST$  = Volumen de sólidos totales m<sup>3</sup>

**Volumen total de la fosa séptica**

$$Qd = Qo * CR1$$

Donde:

$Qo$  = Gasto de operación m<sup>3</sup>

$CR1$  = Coeficiente de contribución %

$Qd$  = Gasto de diseño m<sup>3</sup>

$$VTFS = VST + Qd$$

Donde:

$VST$  = Volumen de sólidos totales m<sup>3</sup>

$Qd$  = Gasto de diseño m<sup>3</sup>

$VTFS$  = Volumen total fosa séptica m<sup>3</sup>

**Ancho de la fosa séptica.**

$$AFS = \sqrt{\frac{VTFS}{RFS * PFS}}$$

*RFS = Relación fosa séptica*

*PFS = Profundidad fosa séptica m*

*AFS = Ancho de la séptica m*

#### **Determinación del largo de la fosa séptica.**

$$LFS = \frac{VTFS}{AFS * PFS}$$

VTFS = Volumen total fosa séptica m

AFS = Ancho fosa séptica

PFS = Profundidad fosa séptica

LFS = Largo fosa séptica

#### **Determinación de la longitud de las cámaras 1 y 2.**

$$LC_{1+2} = LFS * CR_2$$

LFS = Largo fosa séptica m

CR1+2 = Coeficiente ambas cámaras %

LC1+2 = Largo cámara 1 y 2 m

#### **Determinación de la longitud de la cámara 3.**

$$LC_3 = LFSP * CR_3$$

LFSP = Largo fosa séptica m

CR3 = Coeficiente tercer cámara %

LC3 = Largo cámara 3 m

#### **Determinación del tiempo de retención hidráulico**

$$TRH = \frac{VTFS}{Qd}$$

VTFS = Volumen total fosa séptica, m<sup>3</sup>

Qd =Gasto de diseño m<sup>3</sup>/día

TRH = Tiempo de retención, horas o días.

### 2.2.3. Sedimentador primario circular.

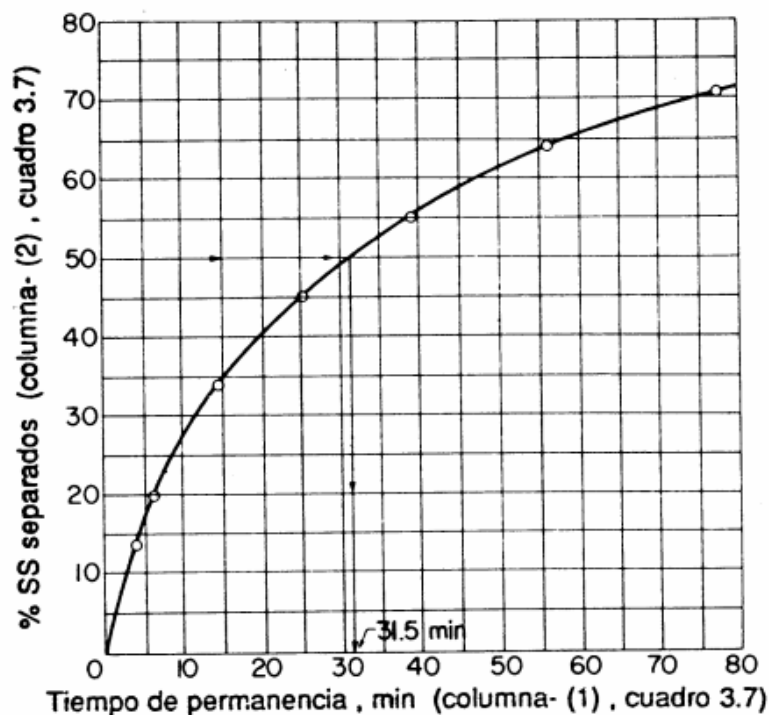
Debido a que no se tienen pruebas de tratabilidad se puede realizar de la siguiente forma.

A partir de la siguiente tabla se puede obtener un gráfico de % de SS separados en función del tiempo de retención (Ramalho, 1996).

Tabla 19. SS separados, en % en función del tiempo de retención o residencia.

SS separados, en % en función del tiempo de retención o residencia.	
(1)	(2)
T (min)	% SS separados
3.7	13.4
6.5	20.1
14.5	33.9
25	45.2
39	55
56.5	64.3
77.5	71.1

Grafico 2. Tiempo de permanencia con respecto a SS separados.

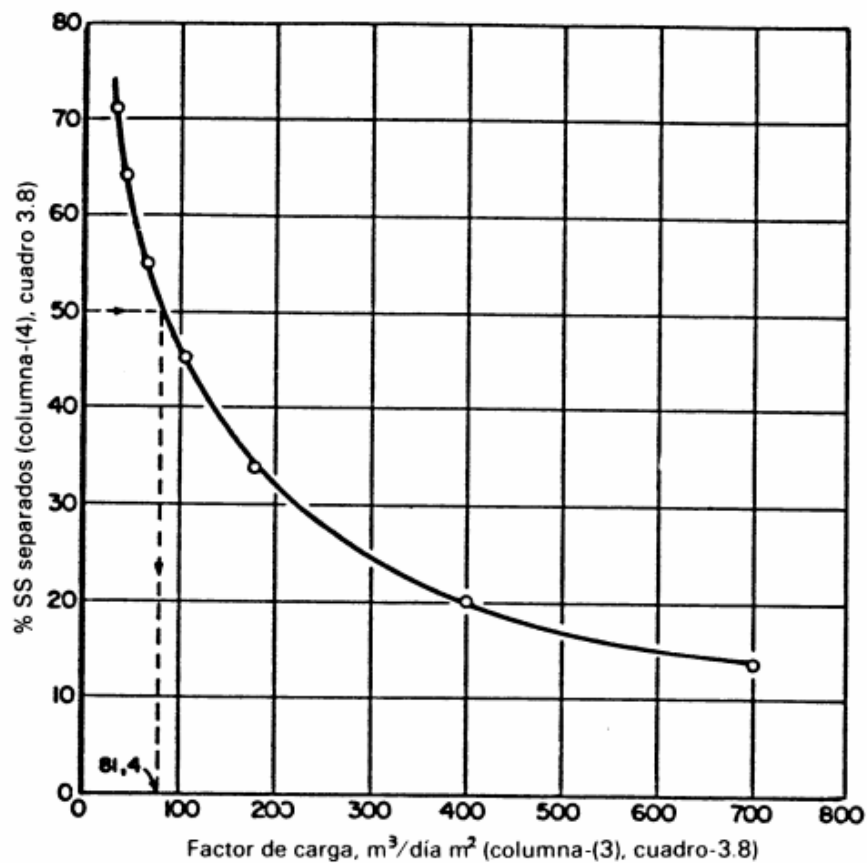


Separación de sólidos en suspensión (% SS), en función del tiempo de retención o permanencia.

Con los siguientes datos, se puede realizar el gráfico del % de SS separados en función de la carga superficial.

(1) t (min)	(2) Velocidad de sedimentación, V'' (m/h)	(3) Factor de carga (m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> .d) VsX24	(4) % SS separados
3.7	29.2	700.8	13.4
6.5	16.6	398.4	20.1
14.5	7.45	178.8	33.9
25	4.32	103.7	45.2
39	2.77	66.5	55
56.5	1.91	45.8	64.3
77.5	1.39	33.4	71.1

Grafico 3. % de SS separados en función de la carga superficial.



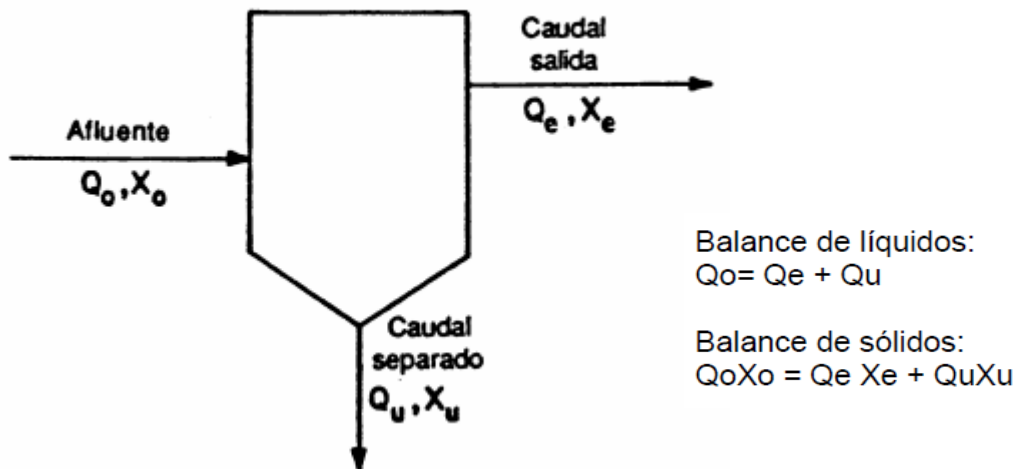


Figura 26. Diagrama de flujo de balance de líquidos y balance de sólidos del sedimentador circular.

Diámetro y la profundidad efectiva para la separación del 50% de los sólidos suspendidos.

$$Q_e = \frac{Q_0(X_u - X_0)}{X_u - X_e}$$

$$Q_u = Q_0 - Q_e$$

Donde:

$Q_0 = m^3/d$  del afluente

$X_0 = mg/l$  de sólidos en suspensión en el efluente

$Q_e = m^3/d$  del efluente (rebosadero del clarificador)

$X_e = mg/l$  de sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado

$Q_u = m^3/d$  del caudal que sale del clarificador

$X_u = mg/l$  de sólidos en suspensión del caudal separado

$$A = \frac{Q_e}{\text{Factor de Carga}}$$

Donde:

$A = \text{Área del sedimentador } m.$



$$D = \left( \frac{4A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$D$  = diametro del sedimentador  $m$

$$H = \frac{V}{A} = \frac{Q_0 t}{A}$$

Donde

$H$  = Profundidad efectiva  $m$

#### 2.2.4. Tanque imhoff.

**Área del sedimentador.**

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s}$$

Donde:

$A_s$  = Área del sedimentador  $m^2$

$Q_p$  = Gasto de diseño  $m^3/día$

$C_s$  = Carga superficial  $m^3/hora.m^2$

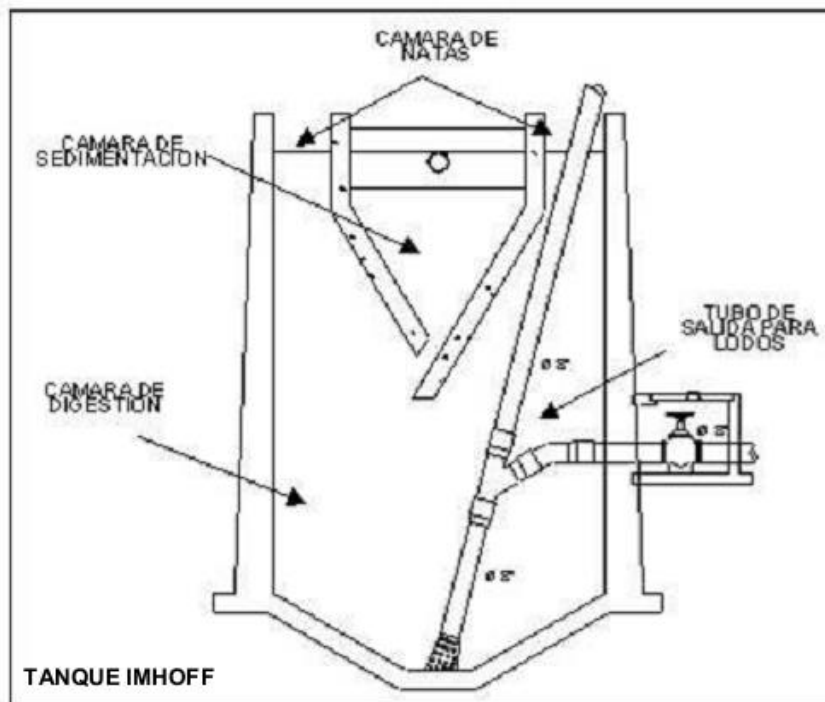


Figura 27. Tanque imhoff típico de forma rectangular.

**Volumen del sedimentador.**

$$Vs = Qp * R$$

Donde:

$Vs = \text{Volumen del sedimentador, m}^3$

$R = \text{perido de retención hidráulica, entre 1.5 a 2.5 horas (recomendable 2 horas).}$

- El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de 50° a 60°.
- En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.
- Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de tratamiento.

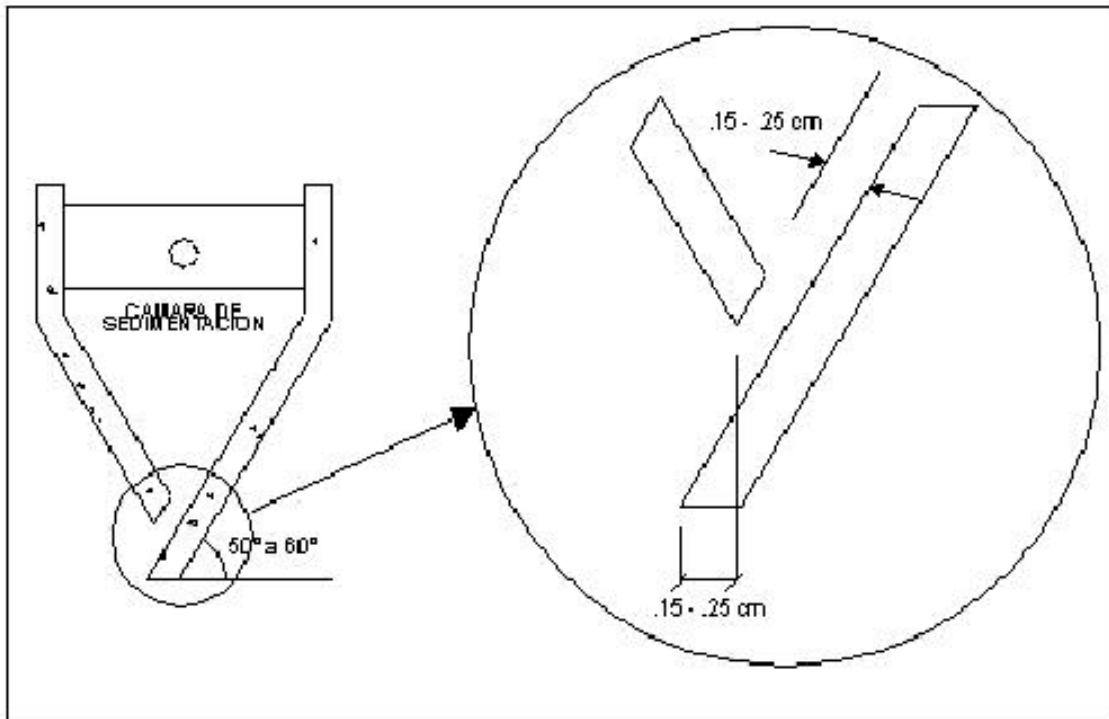


Figura 28. Diseño de la cámara de sedimentación del tanque Imhoff.

**Longitud mínima del vertedero de salida.**

$$Lv = \frac{Qmax}{Chv}$$

Donde:

$L_v =$  Longitud mínima del vertedero de salida, m

$Q_{max} =$  Caudal máximo diario de diseño,  $m^3$ /día

$Ch_v =$  Carga hidráulica sobre el vertedero, está entre 125 a 500  $m^3$ /m.día (recomendable 250)

### Diseño del digestor.

#### Volumen de almacenamiento y digestión.

Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tendrá en cuenta la siguiente tabla:

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (fcr)
5	2.0
10	1.4
15	1.0
20	0.7
>25	0.5

$$V_d = \frac{70 * P * fcr}{1000}$$

Donde:

$V_d =$  Volumen de almacenamiento y digestión,  $m^3$ .

$fcr =$  factor de capacidad relativa, ver tabla anterior.

$P =$  población, hab.

- El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), para facilitar el retiro de los lodos digeridos.
- Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.
- La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.

#### Tiempo requerido para digestión de lodos.

El tiempo requerido para la digestión de lodos varía con la temperatura, para esto se empleará la tabla siguiente.

Tabla 20. Tiempo para la digestión de lodos.

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

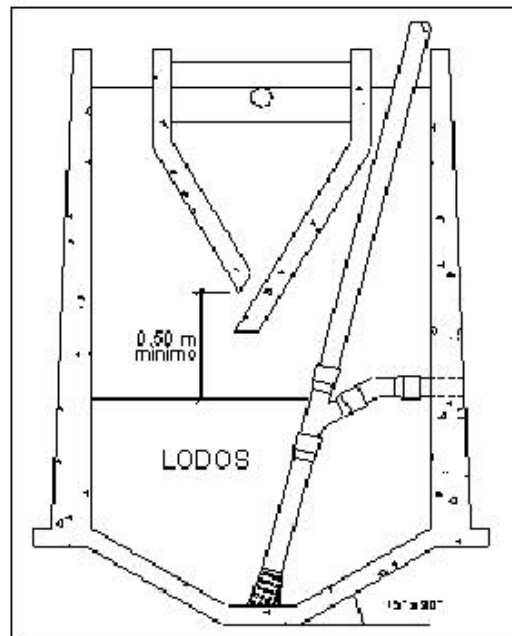


Figura 29. Esquema del sedimentador del tanque Imhoff.

#### Extracción de lodos.

- El diámetro mínimo de la tubería para la remoción de lodos será de 200 mm y deberá estar ubicado 15 cm por encima del fondo del tanque.
- Para la remoción se requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m.

#### Área de ventilación y cámara de natas.

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador (zona de espuma o natas) se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El espaciamiento libre será de 1,0 m como mínimo.
- La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.
- El borde libre será como mínimo de 0,30 cm.

#### 2.2.5. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

##### Volumen requerido para la cámara de digestión anaerobia.

$$V = Tr(Qm)$$

Donde:

$V =$  Volumen de la cámara de digestión ( $m^3$ )

$Tr =$  Tiempo de retención (hr)

$Qm =$  Caudal de aguas crudas ( $m^3/hr$ )

**Determinación del área requerida para la cámara de digestión anaerobia.**

$$A = \frac{Qm}{Vasc}$$

Donde:

$A =$  Área de la cámara de digestión  $m^2$

$Vasc =$  Velocidad ascensional ( $m/hr$ )

**Determinación de la altura de lodos.**

$$H = \frac{V}{A}$$

Done:

$H =$  altura de lodos ( $m$ )

**Determinación del área superficial para la cámara de sedimentación.**

$$Asup = \frac{Qm}{C.S}$$

Donde:

$Asup =$  Área superficial ( $m^2$ )

$C.S. =$  Carga Superficial ( $m^3/m^2.dia$ )

**Determinación del volumen de la cámara de sedimentación:**

$$V = Qm(Tr)$$

**Determinación de la altura de la cámara de sedimentación.**

$$H = \frac{V}{A}$$

**Determinación del número de orificios de alimentación de aguas crudas hacia la cámara de digestión:**

$$\text{No de orificios} = \frac{A}{a}$$

Donde:

$A$  = Área superficial del reactor ( $m^2$ )

$a$  = Área de influencia por orificio ( $m^2$ )

**Generación de gas:**

$$\text{Carga Total} = Q_{\max}(\text{DBO}) \left( \frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} \right) \left( \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ día}} \right)$$

Donde:

$\text{Carga Total} = \text{Carga Total en KgDBO/día}$

$Q_{\max} = \text{Caudal maximo l/seg}$

$\text{DBO} = \text{Demanda Biológica de oxígeno mg/l}$

Considerando 200 l de gas/kg DBO.

$$\text{Generación de gas} = \frac{200 \text{ l de gas}}{1 \text{ kg DBO}} (\text{Carga Total})$$

2.2.6. Filtro percolador.

Eficiencia de remoción

$$E = \frac{(S_o - E_e)(100)}{S_o}$$

**Tabla 21. Coeficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento.**

**Coeficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento**

Proceso	Valor de $\theta$	
	Intervalo	Valor típico
Fangos activados	1,00-1,08	1,04
Lagunas aireadas	1,04-1,10	1,08
Filtros percoladores	1,02-1,08	1,035

$$Kt = K_{20}\theta^{(T-20)}$$

Para determinar la carga hidráulica superficial, se toma de la siguiente tabla.

**Tabla 22. Características de filtros biológicos.**

Parámetro	Tasa Baja	Tasa Media	Tasa Alta	Tasa muy alta	Desbaste
Medio de empaque	Roca	Roca	Roca o Sintético	Sintético	Sintético
Carga hidráulica (l/seg.m <sup>2</sup> )	0.01 a 0.04	0.04 a 0.11	0.11 a 0.42	0.16 a 1	0.7 a 2
Carga orgánica (kg/d.m <sup>3</sup> )	0.08 a 0.40	0.24 a 0.48	0.4 a 4.8	Hasta 4.8	Más de 1.6
Recirculación	Mínima	Generalmente	Siempre	Generalmente	Generalmente no
Moscas	Si	Variable	Variable	Pocas	Pocas
Descarga de lodos	Intermitente	Variable	Continua	Continua	Continua
Profundidad (m)	1.8 a 2.4	1.8 a 2.4	Roca 0.9 a 2.4 Sint. Hasta 9	Hasta 12	0.9 a 6
Remoción de DBO en %	80 a 85	50 a 70	65 a 80	65 a 85	40 a 65

Fuente: UNACH (2013).

Y de igual modo para determinar el área específica del filtro percolador se toma de referencia la siguiente tabla.

**Tabla 23. Características de los diferentes medios de empaque para filtros percoladores.**

**Características de los diferentes medios**

Medio de empaque	Tamaño		Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Área específica		Vacíos %
	mm	pulg.		m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	pie <sup>2</sup> /pie <sup>3</sup>	
Roca:						
Pequeña	25 - 65	1 - 21/2	1250 - 1450	55 - 70	17 - 21	40 - 50
Mediana	100 - 120	4 - 5	800 - 1000	40 - 50	12 - 15	50 - 60
Plástico:						
Convencional			30 - 100	80 - 100	24 - 30	94 - 97
Alta Densidad			30 - 100	100 - 120	30 - 70	94 - 97

Fuente: UNACH (2013).



Si se requiere de recirculación se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$R = 0.004 (S_o) - 0.6$$

So (mg/l)	150	200	300	400	500	600
R(%)	0	20	60	100	140	180

Altura del filtro (D)

$$D = \frac{-\ln(S_e + S_e R) / (S_o + S_e R) q r^{0.5}}{K t (A_s)}$$

Donde:

$A_s$  = Área específica ( $A_s$ )

$q$  = Carga hidráulica superficial

Para este caso, no hay recirculación por lo que la ecuación anterior se reduce a:

$R=0$

$$D = \frac{-\ln \left( \frac{S_e}{S_o} \right) q^{0.5}}{K t (A_s)}$$

Área superficial

$$A = \frac{Q}{q_o}$$

Diámetro del filtro.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

### 2.2.7. Lodos activados.

Determinación del volumen del reactor (V)

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_o - S)}{X(1 + K_d \theta_c)}$$

Donde:

V=Volumen del reactor, m<sup>3</sup>

S<sub>o</sub>= Substrato soluble y biodegradable en el influente (DBO<sub>5</sub> soluble), mg/l

S= Substrato soluble en el efluente (DBO<sub>5</sub> soluble), mg/l

θ<sub>c</sub>=Tiempo de retención celular, d

Q= Caudal del influente, m<sup>3</sup>/d

Y= Coeficiente de crecimiento, producción de células, kg SSV/kg DBO<sub>5</sub> removida

K<sub>d</sub>= Coeficiente de decaimiento endógeno, d<sup>-1</sup>

X= Concentración de células (SSV) en el reactor, mg/l

**Determinación de la S (DBO<sub>5</sub> soluble en el efluente) y la eficiencia del tratamiento biológico.**

Asumiendo que 80% de los SST efluente son orgánicos (volátiles).

$$SSV_{ef} = 0.8 (SST_{ef})$$

Considerando que 65% de los biosólidos son biodegradables.

$$SSV_{ef. bio.} = 0.65(SSV_{ef})$$

Si 1.42 mg O<sub>2</sub> son consumidos por 1 mg de células oxidadas. La DBO última de los sólidos biodegradables en el efluente será:

$$DBO_U SSe_{f} = 1.42 (SSV_{ef. bio.})$$

Si la DBO<sub>5</sub> es de 0.45 a 0.68 de DBO<sub>U</sub>. Entonces, asumiendo 0.68.

$$DBO_5 SSe_{f} = 0.68 (DBO_U SSe_{f})$$

La DBO<sub>5</sub> soluble en el efluente del sistema de lodos activados:

$$S = DBO_{5sol. ef.} = DBO_5 SSe_{f}$$

Eficiencia de tratamiento biológico.

$$E = \frac{(S_o - S)100}{S_o}$$

$\Theta_c$  es el parámetro que relaciona el tiempo de residencia con la cinética y estequiometría del proceso (climas fríos: valores de  $\Theta_c$  altos y climas calientes: Valores de  $\Theta_c$  bajos).

La selección de X depende de la transferencia de oxígeno y las características del mezclado que provee el sistema de aeración, así como de la temperatura y de la carga de sólidos aceptables para los sedimentadores secundarios.

Para el sistema convencional de lodos activados X se recomienda en el rango de 1500-3000 mg/l

Los coeficientes cinéticos Y y Kd se determinan mediante la realización de pruebas de tratabilidad de biodegradación aerobia.

Tabla 24. Parámetros de diseño para los procesos de lodos activados.

Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados

Modificación de proceso	$\theta_c$ , d	F/M kg DOB <sub>5</sub> aplicada/ kg SSVLM · d	Carga volumétrica, kg de DOB <sub>5</sub> aplicada/ m <sup>3</sup> · d	SSLM, mg/l	V/Q, h	Q <sub>r</sub> /Q
Convencional	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1.500-3.000	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5-15	0,2-0,6	0,80-1,92	2.500-4.000	3-5	0,25-1,0
Alimentación escalonada	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2.000-3.500	3-5	0,25-0,75
Aireación modificada	0,2-0,5	1,5-5,0	1,20-2,40	200-1.000	1,5-3	0,05-0,25
Contacto y estabilización	5-15	0,2-0,6	0,96-1,20	(1.000-3.000) <sup>a</sup> (4.000-10.000) <sup>b</sup>	(0,5-1,0) <sup>a</sup> (3-6) <sup>b</sup>	0,5-1,50
Aireación prolongada	20-30	0,05-0,15	0,16-0,40	3.000-6.000	18-36	0,5-1,50
Aireación de alta carga	5-10	0,4-1,5	1,60-1,60	4.000-10.000	2-4	1,0-5,0
Proceso Kraus	5-15	0,3-0,8	0,64-1,60	2.000-3.000	4-8	0,5-1,0
Oxígeno puro	3-10	0,25-1,0	1,60-3,20	2.000-5.000	1-3	0,25-0,5
Canal de oxidación	10-30	0,05-0,30	0,08-0,48	3.000-6.000	8-36	0,75-1,50
Reactor de flujo discontinuo secuencial	NA	0,05-0,30	0,08-0,24	1.500-5.000 <sup>d</sup>	12-50	NA
Reactor Deep Shaft	SI	0,5-5,0	SI	SI	0,5-5	SI
Nitrificación de etapa única	8-20	0,10-0,25 (0,02-0,15) <sup>c</sup>	0,08-0,32	2.000-3.500	6-15	0,50-1,50
Nitrificación en etapas separadas	15-100	(0,04-0,15) <sup>c</sup>	0,05-0,14	2.000-3.500	3-6	0,50-2,00

<sup>a</sup> Unidad de contacto

<sup>b</sup> Unidad de estabilización de sólidos

<sup>c</sup> NKT/SSVLM.

<sup>d</sup> Los SSLM varían en función de la fase del ciclo operativo.

NA = No aplicable.

SI = Sin información.

Kd debe ser corregido por temperatura.

$$Kt = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

Coeficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento

Proceso	Valor de $\theta$	
	Intervalo	Valor típico
Fangos activados	1,00-1,08	1,04
Lagunas aireadas	1,04-1,10	1,08
Filtros percoladores	1,02-1,08	1,035

Determinación de la masa de lodo residual generada por día.

$$Y_{observada} = \frac{Y}{1 + Kd \theta c}$$

$$P = \frac{Y_{observada} Q (S_o - S)}{1000}$$

Aumento diario de los sólidos suspendidos del licor mezclado (Pss)

$$P(SS) = \frac{P}{SSVLM/SSLM}$$

Masa diaria de lodo residual (M.l.r)

$$Ml.r = P(SS) - \frac{Q SSTe}{1000}$$

Caudal de lodo residual (Q l r.)

$$Ql r. = \frac{Ml.r}{SST l sed}$$

Determinación del caudal y porcentaje de recirculación:

$$Ml.r = \frac{X Q}{SST l sed - X}$$

Determinación del tiempo de retención hidráulico ( $\theta$ ).

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Determinación de la carga orgánica volumétrica (COV)

$$COV = \frac{S_o Q}{V}$$

Determinación del requerimiento de oxígeno:

$$Masa de DBO_{última} = \frac{Q(S_o - S)}{0.68}$$

$$DBO_{\text{última de nuevas células}} = 1.42 P$$

Requerimiento real de oxígeno

$$Kg O_2/d = Masa de DBO_{\text{última}} - DBO_{\text{última de nuevass células}}$$

Determinación de la cantidad de aire requerido:

Se asume que 23.2% O<sub>2</sub> en peso de yaire=1.2 Kg/m<sup>3</sup>.

$$Q_{\text{aire teórico}} = \frac{Kg O_2/d}{0.232 \gamma \text{ aire}}$$

Eficiencia de transferencia de oxígeno 7%

$$Q_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{aire teórico}}}{0.07}$$

### 2.2.8. Humedal artificial.

Este es un modelo de flujo pistón de primer orden para la remoción de varios contaminantes. Las constantes de velocidad desarrolladas en Treatment Wetlands son extraídas de una base de datos que cubre diferentes localizaciones geográficas.

Se obtiene una expresión para el área requerida para un contaminante particular.

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 3.5 + 0.053 C_o$$

Dónde:

C<sub>e</sub>: concentración del efluente deseada, mg/L

C<sub>o</sub>: concentración del afluente, mg/L

C<sup>\*</sup>: concentración de fondos, mg/L

A: área requerida, m<sup>2</sup>

Q: caudal del agua, m<sup>3</sup>/d

K<sub>AT</sub>: constante superficial de velocidad de reacción de primer orden, d<sup>-1</sup>

Tabla 25. Parámetros de diseño.

Parámetro	$K_A, 20, \text{ m/yr}$	$\Theta$	$C^*, \text{ mg/L}$
DBO	34	1	$3.5+0.053 C_i$
SST	1000	1	$5.1+0.16 C_i$
Nitrógeno orgánico	17	1.05	1.5
Nitrógeno amoniacal	18	1.04	0
Nitrógeno NOx	358	1.09	0
Nitrógeno total	22	1.05	1.5
Fósforo total	12	1	0.02
Coliformes totales	75	1	300 cfu/100 mL

Fuente: WALLACW Scott D

Para remoción de sólidos suspendidos totales.

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 5.1 + 0.16 C_o$$

Para remoción de nitrógeno total

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 1.5$$

Para remoción de Fosforo total

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 0$$

Para remoción de Coliformes totales

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 10$$

2.2.9. Tanque de contacto de cloro.

$$Cl_2 = Dclmed (Qmed)$$

*Dclmed* = Dosis media de cloro mg/l

*Qmed* = caudal media m<sup>3</sup>/día

**Dimensiones del tanque:**

$$A_{transv} = \frac{Q}{V}$$

$$B = \frac{A_{transv}}{H}$$

*A<sub>transv</sub>* = Área transversal en m<sup>2</sup>

*B* = Ancho de cada canal en m

*H* = Profundidad en m

**Determinación de la longitud requerida:**

$$L = V(t)$$

*V* = Velocidad en m/min

*t* = Tiempo de retención en min



## 2.3. NORMATIVIDAD.

### TIPOS DE MUESTREO.

Son varios los criterios que se toman en cuenta para optar por un tipo de muestreo. Existen tres tipos básicos:

1. Muestra simple.
2. Muestra compuesta.
3. Muestra integrada.

Sin embargo, para los propósitos del presente proyecto, bastará desarrollar solo dos de ellos, la muestra simple y la compuesta.

Las muestras simples o puntuales, son las muestras que se toman en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativo de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición. Es adecuada para representar cuerpos de agua con una composición estable en el tiempo, y para cuando se quiera representar un pico máximo o mínimo de la composición o de un indicador de calidad de agua. Un caso típico, como forma de aclarar este último punto, es el muestreo de organismos patógenos en lagunas: la mayor actividad de microorganismos se registra a mediodía, por tanto, para representar correctamente el riesgo microbiológico de esas aguas, basta una muestra puntual en ese momento.

Las muestras compuestas resultan de la mezcla y homogeneización de muestras puntuales recogidas en un mismo punto a lo largo de un periodo de tiempo. Se utilizan para evaluar la calidad promedio de aguas cuya composición varía en el tiempo. Tienen el fin de representar el promedio de las variaciones de los contaminantes y, de esta forma, obtener su concentración promedio a lo largo de un turno, un ciclo de producción o un día. Una vez determinados el caudal de la descarga y las concentraciones de sustancias, se calcula la carga total de contaminantes, que es el resultado de multiplicar la concentración por el caudal. El efecto sobre el cuerpo receptor está más en función de la carga total que de la concentración.

Para el cumplimiento de la normatividad vigente en cuanto a los contaminantes presentes en el agua y lodo residual, se utiliza la siguiente legislación:

NOM-001-SEMARNAT-1996 - Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-004-SEMARNAT-2002 - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.

Conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son regulaciones técnicas de observancia obligatoria, en tanto que las Normas Mexicanas (NMX) son de aplicación voluntaria.

La norma técnica mexicana que se utilizará para realizar el muestreo en descargas de aguas residuales es la **NMX-AA-003-1980**. La norma técnica nos especifica cuando, como y donde es

necesario tomar una muestra, y la recomendación de su conservación para que los resultados de laboratorios sean confiables.

Para la cuantificación de los parámetros físico-químicos, químicos y biológicos se tomarán las normas técnicas mexicanas quienes nos indican como se llevara a cabo el análisis de cada contaminante, estas se observan en la siguiente tabla.

Tabla 26. Normas técnicas para el análisis de parámetros.

PARÁMETROS	NORMA UTILIZADA
Demanda química de oxígeno	NMX-AA-030-SCFI-2001
Demanda bioquímica de oxígeno	NMX-AA-028-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001
Fósforo total, como P	NMX-AA-029-SCFI-2001
Nitrógeno total, como N	NMX-AA-026-SCFI-2001
Coliformes fecales NMP	NMX-AA-102-1987
Huevos de helminto	NMX-AA-113-SCFI-1999
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000

Fuente: (CONAGUA, 2011)

Tabla 27. NOM-001-SEMARNAT-1996 (Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS						
PARÁMETROS	RÍOS					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura (°C). <sup>(1)</sup>	N.A.	N.A.	40	40	40	40
Grasas y Aceites (mg/l). <sup>(2)</sup>	15	25	15	25	15	25
Materia flotante. <sup>(3)</sup>	ausente	Ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/l).	1	2	1	2	1	2

Sólidos suspendidos totales (mg/l).	150	200	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l).	150	200	75	150	30	60
Nitrógeno Total (mg/l).	40	60	40	60	15	25
Fósforo Total (mg/l).	20	30	20	30	5	10
Potencial hidrógeno (pH).	El rango permisible es de 5 a 10 unidades.					
Coliformes fecales.	Es de 1,000 a 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml. para el promedio mensual y diario, respectivamente.					

Límites máximos de los parámetros a cumplir para el proyecto.

- (1) Instantáneo.
  - (2) Muestra simple promedio ponderado.
  - (3) Ausente, según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.
- P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual; N.A. = No es aplicable.

(A), (B), (C) = Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.

**Tabla 28. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros**

PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RÍOS					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20

Límites máximos de los parámetros a cumplir para el proyecto.

(\*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual.

(A), (B), (C) = Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos.

**NOM-004-SEMARNAT-2002** (Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final).

**Tabla 29. . Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.**

Contaminantes (Determinados en forma total)	Excelentes	Buenos
	mg/kg en base seca	mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

**Tabla 30. . Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos**

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 <sup>(a)</sup>
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2,000,000	Menor de 300	Menor de 35

(a). Huevos de helmintos viables.

**Tabla 31. Aprovechamiento de biosólidos.**

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.</li> <li>▪ Los establecidos para clase B y C.</li> </ul>
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación.</li> <li>▪ Los establecidos para clase C</li> </ul>
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos forestales.</li> <li>▪ Mejoramiento de suelos.</li> <li>▪ Usos agrícolas.</li> </ul>

Para efectos de la norma, los lodos y biosólidos se clasifican en excelentes o buenos en función de su concentración de metales pesados, y en clase A, B y C, en función de su contenido de organismos patógenos y parásitos.

Es importante mencionar que para el aprovechamiento de los lodos y biosólidos con fines agrícolas deberá cumplir con los indicadores para clase C, y además se sujetara a lo que se establece en la Ley Federal de Sanidad Vegetal.

Para la disposición final de los lodos y biosólidos deberá cumplir con los indicadores para clase C, y los sitios para su disposición será la que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.

Los lodos que cumplan con la normatividad pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. En el sitio que se almacene deberá estar habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo, y contar con un sistema de recolección de lixiviados. Por otro lado, se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos este clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en esta norma oficial mexicana.

# CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA.

#### 3.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN ACTUAL Y FUTURA.

Proyección de poblaciones.

Tabla 32. Proyección de poblaciones.

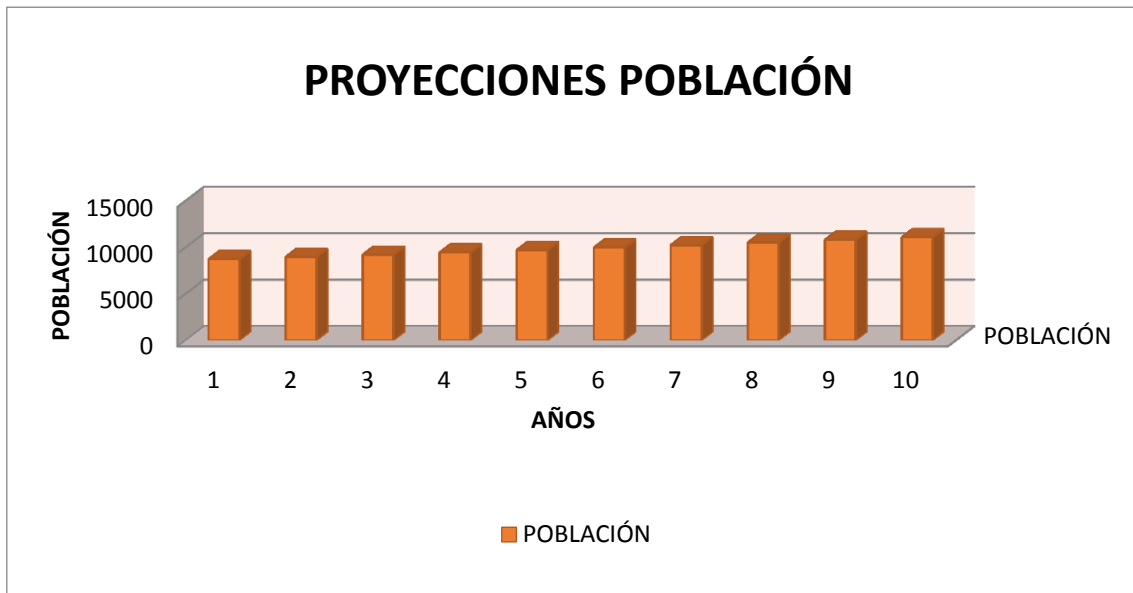
DATOS PROYECTO	
Localidad	TENANGO
Municipio	OCOSINGO
Estado	CHIAPAS
Población	8500
Tasa crecimiento	2.70
Clase socioeconómica	POPULAR
Aportación (%)	75

Tabla 33. Proyecciones de población futura (método interés compuesto).

AÑO	POBLACIÓN ACTUAL	TASA DE CRECIMIENTO	INCREMENTO DE POBLACIÓN	POBLACIÓN FINAL
1	8500	0.027	229.5	8730
2	8730	0.027	235.71	8966
3	8966	0.027	242.08	9208
4	9208	0.027	248.62	9457
5	9457	0.027	255.34	9712
6	9712	0.027	262.22	9974
7	9974	0.027	269.3	10243
8	10243	0.027	276.56	10520
9	10520	0.027	284.04	10804
<b>10</b>	<b>10804</b>	<b>0.027</b>	<b>291.71</b>	<b>11096</b>
11	11096	0.027	299.59	11396
12	11396	0.027	307.69	11704
13	11704	0.027	316.01	12020
14	12020	0.027	324.54	12345
15	12345	0.027	333.32	12678
16	12678	0.027	342.31	13020
17	13020	0.027	351.54	13372
18	13372	0.027	361.04	13733
19	13733	0.027	370.79	14104
20	14104	0.027	380.81	14485



Grafico 4. Incremento de la población.



### 3.2. GASTOS DE DISEÑO.

#### Gasto medio diario.

Corresponde al valor deducido del total del caudal de agua entregado en 24 horas.

$$Q_{med} = \frac{P (A_p)}{86400}$$

Donde:

$Q_{med}$  = gasto medio en l/seg

$P$  = Población en Hab

$A_p$  = Aportación de aguas residuales en l/hab/día

86400 = Número de segundos que tiene un día.

#### Gasto mínimo.

Es el menor de los valores que generalmente se presentará en la conducción. El criterio aceptado es considerar que el gasto mínimo en un flujo variable de aguas residuales es la mitad del gasto medio.

$$Q_{min} = \frac{Q_{med}}{2}$$

### **Gasto máximo instantáneo.**

Máximo valor que se puede presentar en un instante dado. Para obtener el gasto máximo instantáneo se requiere multiplicar el gasto medio por el coeficiente de Harmon.

Este coeficiente fue desarrollado en forma empírica por W.G. Harmon y trata de cubrir la variabilidad en las aportaciones por descargas domiciliarias durante el año y el día.

$$Q_{max\ inst} = M * Q_{med}$$

Donde:

$P$  = Población servida en miles de usuarios

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

$M = 2.17$  si  $P > 63\ 454$  Hab

$M = 3.8$  si  $P < 1000$  Hab

### **Gasto máximo extraordinario.**

Es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado. Se obtiene multiplicando el gasto máximo instantáneo por el coeficiente de previsión o seguridad.

$$Q_{max\ ext} = C_s * Q_{max\ inst}$$

En el caso de aportaciones normales el coeficiente  $C_s$  será de 1.0; para condiciones diferentes, éste  $C_s$  puede definirse mayor a 1 y como máximo 1.5.

### **3.3. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA.**

Las aguas residuales serán de origen doméstico, proveniente de las viviendas conectadas al dren público. Debido a que no se tiene la caracterización del agua residual, se tomará de referencias bibliográficas, la composición típica de las aguas crudas de origen doméstico. Para el diseño del tren de tratamiento se escoge el valor de la composición media de los contaminantes.

Tabla 34. Composición típica de las aguas crudas de origen doméstica.

Parámetro	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (mL/L)	20	10	5
DBO (a 20°C)	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	15	8	4
Fosfatos (como P):	5	3	1
Orgánico	10	5	3
Inorgánico	100	50	30
Clorados b	200	100	50
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	150	100	50
Grasas			

a Unidades en mg/l, excepto los sólidos sedimentables

b Valor que debe ser incrementado de acuerdo con la cantidad de suministro de agua.

La tabla anterior nos indica que los principales contaminantes en un agua de origen doméstico son la materia orgánica, DBO, Sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables. En concentraciones más bajas se encuentran los nutrientes pero éstos representan una gran importancia en la contaminación de cuerpos de agua, debido a que son los causantes de eutrofización en las aguas.

### 3.4. RESUMEN DE LOS DATOS BÁSICOS DE DISEÑO.

Tabla 35. resumen de los datos básicos de diseño.

Datos básicos de diseño	Valor	Unidad
Gasto medio diario.	0.013	m <sup>3</sup> /s
Gasto mínimo	0.006	m <sup>3</sup> /s
Gasto máximo instantáneo	0.036	m <sup>3</sup> /s

Datos básicos de diseño	Valor	Unidad
Gasto máximo extraordinario	0.055	m <sup>3</sup> /s
Población futura	11096	Habitantes
Dotación	130	Lt/habi/día
Aportación	97.5	Lt/habi/día

# CAPÍTULO IV

#### **4. MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.**

La selección de un tratamiento de aguas residuales, depende de criterios que sirven para realizar un análisis comparativo entre las diferentes alternativas, a fin de llegar a la elección de la más conveniente para una localidad, dependiendo de sus características particulares. Para ello debe estudiarse el afluente a ser depurado, el nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento, las características de terreno, factores ambientales, costos construcción, operación y mantenimiento

En las siguientes alternativas, se presentan cada una de ellas con un sistema de pretratamiento, el cual consiste en un canal de llegada, rejillas y desarenador.

##### **Canal de llegada.**

La función principal de esta estructura es romper la presión al final del emisario principal, en otras palabras tiene la finalidad de disipar la energía con la que llegan las aguas residuales por el emisario final y permite uniformizar la velocidad del efluente. Por la importancia que tiene se debe dar mantenimiento si es posible diariamente a fin de que trabaje cumpliendo su función.

Es preciso que un operador revise el cajón, y en caso de ser necesario limpiar los sólidos grandes con ayuda de un rastrillo, pala y carretilla para luego ser retirados al relleno sanitario municipal o enterrarlos.

##### **Compuertas.**

Se encuentran en las entradas a los desarenadores, ya que son necesarias para aislar el caudal y dar mantenimiento. Un operador debe revisar diariamente que no se produzcan fugas o infiltraciones en las paredes de las compuertas. En caso de haber falla por este motivo el operador debe comunicar al responsable de la planta, para que se tomen las medidas correctoras.

##### **Rejillas.**

El procedimiento más usual consiste en hacer pasar el agua a través de rejas metálicas paralelas e igualmente espaciadas. Su función consiste en la eliminación de los sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) que estén en suspensión o flotando, así como de finos. A medida que los sólidos se van acumulando en las rejas, éstas se van colmatando y el agua encuentra mayor dificultad para atravesarlas. Por tanto, es necesario eliminar los sólidos depositados por lo menos una vez al día.

##### **Desarenador.**

Los desarenadores eliminan arenas, partículas minerales u otras materias inorgánicas más pesadas que el agua, que tienden a sedimentarse. El desarenador propuesto es de flujo horizontal, formado

por dos canales rectangulares a fin de optimizar el funcionamiento de la planta no dejándola fuera de servicio. La limpieza manual se lleva a cabo mediante palas de mano y baldes, eliminando el material sedimentado que inclusive puede contener materia orgánica cuando se producen fluctuaciones de caudal.

#### 4.1. ALTERNATIVA UNO. TANQUE IMHOFF – FILTRO PERCOLADOR

##### 4.1.1. Descripción.

Esta alternativa contará con un tanque imhoff, como tratamiento primario, cuya finalidad será la remoción de sólidos suspendidos antes de que el agua residual ingrese al filtro percolador.

Los tanques imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

En cuanto al filtro percolador, que será el tratamiento secundario y biológico, este se compondrá con un medio plástico, esto para tener un mejor porcentaje de remoción de los contaminantes.

En los filtro percoladores el agua residual se hace percollar a través de elementos plásticos, en la superficie de los cuales se forma una película bacteriana que aprovecha la materia orgánica del influente, se acompaña de un sedimentador secundario, del que puede hacerse circular parte del gasto al filtro. Este sistema es fácil de operar y es posible atenuar, mediante la recirculación, los choques de carga orgánica influente.

Tren de tratamiento de alternativa uno.

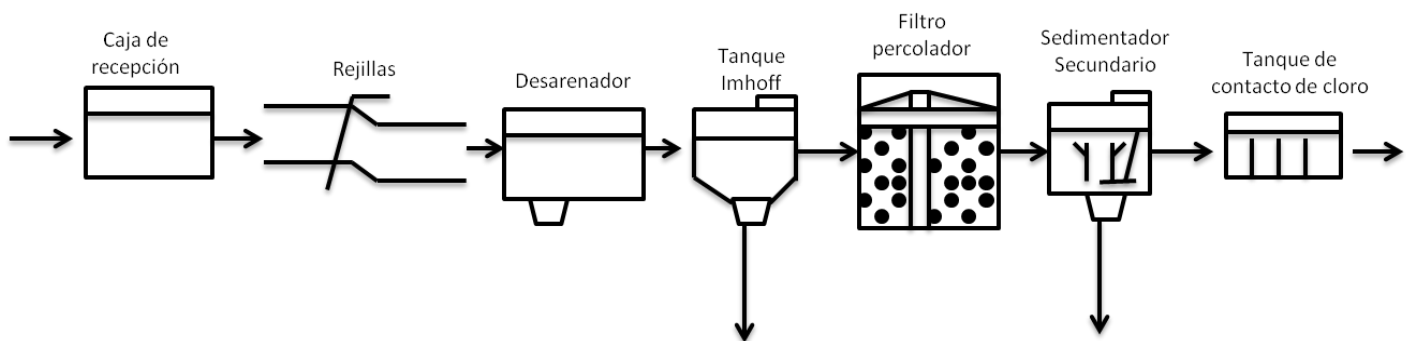


Figura 30. Tren de tratamiento de alternativa uno.



4.1.2. Dimensionamientos.

4.1.2.1. Tanque Imhoff.

Tabla 36. Dimensionamiento del tanque imhoff.

Concepto	Valor	Unidad
Área del sedimentador	45	m <sup>2</sup>
Volumen del sedimentador	90	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulica	2	horas
Pendiente de los lados respecto a la horizontal	55	°
Longitud mínima del vertedero de salida	19	m
Volumen del digestor	388	m <sup>3</sup>
Inclinación de las paredes laterales con respecto a la horizontal	20	°
Tiempo requerido para digestión de lodos	30	días
Carga hidráulica	1.8	m

4.1.2.2. Filtro percolador.

Tabla 37. Dimensionamiento del filtro percolador.

Concepto	Valor	Unidad
Eficiencia requerida para el tratamiento biológico	75.5	%
Carga hidráulica superficial	0.08	l/seg.m <sup>2</sup>
Área específica	55	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Altura del filtro	3	m
Área superficial	78	m <sup>2</sup>
Diámetro del filtro	10	m
Módulos	2	Filtros percoladores

Concepto	Valor	Unidad
<b>Sedimentador secundarios después del filtro percolador</b>		
Área	51.5	m
Profundidad de la zona de clarificación	1.75	m
Profundidad de la zona de separación	0.5	m
Profundidad de la zona de acumulación de lodos	0.1	m
Profundidad total del tanque de sedimentación	2.31	m
Diámetro del sedimentador secundario:	8.1	m
Volumen de la tolva	0.12	m <sup>3</sup>

#### 4.1.3. Calidad del efluente.

PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ALTERNATIVA UNO							
COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL (mg/l)		% DE REMOCIÓN TANQUE IMHOFF		% DE REMOCIÓN DE FILTRO PERCOLADOR		% DE REMOCIÓN DEL SEDIM. SECUNDARIO	
Contaminante	(mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)
DBO	220	35%	143	65%	50.05	30%	35.035
DQO	500	40%	300	65%	105	40%	63
SS	220	65%	77	65%	26.95	60%	10.78
NT	40	12%	35.2	10%	31.68	10%	28.51
P	8	12%	7.04	32%	4.79	10%	4.31

## 4.2. ALTERNATIVA DOS. SEDIMENTADOR DE 3 CAMARÁS – FILTRO PERCOLADOR.

### 4.2.1. Descripción.

La alternativa dos cuenta con un sedimentador de 3 cámaras, este como tratamiento primario, seguido con un filtro percolador, para el tratamiento biológico. Este primero consiste en primer lugar en una cámara de sedimentación que en algunos casos también cumple la función de trampa de grasas, de allí el agua pasa a una cámara con condiciones anaerobias donde se reduce la carga orgánica disuelta. La tercera cámara cumple las funciones de sedimentador secundario para clarificar el agua.

Tren de tratamiento de alternativa dos.

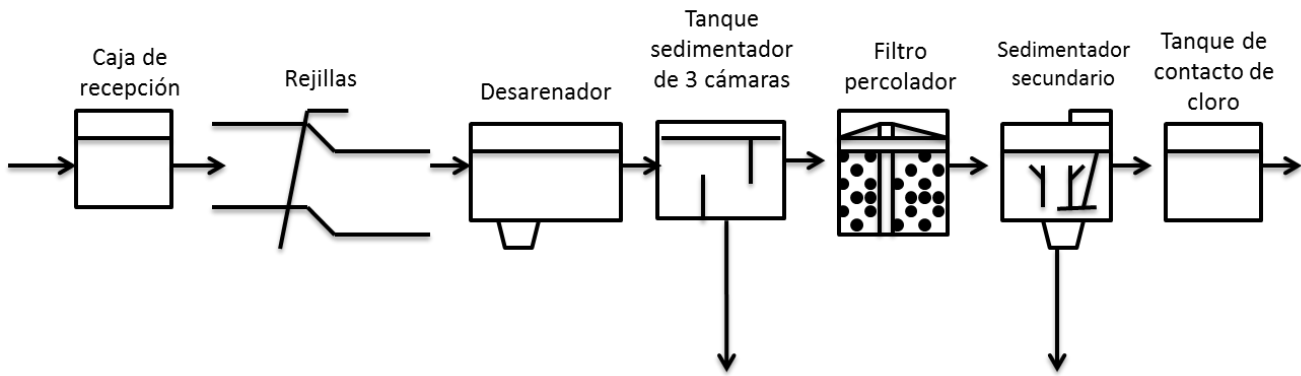


Figura 31. Tren de tratamiento de alternativa dos.

#### 4.2.2. Dimensionamiento.

##### 4.2.2.1. Sedimentador de tres cámaras.

Tabla 38. Dimensionamiento del sedimentador de tres cámaras.

Concepto	Valor	Unidad
Volumen total del sedimentador de 3 cámaras	1,520.15	m <sup>3</sup>
Ancho del sedimentador	19.5	m
Largo del sedimentador	39	m
Longitud de la cámara 1	26.13	m
Longitud de la cámara 2	26.13	m
Longitud de la cámara 3	12.87	m
Tiempo de retención hidráulico	44.96	horas

##### 4.2.2.2. Filtro percolador.

Tabla 39. Dimensionamiento del filtro percolador y sedimentador secundario.

Concepto	Valor	Unidad
Eficiencia requerida para el tratamiento biológico	75.5	%

Concepto	Valor	Unidad
Carga hidráulica superficial	0.08	l/seg.m <sup>2</sup>
Área específica	55	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Altura del filtro	3	m
Área superficial	78	m <sup>2</sup>
Diámetro del filtro	10	m
Módulos	2	Filtros percoladores
<b>Sedimentador secundarios después del filtro percolador</b>		
Área para la clarificación	51.5	m
Profundidad de la zona de clarificación	1.75	m
Profundidad de la zona de separación	0.5	m
Profundidad de la zona de acumulación de lodos	0.1	m
Profundidad total del tanque de sedimentación	2.31	m
Diámetro del sedimentador secundario:	8.1	m
Volumen de la tolva	0.12	m <sup>3</sup>

#### 4.2.3. Calidad del efluente.

PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ALTERNATIVA DOS							
COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL (mg/l)		% DE REMOCIÓN SED. 3 CAMARAS		% DE REMOCIÓN DE FILTRO PERCOLADOR		% DE REMOCIÓN DEL SEDIM. SECUNDARIO	
Contaminante	(mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)
DBO	220	62%	83.6	65%	29.26	30%	20.482
DQO	500	45%	275	65%	96.25	40%	57.75
SS	220	62%	83.6	65%	29.26	60%	11.704
NT	40	44%	22.4	10%	20.16	10%	18.14
P	8	80%	1.6	32%	1.09	10%	0.98

### 4.3. ALTERNATIVA TRES. SEDIMENTADOR PRIMARIO – LODOS ACTIVADOS.

#### 4.3.1. Descripción.

En esta alternativa se presenta un tratamiento convencional, de los más utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Debido a que se presenta un sedimentador circular como tratamiento primario, lodos activados y sedimentador secundario circular como tratamiento biológico.

El tratamiento con lodos activados tiene un porcentaje de remoción de hasta 90 %, en condiciones óptimas de operación. Los lodos recirculados y el agua residual proveniente del sedimentador primario, entran en el tanque de aireación, donde son aireados y mezclados a medida que la mezcla líquida (lodos + agua residual) fluye a lo largo del tanque. Los microorganismos estabilizan aerobiamente la materia orgánica en el tanque de aireación y fluye al sedimentador secundario donde el floc biológico es separado del agua residual, dejando un efluente claro de bajo contenido orgánico.

Tren de tratamiento de alternativa tres.

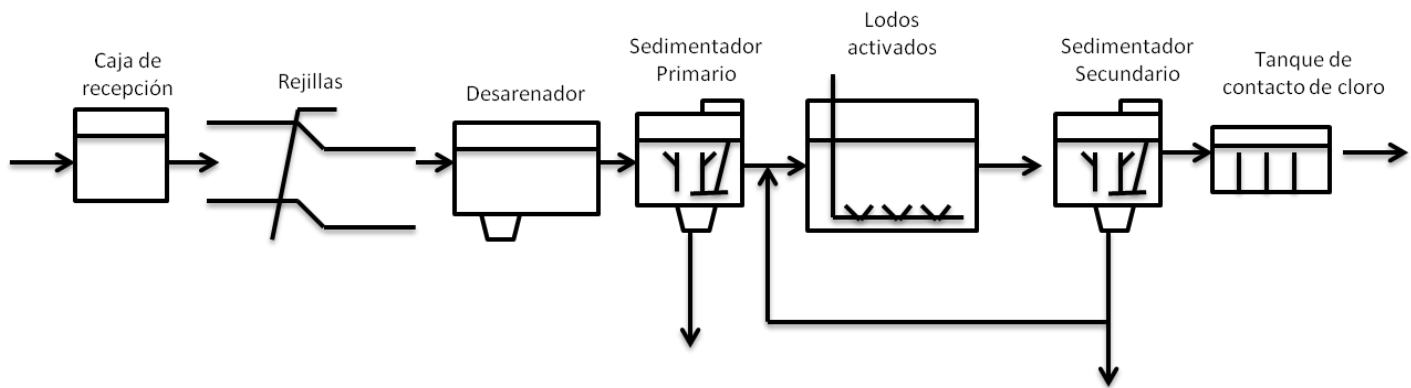


Figura 32. Tren de tratamiento de alternativa tres.

#### 4.3.2. Dimensionamiento.

##### 4.3.2.1. Sedimentador circular primario.

Tabla 40. Dimensionamiento del sedimentador circular primario.

Concepto	Valor	Unidad
Acumulación diaria de lodos	1	Ton/ m <sup>3</sup>
Tiempo de filtración	31.5	min
Peso contenido de sólidos	924	kg
Factor de carga	81.4	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d

Concepto	Valor	Unidad
Área del sedimentador	101	m <sup>2</sup>
Diámetro del sedimentador	11	m
Altura del sedimentador	2	m

#### 4.3.2.2. Lodos activados

Tabla 41. Dimensionamiento de lodos activados y sedimentador secundario.

Concepto	Valor	Unidad
Volumen del reactor	318	m <sup>3</sup>
Masas de lodo residual generada por día	86.74	Kg/día
Caudal de lodo residual	12.07	m <sup>3</sup> /día
Caudal	649.12	m <sup>3</sup> /día
Porcentaje de recirculación	60	%
Tiempo de retención hidráulico	7	Horas
Requerimiento real de oxígeno	86.10	Kg/día
Cantidad de aire requerido	309.26	m <sup>3</sup> /día
Largo del reactor	10	m
Ancho del reactor	5	m
Alto del reactor	7	m
<b>Sedimentador secundario después de lodos activados</b>		
Área para la clarificación	86.55	m <sup>2</sup>
Profundidad de la zona de clarificación	1.67	m
Profundidad de la zona de separación	0.5	m
Tiempo de retención	2	horas

Concepto	Valor	Unidad
Profundidad de la zona de compresión	0.6	m
Profundidad de la zona de acumulación de lodos	0.3	m
Profundidad total del tanque	3	m
Diámetro del sedimentador secundario	10	m
Volumen de la tolva	1	m <sup>3</sup>

#### 4.3.3. Calidad del efluente.

PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ALTERNATIVA TRES							
COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL (mg/l)		% DE REMOCIÓN DE SEDIMENTADOR PRIMARIO		% DE REMOCIÓN DE LODOS ACTIVADOS		% DE REMOCIÓN DEL SEDIM. SECUNDARIO	
Contaminante	(mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)
DBO	220	35%	143	87%	18.59	30%	13.013
DQO	500	35%	325	80%	65	40%	39
SS	220	57%	94.6	85%	14.19	60%	5.676
NT	40	25%	30	40%	18	10%	16.20
P	8	15%	6.8	17%	5.64	10%	5.08

#### 4.4. ALTERNATIVA CUATRO. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE – HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL.

##### 4.4.1. Descripción.

En esta alternativa se muestra un tratamiento natural, como tratamiento primario un reactor anaerobio de flujo ascendente, también conocido como RAFA, y como tratamiento secundario, humedal artificial de flujo superficial.

La operación del RAFA se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional.

Tren de tratamiento de alternativa cuatro.



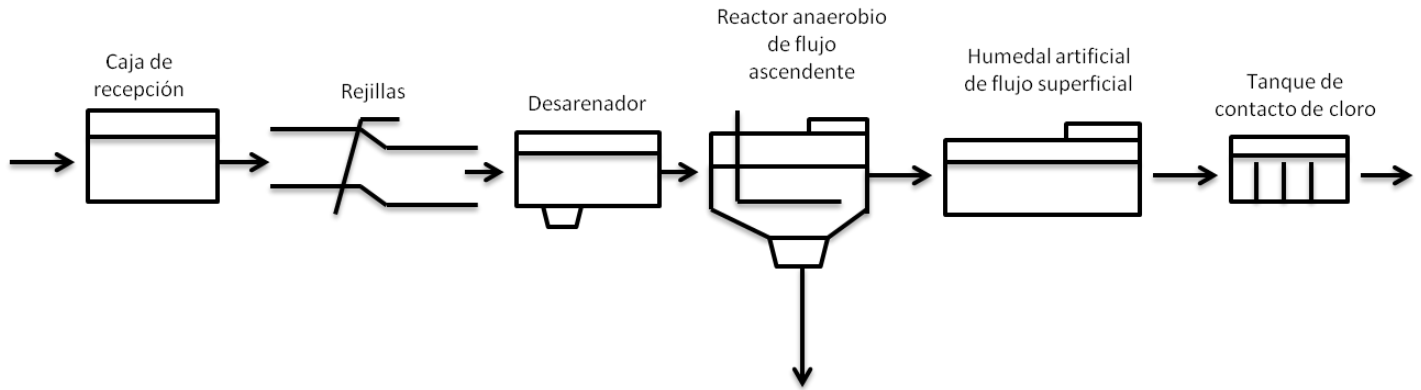


Figura 33. Tren de tratamiento de alternativa cuatro.

4.4.2. Dimensionamiento.

4.4.2.1. Reactor anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 42. Dimensionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente.

Concepto	Valor	Unidad
Volumen para la cámara de digestión	270	m <sup>3</sup>
Área de la cámara de digestión anaerobia	100	m <sup>2</sup>
Altura de lodos	2.7	m
Área superficial de la cámara de sedimentación	68	m <sup>2</sup>
Volumen de la cámara de sedimentación	90	m <sup>3</sup>
Orificios de alimentación de aguas crudas hacia la cámara de digestión	13	Orificios
Generación de gas	114	m <sup>3</sup> /día
Carga máxima aplicada	0.88	Kg/ m <sup>3</sup> día
Carga hidráulica aplicada	4	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> día

#### 4.4.2.2. Humedal artificial de flujo superficial.

Tabla 43. Dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Concepto	Valor	Unidad
Área para solidos suspendidos totales	30.24	m <sup>2</sup>
Área para demanda bioquímica de oxigeno	3,332.62	m <sup>2</sup>
Área para nitrógeno total	7,219.82	m <sup>2</sup>
Área para fosforo total	-7,342.89	m <sup>2</sup>
Área para coliformes totales	28,717.07	m <sup>2</sup>
Área total requerida	28,717.07	m <sup>2</sup>

#### 4.4.3 Calidad del efluente.

PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ALTERNATIVA CUATRO					
COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL (mg/l)		% DE REMOCIÓN REACT. ANA. DE FLUJO ASC.		% DE REMOCIÓN HUMEDAL ART. DE FLUJO SUPERFICIAL	
Contaminante	(mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)
DBO	220	80%	44	86%	6.16
DQO	500	75%	125	80%	25
SS	220	60%	88	89%	9.68
NT	40	35%	26	30%	18.2
P	8	30%	5.6	83%	0.95

# CAPÍTULO V

## 5. MATRIZ ATRIBUTOS PARA LAS CUATRO ALTERNATIVAS.

### 5.1. MÚLTIPLES ATRIBUTOS, MÚLTIPLES ALTERNATIVAS.

ATRIBUTOS	ALTERNATIVAS				
	Unidades	1	2	3	4
<b>TRATAMIENTO PRELIMINAR Y ESTRUCTURAS AUXILIARES</b>					
<b>CANAL DE ENTRADA</b>					
Área	m <sup>2</sup>	0.076	0.076	0.076	0.076
Ancho	m	0.5	0.5	0.5	0.5
Tirante	m	0.153	0.153	0.153	0.153
<b>REJILLAS</b>					
No. Barras	Barras	11	11	11	11
Largo	m	0.12	0.12	0.12	0.12
Ancho	m	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>DESARENADOR</b>					
Largo	m	4	4	4	4
Ancho	m	1.2	1.2	1.2	1.2
Alto	m	1	1	1	1
Módulos	Módulos	2	2	2	2
Área	m <sup>2</sup>	5	5	5	5
<b>CANAL PARSHALL</b>					
Área	m <sup>2</sup>	1.65	1.65	1.65	1.65
Largo	m	1.83	1.83	1.83	1.83
Ancho	m	0.9	0.9	0.9	0.9
<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>					
<b>SEDIMENTADOR DE TRES CAMARAS</b>					
Largo	m		40		
Ancho	m		20		
Volumen	m <sup>3</sup>		1520		
Tiempo de retención	Horas		55		
Módulos	Módulos		1		
<b>SEDIMENTADOR CIRCULAR</b>					
Largo	m			2	
Ancho	m			11	
Volumen	m <sup>3</sup>			182	
Área	m <sup>2</sup>			101	
Módulos	Módulos			1	
<b>REACTOR ANA. DE FLUJ. ASC.</b>					
Largo	m				10
Ancho	m				10

ATRIBUTOS	ALTERNATIVAS				
	Unidades	1	2	3	4
Volumen	m <sup>3</sup>				270
Área	m <sup>2</sup>				100
Módulos	Módulos				2
<b>TANQUE IMHOFF</b>					
Largo	m	19			
Ancho	m	2.5			
Alto	m	8.5			
Volumen	m <sup>3</sup>	388			
Área	m <sup>2</sup>	45			
Módulos	Módulos	1			
<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b>					
<b>HUMEDALES (HFSS)</b>					
Largo	m				40
Ancho	m				20
Alto	m				1.7
Módulos	Módulos				4
Área total	m <sup>2</sup>				3332.29
<b>LODOS ACTIVADOS</b>					
Largo	m			10	
Ancho	m			5	
Alto	m			7	
Volumen	m <sup>3</sup>			318	
Módulos	Módulos			1	
<b>FILTRO PERCOLAR</b>					
Ancho	m	10	10		
Profundidad	m	3	3		
Área	m <sup>2</sup>	78	78		
Volumen	m <sup>3</sup>	220	220		
Módulos	Módulos	2	2		
<b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b>					
Profundidad	m	2.3	2.3	3	
Ancho	m	8.1	8.1	10	
Volumen	m <sup>3</sup>	119	119	264	
Área	m <sup>2</sup>	51.5	51.5	87	
Módulos	Módulos	1	1	1	
<b>TRATAMIENTO TERCEARIO</b>					

ATRIBUTOS	ALTERNATIVAS				
	Unidades	1	2	3	4
<b>TANQUE DE CONTACTO DE CLORO</b>					
Largo	m	3.75	3.75	3.75	3.75
Ancho	m	3	3	3	3
Canales	Canales	15	15	15	15
Ancho de canales	m	0.25	0.25	0.25	0.25
Profundidad	m	1	1	1	1
<b>ÁREAS</b>					
Trat. Preliminares	m <sup>2</sup>	6.8	6.8	6.8	6.8
Trat. Primario	m <sup>2</sup>	45	800	101	100
Trat. Secundario	m <sup>2</sup>	130	130	137	28717
Trat. Terciario	m <sup>2</sup>	11.3	11.3	11.3	11.3
Área Total	m <sup>2</sup>	192.5	947.5	256.0	28835.1
<b>COSTOS DEL SISTEMA (1)</b>					
Construcción	\$	16312540	13601379.5	18734281.3	13632110.6
Operación y Mantenimiento	\$/año	335015.3	496540.5	717889.8	275191.11
<b>IMPACTOS AMBIENTALES (2)</b>					
Total de etapa de Construcción	NA	-304	-305	-305	-319
Total de etapa de Operación	NA	402	407	445	409
Importancia Final	NA	98	102	140	90
<b>SOCIOECONÓMICO</b>					
<b>Dificultad de construcción (3)</b>					
Trat. Preliminar		B	B	B	B
Trat. Primario		A	M	M	M
Trat. Secundario		M	M	A	M
Trat. Terciario		B	B	B	B
<b>Dificultad de operación (4)</b>					
Trat. Preliminar		B	B	B	B
Trat. Primario		M	M	M	M
Trat. Secundario		M	B	A	B
Trat. Terciario		M	M	M	M
<b>Dificultad en el manejo de residuos</b>					
Lodos		M	M	B	B

- (1) Los costos de un sistema de tratamiento de aguas depende de su localización y de los precios en el momento de su construcción. Los datos fueron obtenidos del libro de Tratamiento de Aguas residuales, teoría y principios de diseño, Jairo A. Romero Rojas, Escuela Colombiana de Ingeniería.
- (2) Los impactos ambientales fueron calculados con el método de V. Conesa Fedz.- Vitora. Aplicando la ecuación:
  - a.  $IMP = +/- (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$
  - b. Los datos presentados son de la importancia final.
- (3) Las dificultades de construcción se clasificaron en A (alto), M (medio) y B (bajo), siendo A (alto) cuando su diseño es complejo y se necesita precisión en la construcción; M (medio) cuando no se requiere de una gran precisión en la construcción; B (bajo) cuando su diseño es de fácil construcción.
- (4) Dificultad de operación se clasificó en A (alto), M (medio) y B (bajo), siendo A (alto) cuando se requiere de energía y en su mayoría es un proceso mecánico que requiere constante mantenimiento; M (medio) se necesita poca capacitación para la operación y mantenimiento de los equipos; B (bajo) puede operarse con mano local, no se requiere de un especialista.

## 5.2. PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO SELECCIONADO.

La selección de un tratamiento de aguas residuales, depende de criterios que sirven para realizar un análisis comparativo entre las diferentes alternativas, a fin de llegar a la elección de la más conveniente para una localidad, dependiendo de sus características particulares.

La propuesta que se seleccionó para el caso de estudio fue la Alternativa cuatro. Tratamiento que consiste en un reactor anaerobio de flujo ascendente y cuatro humedales de flujo subsuperficial, esta es la alternativa que cubre las expectativas tanto en términos de construcción, operación y mantenimiento, tanto como los requerimientos necesarios de la característica del agua a tratar.

Para ello se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Costos de inversión y operación.
- Características constructivas.
- Requerimiento de área.
- Mano de obra especializada para operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.
- Eficiencias de remoción de los contaminantes, de acuerdo a las normas.
- Impacto ambiental, durante la construcción y operación de la planta de tratamiento.

La planta de tratamiento de la alternativa cuatro estará conformada de las siguientes unidades:

Pretratamiento:

El pretratamiento consiste en un canal de entrada donde se recibirán las aguas provenientes del colector del dren público, se instalarán dos canales para poder desviar el flujo de entrada lo cual se realizará a través de compuertas, en cada canal se encontrará la rejilla de acero inoxidable con separación de 4 cm, para detener los desechos de mayor tamaño como palos, piedras, trapos, etc. seguido de un desarenador de flujo horizontal, donde se lleva a cabo la sedimentación principalmente de arenas, para evitar obstrucción o daño por abrasión a válvulas o tuberías que se



encuentren en el tren de tratamiento por partículas con una gravedad específica de 2.65 y cuyo diámetro sea mayor de 0.2 mm.

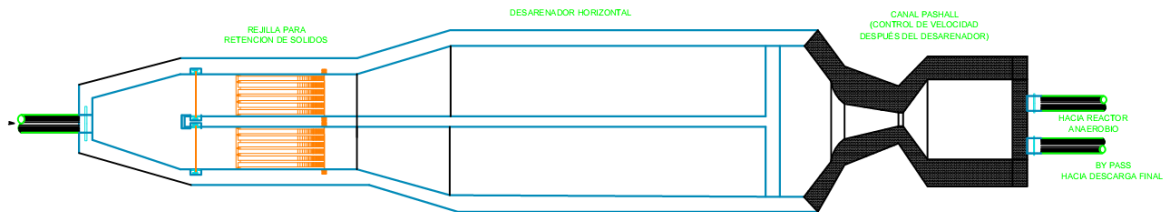


Figura 34. Diseño de canal de llegada para el agua residual.

Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA):

La operación del RAFA se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias. Dentro de los aspectos a considerar para el diseño se encuentran las características de aguas residuales en términos de la composición y contenido de sólidos, la carga orgánica volumétrica, la velocidad de flujo ascendente, el volumen del reactor, las características físicas, como el sistema de distribución del efluente y el sistema de recolección de gas.

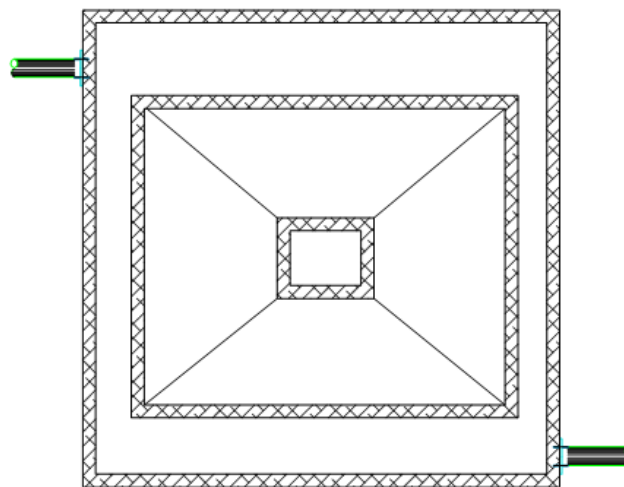


Figura 35. Diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente. Planta

### Humedal de flujo subsuperficial

Contará con cuatro humedales de flujo subsuperficial horizontal, las plantas emergente recomendable para este sistema, es la espadaña (*Typha spp*), arraigadas en el suelo o medio poroso, que emergen o penetran en la superficie libre del agua. Las espadañas crecen a profundidades de agua de hasta 1.5 m, ya que la profundidad de penetración de sus raíces lo hacen a más de 75 cm. Lo que permite diseñar depósitos de considerables profundidades.

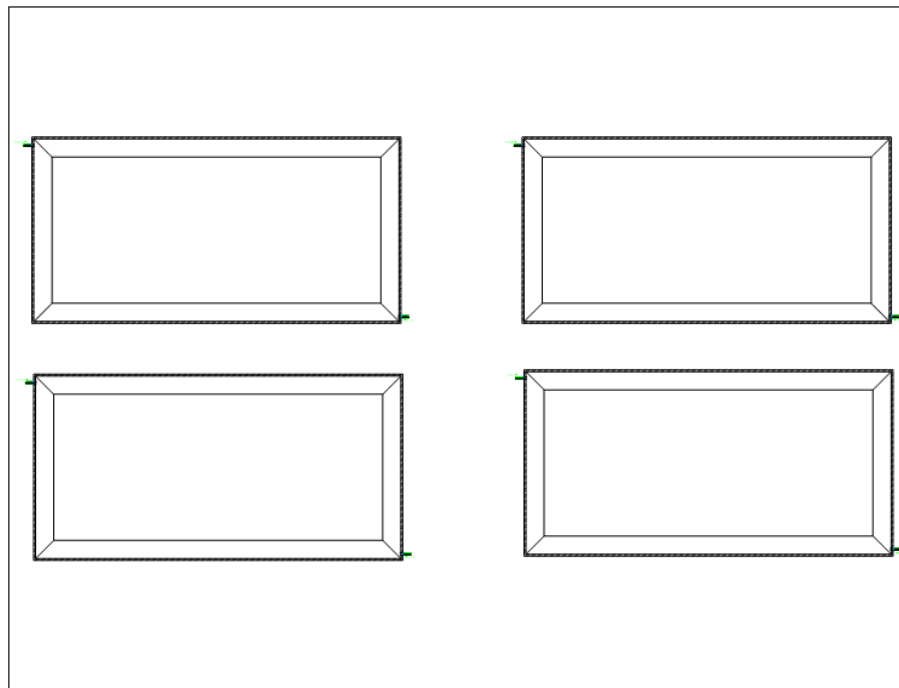


Figura 36. Diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial. Planta.

### Tanque de contacto de cloro.

El cloro puede aplicarse también, utilizando algunas de sus sales, las más conocidas son el hipoclorito de calcio  $[Ca(OCl)_2]$  y el hipoclorito de sodio  $(NaOCl)$ , cuya eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro gas, produciendo reacciones similares en el agua. Se emplean en plantas pequeñas y pozos.

El hipoclorito. Es un fuerte agente oxidante, por lo que no debe almacenarse en contacto con materiales combustibles por que puede producir incendios. Los envases deben taparse perfectamente luego de haber sido abiertos, pues la acción de la luz y la humedad aceleran la descomposición del producto, disminuyendo su eficiencia.

Estas sustancias siempre se dosifican en solución. Pueden ser dosificadas y aplicadas utilizándose los siguientes equipos:

- Bombas dosificadoras.

- Hidroyectores.
- Equipos de montaje local.

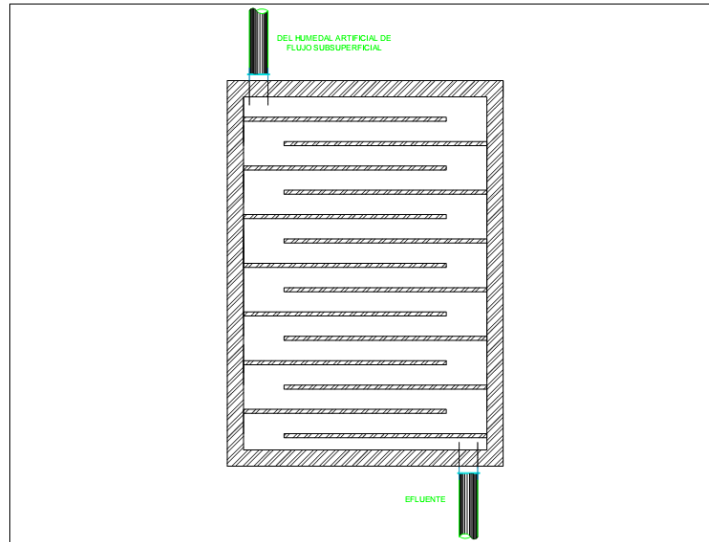


Figura 38. Diseño del tanque de contacto de cloro. Planta.

#### Edificios auxiliares.

Los edificios auxiliares corresponden a edificio de laboratorio, caseta de control, sanitarios y bodegas. La caseta de control es un área ubicada a la entrada de la instalación, aquí se localizará un guardia de seguridad que tiene como función primordial, realizar el registro de todas las personas y vehículos que ingresan a la planta, la actividad que van a realizar y al personal a quien visita. El edificio de laboratorio se implementará para realizar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos necesarios para la correcta eficiencia de la PTAR.

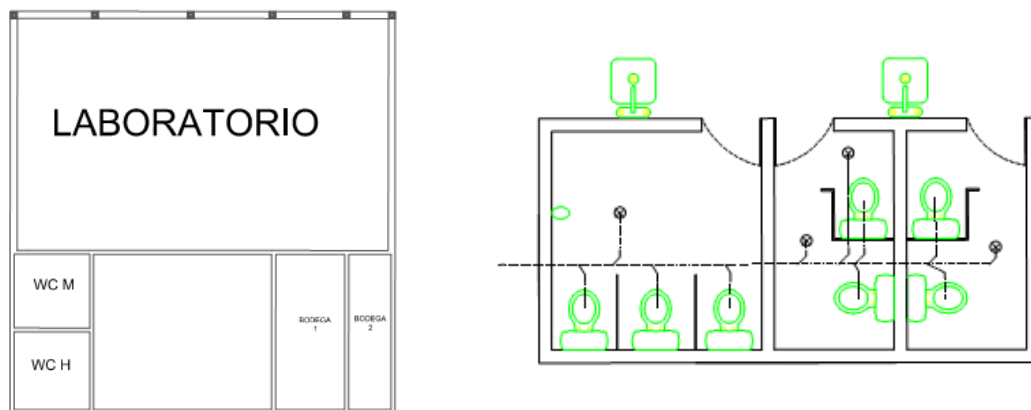




Figura 39. Diseño de los edificios auxiliares.

Las características de la calidad del agua en el efluente con este sistema de tratamiento será el siguiente:

Tabla 44. Calidad del efluente de la alternativa seleccionada.

CALIDAD DEL EFLUENTE AL FINAL DEL TRATAMIENTO				
Contaminante		Unidad	Efluente	NOM 001
DBO	220	mg/l	6.16	60
SS	220	mg/L	9.68	60
NT	40	mg/L	18.2	25
P	8	mg/L	0.95	10

A continuación se presenta la planta de conjunto de la alternativa seleccionada. La cual se realizará en dos etapas, construyendo un reactor anaerobio de flujo ascendente y dos humedales artificiales de flujo subsuperficial. Para la segunda etapa se construiría un reactor anaerobio de flujo ascendente y dos humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Se puede observar la distribución del tren de tratamiento de aguas residuales, canal de entrada y pretratamiento (rejillas, desarenador y canal parshall), tratamiento primario (reactor anaerobio de flujo ascendente), tratamiento secundario (humedal artificial de flujo subsuperficial) y tratamiento terciario (tanque de contacto de cloro).

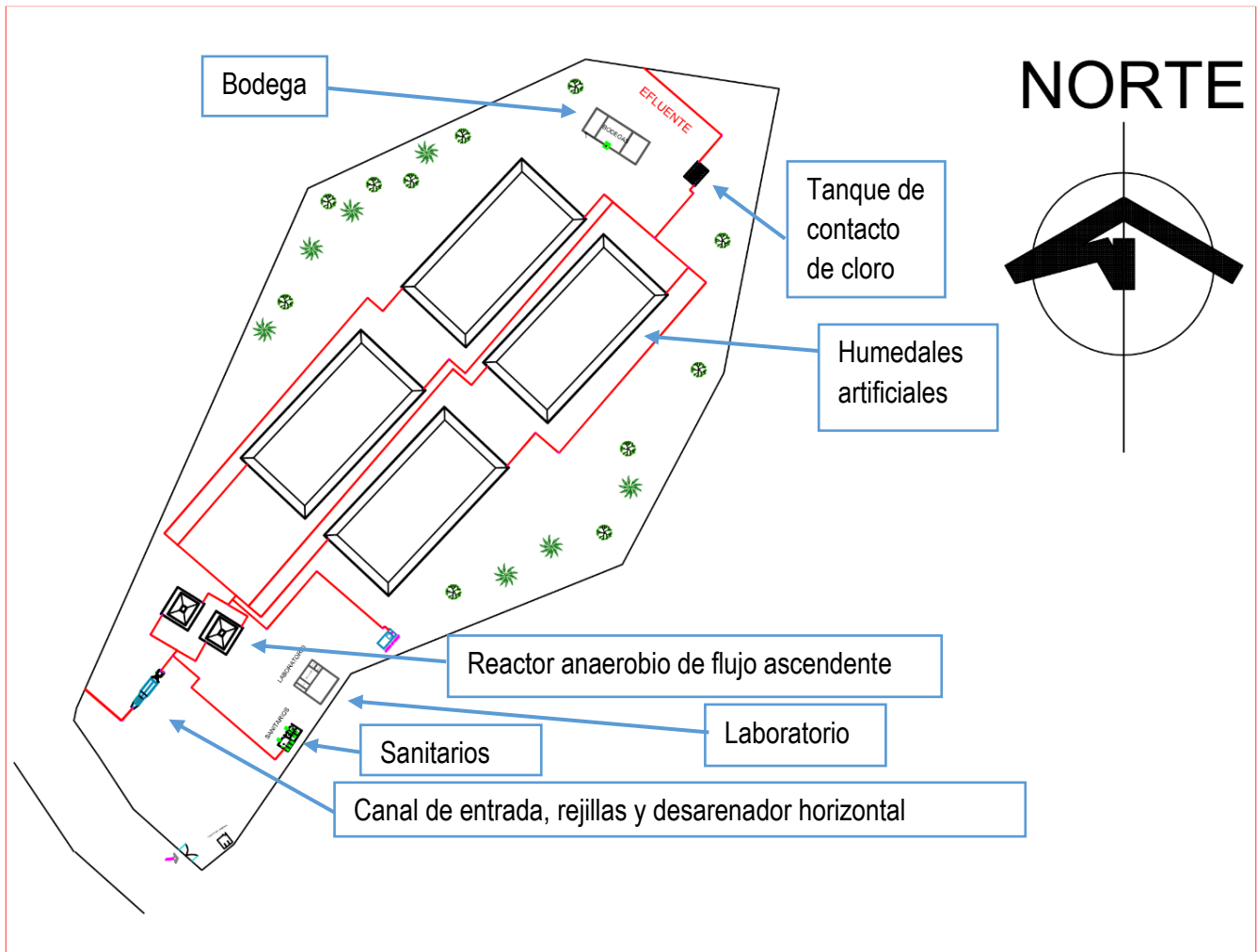


Figura 40. Plano de conjunto de la alternativa cuatro.

# CAPÍTULO VI

## 6. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

Para la evaluación de los impactos ambientales se utiliza un método matricial Tipo Leopold, el cual se modifica de acuerdo a las características del proyecto; donde se seleccionan los elementos medio-ambientales implicados, para lo cual se elabora primeramente una Matriz de identificación de los Impactos Ambientales Potenciales (Matriz No. 1), en la cual mediante un análisis y valoración de estos, se realiza una depuración para seleccionar los impactos ambientales más relevantes (Matriz No. 2, Selección de los impactos ambientales potenciales).

La evaluación se basa en la valoración de la importancia de los impactos ambientales. Ésta se obtiene a partir de un modelo que considera el grado de incidencia o intensidad de la alteración, así como la caracterización del efecto, la cual responde a una serie de atributos cualitativos, tal como se describe a continuación.

### 6.1. INDICADORES DE IMPACTO.

Enseguida se describen los indicadores que se utilizan por la metodología utilizada, a fin de crear la matriz de valoración cualitativa o matriz de importancia:

- ⊕ **Signo:** Alude al carácter de las distintas acciones que intervienen en los distintos factores a considerar, siendo marcados con (+) los benéficos y (-) los adversos.
- ⊕ **Intensidad:** Indica el grado de incidencia o destrucción sobre el factor ambiental.
- ⊕ **Extensión:** Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.
- ⊕ **Momento:** Indica el tiempo de manifestación del impacto, que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.
- ⊕ **Persistencia:** Indica el tiempo que permanece el efecto, desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción, ya sea por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.
- ⊕ **Reversibilidad:** Indica la posibilidad de la reconstrucción del factor afectado por la realización del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que ésta deja de actuar sobre el medio.
- ⊕ **Recuperabilidad:** Indica la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado por la realización del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).
- ⊕ **Sinergia:** Es el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones con una incidencia ambiental mayor, que el efecto suma de las incidencias individuales consideradas aisladamente.
- ⊕ **Acumulación:** Es el incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continua o reiterada la acción que lo genera.
- ⊕ **Efecto:** Indica la relación causa-efecto, es decir, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.



- ⊕ **Periodicidad:** Indica la regularidad de la manifestación del efecto, de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular) o constante en el tiempo (efecto continuo).

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los indicadores de impacto, a fin de aplicarlo al proyecto de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, para proceder a realizar su evaluación por medio de matrices.

Lista de los indicadores de impacto.

<b>NATURALEZA</b>		<b>INTENSIDAD (I)</b> <b>Grado de destrucción</b>	<b>Valor</b>
Impacto benéfico	+	Baja	1
		Media	2
Impacto perjudicial	-	Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
<b>EXTENSIÓN (EX)</b> <b>Área de influencia</b>	<b>Valor</b>	<b>MOMENTO (MO)</b> <b>Plazo de manifestación</b>	<b>Valor</b>
Puntual	1	Largo plazo (superior a 5 años)	1
Parcial	2	Medio (entre 1 y 5 años)	2
Extenso	4	Inmediato (inferior a 1 año)	4
Total	8	Critico **	(1 a 4)
Crítica *	(4)		
<b>PERSISTENCIA (PE)</b> <b>Permanencia del efecto</b>	<b>Valor</b>	<b>REVERSIBILIDAD (RV)</b> <b>Reconstrucción por medios naturales</b>	<b>Valor</b>
Fugaz (menor de 1 año)	1	Corto plazo (menor de 1 año)	1
Temporal (entre 1 y 10 años)	2	Medio Plazo (entre 1 y 10 años)	2

Permanente (mayor de 10 años)	4	Irreversible (mayor de 10 años)	4
<b>SINERGIA (SI)</b>	<b>Valor</b>	<b>ACUMULACIÓN (AC)</b>	<b>Valor</b>
<b>Regularidad de la manifestación</b>		<b>Incremento progresivo</b>	
Sin sinergismo (simple)	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
<b>EFEECTO (EF)</b>	<b>Valor</b>	<b>PERIODICIDAD (PR)</b>	<b>Valor</b>
<b>Relación causa-efecto</b>		<b>Regularidad de la manifestación</b>	
Indirecto (Secundario)	1	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
<b>RECUPERABILIDAD (MC)</b>	<b>Valor</b>	<b>IMPORTANCIA (IMP)</b>	
<b>Reconstrucción por medios humanos</b>		<b>Cálculo</b>	
Recuperable de manera indirecta	1	$IMP = +/- (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Recuperable a mediano plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

\* Se adicionará un valor de cuatro por encima del que le corresponde si la acción se produce en un lugar crítico.

\*\* Se adicionará un valor de uno a cuatro por encima del valor correspondiente si ocurre una circunstancia que hiciera crítico el momento del impacto.

## 6.2. CRITERIO Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN.

### 6.2.1. Criterio.

Una vez establecido la matriz de Identificación de los Impactos Ambientales y la de los Impactos Ambientales Seleccionados, se utilizan los criterios de importancia con sus valores respectivos, tal como se muestra en la lista indicativa de los indicadores de impacto.

Utilizando los criterios, se califica la valoración de la importancia de los impactos ambientales seleccionados, y se establece la Matriz No. 3, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- ⊕ Los impactos ambientales con valores de importancia menor a 25, se consideran **irrelevantes**.
- ⊕ Los impactos ambientales con valores de importancia entre 25 y 50, se consideran **moderados**.
- ⊕ Los impactos ambientales con valores de importancia entre 50 y 75, se consideran **severos**.
- ⊕ Los impactos ambientales con valores de importancia superiores a 75, se consideran **críticos**.

#### 6.2.2. Metodología de la evaluación y justificación de la metodología seleccionada.

La metodología de evaluación emplea una Matriz de Importancia de los Impactos Ambientales (Matriz No. 4), la cual se construye con valores de impactos, cuyos valores de importancia con persistencia permanente del efecto sean iguales o mayores a 25, a fin de obtener un valor cualitativo global (importancia final).

La construcción de la matriz se realiza mediante la suma de las importancias por columna, la cual representa el grado de agresividad de las actividades del proyecto, y la suma de las importancias por fila, que indica el grado de afectación a los factores ambientales. El Impacto final, se obtiene de la suma de importancias de los efectos permanentes en la fase de la preparación del sitio y construcción y la fase de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo a los resultados de la evaluación realizada, se concluye que el mayor grado de afectación que se le causo al sitio por la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, corresponde al cambio en la forma del suelo (geomorfología) y alteración de sus propiedades fisicoquímicas, así también a la calidad paisajística, y en menor proporción al estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo. Las actividades que causó el mayor grado de afectación corresponden a desmonte, despalme y excavaciones; así como las actividades de nivelaciones y compactaciones, y el empleo de los diversos materiales para la construcción.

Los impactos negativos que se le causo al sitio, se compensa con la descarga de las aguas residuales tratadas en cumplimiento con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, y la adecuada operación de la planta de tratamiento, que incluye el control de la emisión de malos olores, el manejo adecuado de los lodos de desecho, la implementación de medidas de seguridad e higiene, así como la recuperación de la calidad paisajística mediante el establecimiento de áreas verdes con árboles y arbustos característicos de la región.



Matriz No 2. Selección de los impactos ambientales relevantes.

IMPACTOS IDENTIFICADOS			PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)											
			PREPARACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN						OPERACIÓN					
			Desmonte, despalme y excavaciones en el sitio.	Nivelaciones y compactaciones del suelo.	Empleo de materiales para la construcción.	Construcción de las estructuras del sistema de tratamiento.	Operación de la maquinaria y vehículos empleados.	Generación de residuos sólidos, líquidos y gases	Vertido de las aguas residuales tratadas (cumplimientos con la NOM-001-SEMARNA T-1996).	Tratamiento y manejo de los lodos generados (cumplimiento con la NOM-004-SEMARNA T-2002).	Control de malos olores	Adecuada Operación y Mantenimiento.	Implementación de medidas de Seguridad e Higiene.	Implementación de áreas verdes.
FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
COMPONENTE	MEDIO	ELEMENTO												
INERTE	ATMOSFÉRA	Calidad del aire	1											
		Nivel de ruido	2					I <sub>5,2</sub>						
	TIERRA (suelo)	Geomorfología	3	I <sub>1,3</sub>	I <sub>2,3</sub>	I <sub>3,3</sub>	I <sub>4,3</sub>							
		Propiedades fisicoquímicas	4		I <sub>2,4</sub>	I <sub>3,4</sub>			I <sub>6,4</sub>		I <sub>8,4</sub>			
		Erodabilidad	5	I <sub>1,5</sub>										
		Recursos minerales	6											
	AGUA	Superficial	7							I <sub>7,7</sub>				
		Subterránea	8											
BIOTICO	FLORA	Estrato arbóreo	9	I <sub>1,9</sub>										I <sub>12,9</sub>
		Estrato arbustivo y herbáceo	10	I <sub>1,10</sub>										I <sub>12,10</sub>
	FAUNA	Terrestre	11											
PERCEPTUAL	PAISAJE	Calidad paisajística	12	I <sub>1,12</sub>		I <sub>4,12</sub>								I <sub>12,12</sub>
SOCIOCULTURAL	USOS DEL TERRITORIO	Cambio de uso de suelo	13	I <sub>1,13</sub>										
	INFRAESTRUCTURA	Transporte y servicios	14			I <sub>3,14</sub>		I <sub>5,14</sub>						
	HUMANOS Y CULTURAL	Salud y seguridad de la población	15							I <sub>7,15</sub>				I <sub>11,15</sub>
		Bienestar de la población	16							I <sub>7,16</sub>	I <sub>8,16</sub>	I <sub>9,16</sub>	I <sub>10,16</sub>	
		Aceptación social del proyecto	17				I <sub>4,17</sub>							
ECONÓMICO	ECONOMÍA	Empleo y nivel de ingresos	18			I <sub>3,18</sub>	I <sub>4,18</sub>	I <sub>5,18</sub>				I <sub>10,18</sub>		

Matriz No 3. Valoración de la importancia de los impactos ambientales seleccionados.

Impactos Atributos	Impactos																																				
	I <sub>1,3</sub>	I <sub>1,5</sub>	I <sub>1,9</sub>	I <sub>1,10</sub>	I <sub>1,12</sub>	I <sub>1,13</sub>	I <sub>2,3</sub>	I <sub>2,4</sub>	I <sub>3,3</sub>	I <sub>3,4</sub>	I <sub>3,14</sub>	I <sub>3,18</sub>	I <sub>4,3</sub>	I <sub>4,12</sub>	I <sub>4,17</sub>	I <sub>4,18</sub>	I <sub>5,2</sub>	I <sub>5,14</sub>	I <sub>5,18</sub>	I <sub>6,4</sub>	I <sub>7,7</sub>	I <sub>7,15</sub>	I <sub>7,16</sub>	I <sub>8,1</sub>	I <sub>8,4</sub>	I <sub>8,16</sub>	I <sub>9,1</sub>	I <sub>9,16</sub>	I <sub>10,16</sub>	I <sub>10,18</sub>	I <sub>11,15</sub>	I <sub>12,9</sub>	I <sub>12,10</sub>	I <sub>12,12</sub>			
Naturaleza (+/-)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Intensidad ( I )	2	1	2	4	1	2	2	1	2	2	2	4	4	2	4	2	2	1	1	1	1	4	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	
Extensión ( EX )	4	4	4	4	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	
Momento ( MO )	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Persistencia ( PE )	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	1	4	4	4	1	2	1	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Reversibilidad ( RV )	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	4	4	4	1	1	1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
Sinergia ( SI )	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Acumulación ( AC )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Efecto ( EF )	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Periodicidad ( PR )	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	4	4	4	1	1	2	1	1	4	1	2	1	1	2	1	4	2	4	1	4	4	4	4		
Recuperabilidad ( MC )	8	4	4	4	8	4	8	4	4	4	1	2	4	4	4	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	1	1	4	4	4	1	4	2	1	4		
<b>IMPORTANCIA ( I )</b>	<b>-44</b>	<b>-35</b>	<b>-41</b>	<b>-47</b>	<b>-36</b>	<b>34</b>	<b>-40</b>	<b>-31</b>	<b>-36</b>	<b>-34</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>-43</b>	<b>-37</b>	<b>41</b>	<b>23</b>	<b>-23</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>-24</b>	<b>43</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>30</b>			
<b>VALOR MÍNIMO:</b>	<b>13</b>																																				
<b>VALOR MÁXIMO:</b>	<b>100</b>	$Imp = \frac{+}{-} (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$																																			

Matriz No. 4. Importancia de los impactos ambientales.

SIMBOLOGÍA		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)														IMPORTANCIA FINAL
		PREPARACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN							OPERACIÓN							
		Desmonte, despalme y excavaciones en el sitio.	Nivelaciones y compactaciones del suelo.	Empleo de materiales para la construcción.	Construcción del sistema de tratamiento.	Operación de la maquinaria y vehículos empleados.	Generación de residuos sólidos, líquidos y gases	SUBTOTAL	Vertido de las aguas residuales tratadas (cumplimientos con la NOM-001-SEMARNAT-1996).	Tratamiento y manejo de los lodos generados (cumplimiento con la NOM-004-SEMARNAT-2002).	Control de malos olores	Adecuada Operación y Mantenimiento.	Implementación de medidas de Seguridad e Higiene.	Implementación de áreas verdes.	SUBTOTAL	
FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
ATMOSFÉRA	Calidad del aire	1													53	53
	Nivel de ruido	2														
TIERRA (suelo)	Geomorfología	3	-44	-40	-36	-43									-163	-163
	Propiedades fisicoquímicas	4		-31	-34										-65	-38
	Erodabilidad	5	-35												-35	-35
	Recursos minerales	6														
AGUA	Superficial	7													43	43
	Subterránea	8														
FLORA	Estrato arbóreo	9	-41												-41	-14
	Estrato arbustivo y herbáceo	10	-47												-47	-22
FAUNA	Terrestre	11														
PAISAJE	Calidad paisajística	12	-36			-37									-73	-43
USOS DEL TERRITORIO	Cambio de uso de suelo	13	34												34	34
INFRAESTRUCTURA	Transporte y servicios.	14														
HUMANOS Y CULTURAL	Salud y seguridad de la población	15													31	59
	Bienestar de la población	16													30	119
	Aceptación social del proyecto	17				41									41	41
ECONOMÍA	Empleo y nivel de ingresos	18			30									30	26	56
<b>TOTAL</b>			-169	-71	-40	-39									-319	90

### 6.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES. IDENTIFICADOS.

Por la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Tenango, municipio de Ocosingo, Chiapas, en los siguientes cuadros se describen las medidas preventivas de mitigación, correctivas y compensatorias, de acuerdo a las actividades constructivas que se llevan a cabo en el sitio, así como las medidas que se deben tener en consideración durante la etapa de operación y mantenimiento.

Las medidas aquí descritas están acorde al diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como de las características medioambientales y socioeconómicas existentes en el sitio y en la región.

Las acciones o medidas los debe llevar a cabo el contratista responsable de la construcción, así también el municipio o el organismo operador en la etapa de funcionamiento.

#### ***Despalme y remoción de la cobertura vegetal.***

<b><i>Objetivo:</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Minimizar la afectación a la cobertura vegetal (arbustivo y herbáceo).</li><li>- Evitar la erosión del suelo.</li></ul>
<b><i>Impactos ambientales:</i></b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pérdida de cobertura vegetal.</li><li>- Erosión.</li></ul>
<b><i>Acciones:</i></b>	<ol style="list-style-type: none"><li>a) Realizar el despalme de la cobertura vegetal únicamente en la superficie considerada para el desplante de las estructuras de la planta de tratamiento.</li><li>b) El material orgánico removido (cobertura vegetal y tierra fértil), deberá ubicarse en un lugar que no afecte las actividades constructivas o cuerpo de aguas cercanos, el cual puede utilizarse posteriormente como abono orgánico para la creación de áreas verdes en el sitio, o para la reposición de ciertas áreas que fueron dañadas durante el despalme.</li><li>c) Después de terminar toda actividad constructiva en el sitio, se debe llevar a cabo una reforestación en ciertas áreas del sitio utilizando especies arbóreas y arbustivas características de la región.</li></ol>



<b>Responsable:</b>	<p>d) Como medida de seguridad no se debe ubicar el material de despalme sobre laderas.</p> <p>Contratista o ejecutor de la obra.</p>
---------------------	---

**Suelo y fauna silvestre.**

<b>Objetivo:</b>	Minimizar la afectación al suelo y fauna silvestre.
<b>Impactos ambientales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio en la forma y propiedades fisicoquímicas del suelo.</li> <li>- Erosión.</li> <li>- Emigración de la fauna silvestre.</li> </ul>
<b>Acciones:</b>	<p>e) Tomando en cuenta las características actuales en el sitio, es poco probable la aparición de fauna silvestre, principalmente la terrestre. Sin embargo, los trabajadores tienen la encomienda de no realizar actividades de caza o captura, y de abstenerse de realizar fogatas que pudiera dar origen a incendios.</p> <p>f) Para evitar accidentes y procesos que induzcan la erosión del suelo por medio hídrico o eólico, para los taludes y bordos que se formen se debe dejar las pendientes adecuadas con los terraplenes estables y bien protegidos.</p> <p>g) Los materiales productos de las excavaciones deben ser reutilizados para el mismo relleno, siempre y cuando cumplan con las especificaciones técnicas de compactación derivado del estudio de mecánica de suelos, ya que con ello se minimiza la utilización de material mejorado de banco.</p> <p>h) La capa orgánica removida del suelo se debe manejar de forma separada del material no fértil, disponiéndolos temporalmente en el sitio, para que pueda utilizarse posteriormente en la restauración o implementación de</p>

<b>Responsable:</b>	<p>áreas verdes (Jardines).</p> <p>i) El almacenamiento de los materiales de construcción (cemento, cal, arena, grava, material mejorado), y preparación de los mismos debe llevarse a cabo en una sola área establecida en el sitio.</p> <p>j) En caso de que sea necesario realizar el cambio de aceite a la maquinaria o camiones empleados en la obra, se debe evitar su derrame o vertido al suelo, y los aceites gastados deben almacenarse en recipientes de 20 L.</p> <p>Contratista o ejecutor de la obra.</p>
---------------------	---

**Calidad del aire y Ruido.**

<b>Objetivo:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizar la emisión de gases y partículas a la atmosfera.</li> <li>- Minimizar la emisión de ruidos.</li> <li>- Reducir la emisión de olores.</li> </ul>
<b>Impactos ambientales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteración a la calidad del aire.</li> <li>- Molestias a la población.</li> </ul>
<b>Acciones:</b>	<p>k) La maquinaria pesada, camiones y vehículos empleados durante la obra, se le debe proporcionar afinación y mantenimiento para que la emisión de gases de combustión y ruido estén dentro de los límites permitidos. De tal manera que se den cumplimiento a las normas ambientales mexicanas, NOM-041-SEMARNAT-2006, NOM-045-SEMARNAT-2006, NOM-050-SEMARNAT-1993, NOM-080-SEMARNAT-1994.</p> <p>l) El uso de la maquinaria y equipos debe estar sujeto al horario de trabajo, que corresponde a 8 horas diarias de Lunes a Sábado, excepto cuando sea necesario trabajar horas extras.</p> <p>m) Durante el proceso de remoción de tierra y despalme, se debe proporcionar cierto humedecimiento al suelo para atenuar la emisión de partículas de polvo hacia la atmosfera.</p>

- n) El material como: arena, grava, arcilla que sea transportado por los camiones volteos hacia el sitio de construcción, deberán estar perfectamente cubierto con lonas, a efecto de disminuir la emisión de partículas, o el derrame de estos a las vías de comunicación y para evitar accidentes.
- o) Durante la etapa operativa deberá proporcionarse una adecuada operación y mantenimiento al sistema de tratamiento para disminuir la emisión de malos olores.
- p) Para evitar la emisión de olores, se le debe proporcionar el tratamiento correcto a los lodos, y evitar su acumulación por tiempos prolongados en el sitio de la Planta. Estos deberán ser trasladados al sitio de disposición final (basurero municipal o en su caso relleno sanitario), o usarse como abono orgánico mediante previo composteo, siempre y cuando, cumpla con las especificaciones que establece la norma NOM-004-SEMARNAT-2002.

**Responsable**

- Contratista o ejecutor de la obra.
- Organismo operador o municipio.

**Manejo de combustibles, residuos sólidos y líquidos.**

<b>Objetivo:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar la contaminación del suelo.</li> <li>- Reducir la emisión de olores.</li> <li>- Evitar la contaminación de las aguas superficiales.</li> </ul>
<b>Impactos ambientales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteración a la calidad del aire.</li> <li>- Contaminación del suelo.</li> <li>- Contaminación de las aguas superficiales o subterráneas.</li> <li>- Molestias a la población.</li> </ul>
<b>Acciones:</b>	<p>q) El combustible Diesel que utiliza la maquinaria, se debe almacenar en tambos de 200 L o en bidones de 50 L. Se debe tener en existencia únicamente lo que se ocupara en una semana laboral, para evitar el almacenamiento excesivo en el sitio. El combustible deberá estar resguardado en una galera provisional, siguiendo todas las medidas de seguridad respectivas para evitar accidentes. Además, se debe evitar su infiltración al suelo, mediante el establecimiento de un piso firme de</p>

concreto o suelo apisonado con material mejorado de banco.

- r) Durante la construcción de la Planta de Tratamiento, se debe proporcionar un manejo adecuado de los residuos sólidos domésticos generados, con el objeto de impedir la contaminación del suelo y anular la presencia de fauna nociva. Se debe contar con tambos de plástico o de metal de 200 L, sin perforaciones y con su tapa, o en su defecto utilizar bolsas de plástico para su almacenamiento. Los cuales deben ser trasladados de forma periódica hacia el basurero municipal.
- s) Los aceites gastados generados por el mantenimiento de la maquinaria pesada, se deben almacenar en recipientes de 20 L con su respectiva tapa, y utilizarse para el curado de madera o de polines que se utiliza en la propia actividad constructiva.
- t) Se debe evitar el almacenamiento permanente de los materiales y elementos de construcción en áreas verdes o áreas cercanas a cuerpos de agua. Se debe clasificar de acuerdo a sus características, en madera, fierro, aluminio y acero. Asimismo, toda la pedacería de estos materiales deben resguardarse en contenedores.
- u) Durante la etapa operativa, los lodos deshidratados, se le deberá proporcionar el manejo adecuado, evitar su aglomeración en el sitio de la planta, y trasladarlo mediante camiones al sitio de disposición final (basurero municipal). Previa caracterización en cumplimiento con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, podría utilizarse como abono orgánico mediante composteo.

Los residuos que provengan de la limpieza de las rejillas, así como la arenilla o lodos de los desarenadores, deberán almacenarse en contenedores, y ser dispuestos al basurero municipal, para mezclarse con tierra y utilizarse como sistema de cubierta de los residuos sólidos municipales. Se debe evitar su aglomeración en el sitio, ya que por sus características puede ser un foco de emisión de malos olores y de la atracción de moscas.

**Responsable**

- Contratista o ejecutor de la obra.
- Organismo operador o Municipio.

**Otras medidas.**

<b>Acciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>v) En la fase constructiva y operativa, los trabajadores deben contar con la vestimenta y equipo de trabajo adecuado para desarrollar sus actividades, como lo son: botas, cascos, lentes, guantes, mascarillas y ropa de algodón.</li> <li>w) Se debe dejar construida la planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a las especificaciones de diseño. Así como, llevar una adecuada operación y mantenimiento, para lo cual se debe realizar una supervisión esporádica externa con personal especialista en el tratamiento de las aguas residuales.</li> <li>x) Se debe hacer el reporte a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) del cumplimiento con la norma NOM-001- SEMARNAT-1996, para las aguas residuales tratadas.</li> </ul>
<b>Responsable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contratista o ejecutor de la obra.</li> <li>- Organismo operador o Municipio.</li> </ul>

# CAPÍTULO VII

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se evaluaron cuatro alternativas de tratamiento de aguas residuales, cada uno de ellas contó con canal de entrada y pretratamiento que consiste en rejillas, para separar sólidos grandes antes de ingresar al proceso de tratamiento de aguas residuales, así como también un desarenador horizontal para retirar partículas más finas como la arena, y para el control y medición del caudal, se eligió un canal pashall al final del desarenador. Por otra parte, en el tratamiento terciario, cada uno de las alternativas de tratamiento contó con un tanque de contacto de cloro por hipoclorito, cuya eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro gas, produciendo reacciones similares en el agua, esto para tener mejor resultados en el efluente y eliminar microorganismos patógenos.

La primera alternativa se basó en tanque imhoff como tratamiento primario (sedimentador primario) y dos filtros percoladores (tratamiento secundario). La segunda alternativa para el tratamiento de aguas residuales fue un sedimentador de tres cámaras (tratamiento primario) y dos filtros percoladores (tratamiento secundario) seguido de un sedimentador secundario. La tercera alternativa se basó en dos sedimentadores circulares y lodos activados (tratamiento biológico) seguido de un sedimentador circular secundario. La cuarta y última alternativa de tratamiento de aguas residuales fue dos reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) y cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial (tratamiento secundario).

El análisis de estas cuatro alternativas de tratamiento de aguas residuales se basó en la matriz múltiples atributos– múltiples alternativas (MAMA). Para esto se tomaron en cuenta los aspectos de costos de inversión y operación, características constructivas, requerimiento de área, mano de obra especializada para operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, eficiencias de remoción de los contaminantes, de acuerdo a las normas e impacto ambiental, durante la construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con lo anterior la mejor alternativa que cumple con los requisitos del área de estudio, fue la alternativa cuatro (Reactor anaerobio de flujo ascendente y Humedal artificial de flujo subsuperficial). Esto debido a que el costo de inversión (13632110 pesos) es el segundo más bajo de las cuatro alternativas, siendo la alternativa dos (sedimentador de tres cámaras y filtro percolador) como el más bajo en cuanto el costo de construcción (13601379 pesos), por otra parte en el costo de operación y mantenimiento la alternativa cuatro es la más idónea, siendo la de menor costo con 275191 pesos por año.

En cuanto a la evaluación de área total para cada tren de tratamiento de agua residual, la alternativa de reactor anaerobio de flujo ascendente y humedal artificial de flujo subsuperficial (alternativa cuatro) presentó un área de 28835 m<sup>2</sup> lo cual es idóneo para aprovechar el área disponible para la construcción de una PTAR.

Por otra parte en los impactos ambientales de cada una de las alternativas, todas estas presentan una importancia final con impacto positivo (+), la alternativa cuatro con 90 de importancia final, con un impacto total de etapa de construcción de -319 (impacto negativo) mientras el impacto total de la etapa de operación fue 409 (impacto positivo), siendo esta última la segunda más alta de las cuatro alternativas. Así también las medidas de mitigación se pueden realizar sin ningún inconveniente.

Las dificultades de construcción y operación comparada con las otras tres alternativas, la alternativa cuatro en promedio tiene una dificultad media, lo cual nos indicó, su facilidad de operación, por lo que no se requiere de mano de obra especializada para operación y mantenimiento del sistema de tratamiento y puede llevar a cabo por mano de obra local. El operador es el responsable directo del cuidado y funcionamiento del servicio de la planta depuradora de aguas residuales. No necesita ser un técnico, una persona especializada o con conocimientos superiores, ya que el trabajo es sumamente sencillo. De preferencia, deberá contratarse a un miembro de la comunidad que ha laborado en la construcción del sistema de tratamiento, quien luego de ser capacitado estará en condiciones de realizar estas actividades en forma eficiente y con responsabilidad.

Para el tren de tratamiento con sedimentador circular y lodos activados (alternativa tres) se recomienda una zona urbana, por su alto consumo de energía eléctrica, así como también por su alto porcentaje de eficiencia de remoción y por el área total que ocupa este tren de tratamiento, además de que se requiere de un operador capacitado para el correcto funcionamiento del sistema. Con lo que respecta a la alternativa uno (tanque imhoff y filtro percolador) y alternativa dos (sedimentador de tres cámaras y filtro percolador), por su dificultad y precisión en su construcción se recomienda mejorar el diseño y en cuanto a la operación se requiere de constante capacitación al personal para que se lleve a cabo un mejor funcionamiento del tren de tratamiento.

La construcción de la planta de tratamiento es una buena inversión por parte de los municipios que cuentan con poblaciones considerables, de esta manera mejoramos la calidad ambiental en el estado de Chiapas, y evitamos consecuencias lamentables en un futuro.



# CAPÍTULO VIII

## **8. BIBLIOGRAFÍA.**

Calvo, M. S. (1999). Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Madrid España: Mundi-Prensa.

CIEMA, C. D. (2005). Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proyecto ASTEC SUCHER & HOLZER, 43.

Conagua. (2007). manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

CONAGUA. (2011). Estadísticas del Agua en México. México, D.F.: SEMARNAT.

Conesa Fernández-Vitora, Vicente. 2000. Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental, Segunda Edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Curso de Saneamiento Ecológico. Agosto 2000. Estocolmo, Suecia.

Curso de Sistemas Integrados para el Tratamiento de Aguas Residuales Domiciliarias. Junio 2000. Mérida, Venezuela.

Daniel, L. (2007). Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. revistas peruanas, 3.

Eckenfelder, W.W. Jr. 1989. Industrial Water Pollution Control. Second Edition. McGraw-Hill Inc. U.S.A.

Enkerlin E.C., G. Cano, R. Garza y E. Vogel. 1997. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Internacional Thomson Editores.

EPA. (2000). humedales de flujo subsuperficial. washington, D. C.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2010. Evaluación del Impacto Ambiental y Alternativa de Tratamiento de las Aguas Jabonosa en el C.E. Embarcadero Cahuaré, Chiapa de Corzo, Chiapas. Resultados del Proyectos de Investigación del SIINV-UNACH. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2011A. Evaluación de la Calidad del Agua en la Cuenca Baja del Río Cuxtepeques, La Concordia, Chiapas. Resultados del Proyectos de Investigación del SIINV-UNACH. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2011B. Propuesta para la Implementación de Desarrollo Sustentable Indígena (PRODESI) de la Región XIV Tulijá Tzeltal Chol del Estado de Chiapas. Revista Pakbal vol. 10. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2013A. Apuntes y Compilación de artículos de Ingeniería Sanitaria para Comunidades Rurales. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2013B. Apuntes y Compilación de artículos de Tratamiento de Aguas Residuales Domiciliarias. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2013C. Apuntes y Compilación de artículos de Impacto Ambiental. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2013D. Apuntes y Compilación de artículos de Ecología y Protección Ambiental. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2013E. Apuntes y Compilación de artículos de Desarrollo Sustentable. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2013F. Apuntes y Compilación de artículos de Procesos Biológicos. Facultad de Ingeniería, UNACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Guillén-Trujillo, Hugo A. 2015. Apoyo Técnico para el Sistema de Cartografía y Digitalización. Facultad de Ingeniería. UNACH.

H. Ayuntamiento de Arriaga. 2011 – 2012. Plan de Desarrollo Municipal. Ocosingo, Chiapas.

H. Congreso de la Unión. 2014. LGEEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México.

Heinke, J. G. (1999). Ingeniería ambiental 2a Edición. Mexico: prentice hall.

Hernández, J. G. (2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Catalunya: Universidad de Catalunya.

INEGI. 2010. Anuario Estadístico de Chiapas, México.

INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda 2010, Resultados Definitivos, México.

ISEF. 2014. Agenda Ecológica Federal. 7ª.Edición.

Kadlec, R. H and R. L. Knight. 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publishers.

Kiely, Gerard. 1999. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Mc. Graw Hill.

Mariano, S. C. (1997). Ingeniería de medio ambiente. España: mundi-prensa.

Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo II. McGraw-Hill, Inc.

ÑIQUE, Á. (2014). M. Humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Perú, Sociedad Peruana de Gestión Ambiental [en línea].

Peña, C. (2011). Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental.

Ramalho, R. S. (1996). Introduction to wastewater treatment processes, second edition. España: reverté, s.a.

Romero Rojas, J. A. (2009). Calidad del agua. Bogotá, Colombia: Alfaomega.

Scheaffer, Mendenhall, & L. Ott. (1990). Elementary Survey Sampling. PWS-KENT Publishing Company.

Universidad Autónoma de Chiapas, (2013). Beutelspacher S. Ivalú, apuntes de la materia Tratamiento de aguas residuales, Facultad de Ingeniería.

Vázquez G., A., & César V., E. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México, D.F.: Fundación ICA, A.C.

#### PÁGINAS RELEVANTES CONSULTADAS EN INTERNET:

[www.bitacora.semahn.chiapas.gob.mx](http://www.bitacora.semahn.chiapas.gob.mx)

[www.cecodes.net](http://www.cecodes.net)

[www.ceieg.chiapas.gob.mx](http://www.ceieg.chiapas.gob.mx)

[www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)

[www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)

[www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx)

[www.semahn.chiapas.gob.mx](http://www.semahn.chiapas.gob.mx)

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

[www.profepa.gob.mx](http://www.profepa.gob.mx)

# CAPÍTULO IX

## 9. ANEXOS.

### 9.1. Memoria de cálculo Excel.

<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	
<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango    Modulo: PTAR	
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	
INDICE	
<a href="#">DATOS GENERALES</a>	
<a href="#">DOTACIÓN Y APORTACIÓN</a>	
<a href="#">CALCULO DE GASTOS</a>	
<a href="#">PÁRAMETROS DE DISEÑO</a>	
<a href="#">CANAL DE LLEGADA</a>	
<a href="#">DISEÑO DE REJILLAS</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL DESARENADOR</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL VERTEDOR PROPORCIONAL</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL DE CANAL PARSHALL</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL SEDIMENTADOR DE TRES CAMARAS</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL TANQUE IMHOFF</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL FILTRO PERCOLADOR</a>	
<a href="#">DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL</a>	
<a href="#">DISEÑO DEL TAQUE DE CONTACTO DE CLORO</a>	
<a href="#">TRATAMIENTO DE LODOS</a>	
<a href="#">DIGESTOR ANAEROBIO</a>	
<a href="#">DIGESTOR AEROBIO</a>	

#### 9.1.1. Datos generales.

<b>DATOS GENERALES</b>	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango    Modulo: PTAR	
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

Proyecto:	DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RES
Campamento:	Tenango
Localidad:	Tenango
Municipio:	OCOSINGO
Estado:	CHIAPAS
Modulo:	PTAR
Población (1)	8500
Tasa crecimiento (1)	2.70
Clase socioeconómica (2)	POPULAR
Aportación (%)	70

Temperatura (°C)	Periodo		Mínima		Máxima	
	Mayo	Octubre	12.0	22.5	21.0	34.5
	Noviembre	Abril	9.0	19.5	18.0	30.0

(1) Según el II CONTEO DE POBLACION Y VIVIENDA 2005 INEGI.

(2) Puede ser: RESIDENCIAL, MEDIA ó POPULAR.

#### R.B. PERSPECTIVA ESTADÍSTICA CHIAPAS (INEGI, 2011)

TASA NATALIDAD CHIAPAS (INEGI, 20	2.04	
TASA GLOBAL DE FECUNDIDAD	2.2	CRECIMIENTO ENTRE 2005-2010
PROMEDIO DE OCUPANTES POR VIVIENDA PARTICULAR HABITADA (2005-2010)	4.4	
DISPONIBILIDAD DE SERVICISO BÁSICOS DRENAJE (%)	83.4	
DOTACIÓN DE AGUA POTABLE POR HABITANTE (LPD)	175	

#### 9.1.2. Dotación y aportación.

DOTACION Y APORTACION	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango	Modulo: PTAR
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

TEMPERATURA PROMEDIO								
Periodo		Duración	Temperatura			Temperatura (°C)		
		Meses	Mínima	Promedio		Máxima	Promedio	
Mayo	Octubre	6	12.0	22.5	17.3	21.0	34.5	27.8
Noviembr	Abril	6	9.0	19.5	14.3	18.0	30.0	24.0
					15.8			25.9
Temperatura Media Anual: 20.9								

CLASIFICACION DE CLIMAS POR SU TEMPERATURA	
Temperatura Media Anual (°C)	Tipo de Clima
Mayor que 22.1	Cálido
De 18.0 a 22.0	Semicálido
De 12.0 a 17.9	Templado
De 5.0 a 11.9	Semifrio
Menor que 5	Frio
El Clima se selecciona en función de la temperatura media anual.	

El tipo de clima de la localidad de Tenango es SEMICÁLIDO

CONSUMO DOMESTICO PER CAPITA			
Clima	Clase Socioeconómica (litros/habitante/día)		
	Residencia	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100
Semifrio	250	195	100

El consumo domestico per capita de la localidad de Tenango municipio de es de 205 litros por habitante por día.

El valor de la aportación se estima como el 70% del valor de la dotación. Para la localidad de Tenango que tiene una población de proyecto de 8500 habitantes y una temperatura media anual de 20.9 °C (ver tabla TEMPERATURA PROMEDIO), el valor de la dotación es de 205 litros por habitante por día (ver tabla CONSUMO DOMESTICO PER CAPITA); entonces se tiene:

Aportación = 75% \* 205 litros por habitante por día

Aportación = 153.75 litros por habitante por día



### 9.1.3. Cálculo de gastos.

POBLACIÓN ACTUAL 2014		POBLACIÓN ACTUAL 2024	
<b>CÁLCULO DE GASTOS</b> $Q_{med} = \frac{P \times Ap}{86400}$ $Ap = 0.75 \text{ Dotación}$		<b>CÁLCULO DE GASTOS</b> $Q_{med} = \frac{P \times Ap}{86400}$ $Ap = 0.75 \text{ Dotación}$	
<b>Gasto medio diario</b> Dotación= 130 lt/hab/día P= 8 500 hab Ap= 97.5 lt/hab/día 86400 Número de segundos que tiene un día Qmed= 9.592 lt/seg <b>Qmed= 0.0096 m3/s</b>		<b>Gasto medio diario</b> Dotación= 130 lt/hab/día P= 11096 hab Ap= 97.5 lt/hab/día 86400 Número de segundos que tiene un día Qmed= 12.5215278 lt/seg <b>Qmed= 0.013 m3/s</b>	
<b>Gasto mínimo</b> $Q_{min} = \frac{Q_{med}}{2}$ <b>Qmin= 0.0048 m3/s</b>		<b>Gasto mínimo</b> $Q_{min} = \frac{Q_{med}}{2}$ <b>Qmin= 0.006 m3/s</b>	
<b>Gasto máximo instantáneo</b> $Q_{maxinst} = M \cdot Q_{med}$ $M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$ M= 3.024 <b>Qmaxinst= 0.029 m3/s</b>		<b>Gasto máximo instantáneo</b> $Q_{maxinst} = M \cdot Q_{med}$ $M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$ M= 2.9097 <b>Qmaxinst= 0.036 m3/s</b>	
<b>Gasto máximo extraordinario</b> $Q_{maxext} = C_s \cdot Q_{maxinst}$ <b>Qmaxext= 0.044 m3/s</b>		<b>Gasto máximo extraordinario</b> $Q_{maxext} = C_s \cdot Q_{maxinst}$ <b>Qmaxext= 0.055 m3/s</b>	

### 9.1.4. Canal de llegada.

El canal de acceso o de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción en la planta. Para el proyecto se propone un canal de conducción a cielo abierto y con sección rectangular

CANAL DE LLEGADA									
	Q	v	A=Q/v	b	H=A/b	S	Rh=(bH)/(b+2H)	v=(1/n)Rh <sup>2/3</sup> S <sup>1/2</sup>	
AÑO	GASTO (m³/S)	Velocidad Propuesta (m/s)	Área (m²)	Ancho canal propuesto (m)	Tirante (m)	Pendiente (m/m)	Radio hidráulico	Velocidad (m/s)	
10 años	Pico	0.055	0.715	0.076	0.5	0.153	0.002	0.095	0.716
	Medio	0.013	0.442	0.028	0.5	0.057	0.002	0.046	0.443
	Mínimo	0.006	0.345	0.018	0.5	0.036	0.002	0.032	0.345
20 años	Pico	0.068	1.2	0.057	0.5	0.114	0.002	0.078	0.630
	Medio	0.016	1.04	0.016	0.5	0.031	0.002	0.028	0.317
	Mínimo	0.008	0.907	0.009	0.5	0.018	0.002	0.017	0.226
Actual	Pico	0.044	0.669	0.065	0.5	0.130	0.002	0.086	0.668
	Medio	0.010	0.403	0.024	0.5	0.048	0.002	0.040	0.402
	Mínimo	0.005	0.313	0.015	0.5	0.031	0.002	0.027	0.312

### 9.1.5. Parámetros de diseño.

PARAMETROS DE DISEÑO	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango      Modulo: PTAR	
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

COMPOSICION TIPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA BRUTA				
Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350.00	720.00	1,200.00
Disueltos totales (SDT)	mg/l	250.00	500.00	850.00
Fijos	mg/l	145.00	300.00	525.00
Volátiles	mg/l	105.00	200.00	325.00
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100.00	220.00	350.00
Fijos	mg/l	20.00	55.00	75.00
Volátiles	mg/l	80.00	165.00	275.00
Sólidos sedimentables	ml/l	5.00	10.00	20.00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> , 2)	mg/l	110.00	220.00	400.00
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80.00	160.00	290.00
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250.00	500.00	1,000.00
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20.00	40.00	85.00
Orgánico	mg/l	8.00	15.00	35.00
Amoniaco libre	mg/l	12.00	25.00	50.00
Nitritos	mg/l	0.00	0.00	0.00
Nitratos	mg/l	0.00	0.00	0.00
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4.00	8.00	15.00
Orgánico	mg/l	1.00	3.00	5.00
Inorgánico	mg/l	3.00	5.00	10.00
Cloruros	mg/l	30.00	50.00	100.00
Sulfato	mg/l	20.00	30.00	50.00
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	50.00	100.00	200.00
Grasa	mg/l	50.00	100.00	150.00
Coniformes totales	NMP/100 ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	µg/l	< 100	100-400	> 400

9.1.6. Diseño de rejillas.

DISEÑO DE REJILLAS	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango    Modulo: PTAR	
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

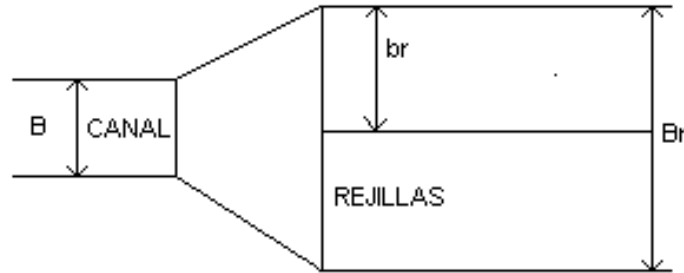
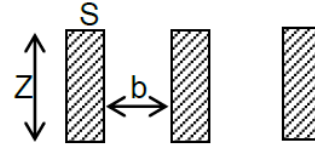
Información típica de diseño para rejillas de limpieza manual y mecánica		
Característica	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Velocidad a través de las rejillas	[0.3 - 0.6]	[0.6 - 1]
Tamaño de la barra:		
Ancho (S), mm	[4 - 8 mm]	[8 - 10 mm]
Profundidad (Z), mm	[25 - 50 mm]	[50 - 75 mm]
Separación entre barras (b), mm	[25 - 75 mm]	[10 - 50 mm]
coeficiente K	[1.1 - 1.2]	1.05
Pendiente en relación a la	[45° - 60°]	[75° - 85°]

DISEÑO DE LAS REJILLAS		
Valores seleccionados		
S=	9 mm	[8 - 10 mm]
Z=	60 mm	[50 - 75 mm]
b=	40 mm	[10 - 50 mm]
α=	75 °	[75° - 85° mm] = 2.42
Vr=	0.8 m/s	[0.6 - 1m/s]
β=	2.42	

Número de barras (n):		
$n = \frac{Q}{bHVr} K - 1$		
K=	1.1 - 1.2 limpieza manual	
K=	1.05 limpieza mecánica	n= 10.730469
Q=	0.055 m <sup>3</sup> /s	<b>n= 11 barras</b>
H=	0.15 m	
b=	0.04 m	
Vr=	0.8 m/s	
$Br = (n + 1)b + ns$		
		<b>Br= 0.6 m</b>
Considerando 2 secciones de rejillas:		
$br = \frac{Br}{2}$		
		<b>br= 0.29 m</b>

**Factor de forma de barras para rejas  $\beta$**

2.42	1.79	1.83	1.035	1.67	0.76	0.92



<b>Longitudes:</b>			
Si $\gamma = 20^\circ$ entonces:			
Donde:			
Br= ancho canal de rejillas	0.6 m	$I_1 = \frac{Br - B}{2 \tan \gamma}$	$I_1 = 0.11 \text{ m}$
B=ancho canal de entrada	0.29 m	$I_2 = \frac{l_1}{2}$	$I_2 = 0.05 \text{ m}$
B=	0.5 m		
$\gamma =$	$20^\circ$		
Tany=	0.364		
Si se acepta $h = 0.3 \text{ m}$ ; bordo libre $h = 0.2 - 0.4 \text{ m}$ .			
		$I_3 = \frac{H - h}{\tan \alpha}$	$I_3 = 0.12 \text{ m}$
h=	0.3 m		
$\alpha =$	$75^\circ$		
Tan $\alpha =$	3.732	$I_4 = 0.80 \text{ m}$	[0.8 - 1.0m]
		$I_5 = 1.0 \text{ m}$	[1.0 - 1.2m]

**Pérdidas hidráulicas:**

La velocidad antes de la rejilla es:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \Rightarrow \quad V_2 = \frac{V_1 A_1}{A_2}$$

		<b>V2=</b>	<b>0.62 m/s</b>
V1= velocidad	0.715 m/s		
H= tirante	0.153 m		
B= ancho canal de entrada	0.500 m		
Br= ancho canal de rejillas	0.579 m		

$$\xi = \beta \left( \frac{S}{b} \right)^{4/3} \text{sen } \alpha$$

		<b>\xi=</b>	<b>0.320</b>
S= ancho de la barra	0.009 mm		
b= separación entre barras	0.04 mm		
\beta=	2.42		
Sen\alpha=	0.966		

Si k=3 (efecto del material retenido).

		<b>\Delta H=</b>	<b>0.02 m</b>
V2= velocidad	0.617 m/s		
efecto del material retenido	3		
g= gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>		
\xi=	0.3199		

$$\Delta H = \xi \frac{V^2}{2g} K$$

**Material retenido en la rejilla (G)**

Para separaciones entre barras de 10 a 100 mm

b= separación entre barras	40 mm		
b=	40 mm		

$$Mr = \frac{180}{b^{1.15}}$$

		<b>Mr=</b>	<b>2.6 l/hab/año</b>
<b>N=</b>	<b>11096 hab</b>		

$$V_{material} = \frac{Mr N}{365(1000)}$$

		<b>Vmaterial=</b>	<b>0.1 m<sup>3</sup>/d</b>
mat= volumen de la materia	2.03 m <sup>3</sup> /d		
\gamma_{mat}=	0.75 t/m <sup>3</sup>		

$$G = (V_{mat})(\gamma_{mat})$$

		<b>G=</b>	<b>0.06 ton/d</b>
--	--	-----------	-------------------

### 9.1.7. Diseño del desarenador

DISEÑO DEL DESARENADOR	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango	Modulo: PTAR
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

El diseño del desarenador de flujo horizontal se basa en el concepto del tanque de sedimentación ideal.

DISEÑO DEL DESARENADOR			
Si se considera un diámetro de partícula $d=0.20$ mm para un desarenador horizontal (tipo canal) de tabla se obtiene $U_0=18.7$ mm/s y $k=1.67$ , entonces:			
$U = \frac{U_0}{K}$	$U_0=$	18.7 mm/s	$U=$
	$K=$	1.67	$U=$
			11.198 mm/s
			<b>U= 0.011 m/s</b>

Tiempo de retención:			
Considerando $h_1 \sim h_{\text{canal}} = 0.15$ m			
$T = \frac{h_1}{U}$	$h_1=$	0.15 m	$T=$
			<b>14 seg</b>
			[ $T \geq 30$ seg]

Longitud:			
Considerando que $V=0.3$ m/s para $Q_{\text{pico}}$ , entonces:			
$L = \frac{V h_1}{U}$	$V=$	0.3 m/s	
	Establecido para la velocidad de la partícula.		
			<b>L= 4 m</b>

Área transversal:			
$A_{\text{TRANS}} = \frac{Q}{V}$	$Q=$	0.055 m <sup>3</sup> /s	$A_{\text{TRANS}}=$
			<b>0.2 m<sup>2</sup></b>

**Área superficial:**

$$A_{SUP} = \frac{Q}{U}$$

**A<sub>SUP</sub>= 5 m<sup>2</sup>**

**Ancho (B):**

$$B = \frac{A_{SUP}}{L}$$

**B= 1.2 m**

Si se consideran n= 2 canales:

$$b = \frac{B}{2}$$

**b= 0.6 m**

**Cantidad de arena:**

Cantidad unitaria de arena retenida = 0.02 l/hab/día.

$$Q_{arena} = (No. equiv)(cant. Unit)$$

Considerando que el No. equiv. = No. Hab. dado a que no hay influencia industrial, se tiene:

Cant. Unit=	0.02 l/hab/día	Qarena =	221.92 l/día
No. Equiv=	11096 hab	Qarena =	0.22192 m <sup>3</sup> /día
		<b>Qarena =</b>	<b>2.56852E-06 m<sup>3</sup>/seg</b>

**Altura (H):**

h<sub>1</sub>= Tirante en el canal = 0.45 m

h<sub>1</sub>= 0.153 m

$$h_2 = \frac{(Q_{arena})(T)}{L b n}$$

h<sub>2</sub>= 7.18E-06 m

Por cuestiones constructivas, se considerará h<sub>2</sub>=0.1 m

h<sub>2</sub>= 0.1 m

h<sub>3</sub> = 0.3 m (bordo libre)

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

**H= 0.6 m**

**Volumen de la tolva:**

Si aceptamos Tr tolva= 1 día.

Tr tolva= 1 día

$$V_{tolva} = (Q_{arena})(Tr tolva)$$

**V tolva= 0.22 m<sup>3</sup>**

### 9.1.8. Diseño del canal Parshall.

DISEÑO DEL CANAL PARSHALL	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango	Modulo: PTAR
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

#### DISEÑO DEL CANAL PARSHALL (Control de velocidad en el desarenador)

$Q_{min} = 0.018 \text{ m}^3/\text{seg}$        $\rightarrow$        $Q_{min} = 18 \text{ lps}$   
 $Q_{pico} = 0.080 \text{ m}^3/\text{seg}$        $Q_{pico} = 80 \text{ lps}$

Debido a que no se encuentra en tablas el caudal pico ( $Q=80 \text{ lps}$ ) se toma el siguiente caudal mayor a este.

Por lo que  $w=6''$  (111 lps).

Si 1 pulgada = 0.0254 m

$w = 6' \rightarrow 111 \text{ lps}$   
 $w = 0.1524 \text{ m}$

Para las dimensiones completas del canal parshall se obtiene de tablas correspondiente a  $W$  en este caso  $6''$  (111 lps)



Estableciendo la relación entre gastos mínimo y máximo:

$$\frac{Q_{min}}{Q_{max}} = \frac{d_{min}}{d_{max}} \Rightarrow \frac{Q_{min}}{Q_{max}} = \frac{1.1 \left( \frac{Q_{min}}{2.26w} \right)^{2/3} - Z}{1.1 \left( \frac{Q_{max}}{2.26w} \right)^{2/3} - Z}$$

$$\frac{0.2222}{0.15304804} = \frac{0.41716013 - Z}{0.15304804 - Z}$$

**Z = 0.08 m**

$$d_{max} = 1.1 \left( \frac{Q_{max}}{2.26w} \right)^{2/3} - Z$$

**dmax = 0.34 m**

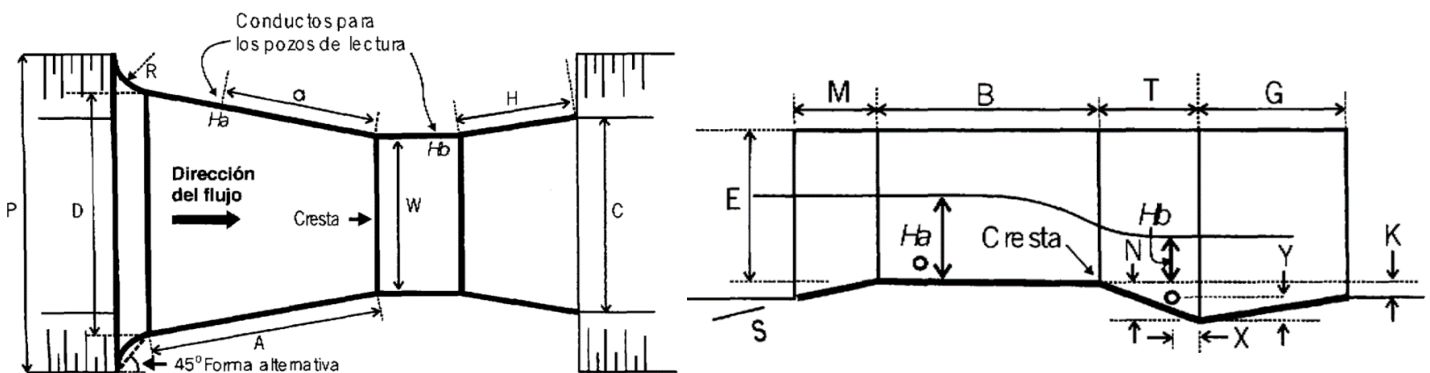
$$d_{min} = 1.1 \left( \frac{Q_{min}}{2.26w} \right)^{2/3} - Z$$

**dmin = 0.08 m**

$$b = \frac{Q_{min}}{d_{min} V_r} = \frac{Q_{max}}{d_{max} V_r}$$

**b = 0.790 = 0.790**

**Vr = 0.3 m/s**

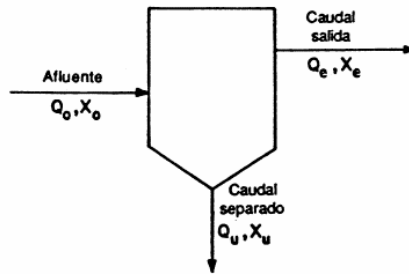


Dimensiones de Canales Parshall (mm)

W	A	2/3 A	B	C	D	E	T	G	H	K	M	N	P	R	X	Y
25.4 (1")	362.7	241.8	355.6	92.9	167.5	152.4 α 228.6	76.2	203.2	206.4	19.0	*	28.6	*	*	7.9	12.7
50.8 (2")	414.3	276.2	406.4	134.9	213.5	152.4 α 254.0	114.3	254.0	257.2	22.2	*	42.9	*	*	15.9	25.4
76.2 (3")	466.7	311.1	457.2	177.8	258.8	304.8 α 457.2	152.4	304.8	308.8	25.4	*	57.2	*	*	25.4	38.1
152.4 (6")	620.7	413.8	609.6	393.7	396.9	609.6	304.8	609.6	*	76.2	304.8	114.3	901.7	406.4	50.8	76.2
228.6 (9")	879.5	586.3	863.6	381.0	574.7	762.0	304.8	762.0	*	76.2	304.8	114.3	1079.5	406.4	50.8	76.2
304.8 (1')	1371.6	914.4	1343.0	609.6	844.5	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	1492.2	508.0	50.8	76.2
457.2 (1' 6")	1447.8	965.2	1419.2	762.0	1025.5	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	1676.4	508.0	50.8	76.2
609.6 (2')	1524.0	1016.0	1495.4	914.4	1206.5	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	1854.2	508.0	50.8	76.2
914.4 (3')	1676.4	1117.6	1644.6	1219.2	1571.6	914.4	609.6	914.4	*	76.2	381.0	228.6	2222.5	508.0	50.8	76.2
1219.2 (4')	1828.8	1219.2	1793.9	1524.0	1936.7	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	2711.4	609.6	50.8	76.2
1524.0 (5')	1981.2	1320.8	1943.1	1828.8	2301.9	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	3079.7	609.6	50.8	76.2
1828.8 (6')	2133.6	1422.4	2092.3	2133.6	2667.0	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	3441.7	609.6	50.8	76.2
2133.6 (7')	2286.0	1524.0	2241.5	2438.4	3032.1	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	3810.0	609.6	50.8	76.2
2438.4 (8')	2438.4	1625.6	2390.8	2743.2	3397.2	914.4	609.6	914.4	*	76.2	457.2	228.6	4171.9	609.6	50.8	76.2
3048.0 (10')	*	1828.8	4267.8	3657.6	4756.1	1219.2	914.4	1828.8	*	152.4	*	342.9	*	*	304.8	228.6
3657.6 (12')	*	2032.0	4876.8	4470.4	5607.1	1524.0	914.4	2438.4	*	152.4	*	342.9	*	*	304.8	228.6
4572.0 (15')	*	2336.8	7620.0	5588.0	7620.0	1828.8	1219.2	3048.0	*	228.6	*	457.2	*	*	304.8	228.6
6096.0 (20')	*	2844.8	7620.0	7315.2	9144.0	2133.6	1828.8	3657.6	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
7620.0 (25')	*	3352.8	7620.0	8940.8	10668.0	2133.6	1828.8	3962.4	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
9144.0 (30')	*	3860.8	7924.8	10566.4	12312.6	2133.6	1828.8	4267.2	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
12192.0 (40')	*	4876.8	8229.6	13817.6	15481.3	2133.6	1828.8	4876.8	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6
15240.0 (50')	*	5892.8	8229.6	17272.0	18529.3	2133.6	1828.8	6096.0	*	304.8	*	685.8	*	*	304.8	228.6

9.1.9. Diseño del sedimentador circular primario.

### Sedimentador circular



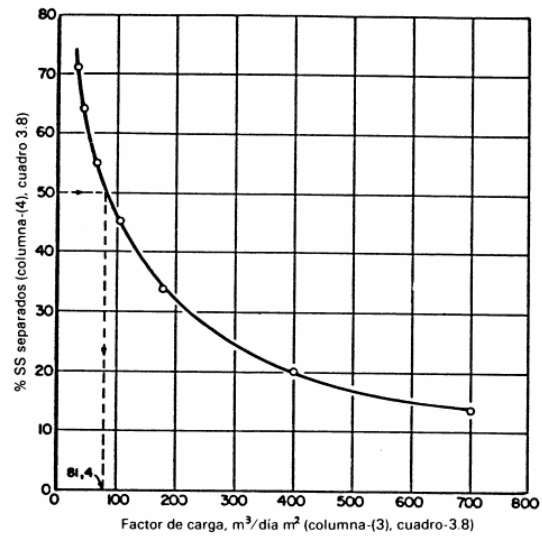
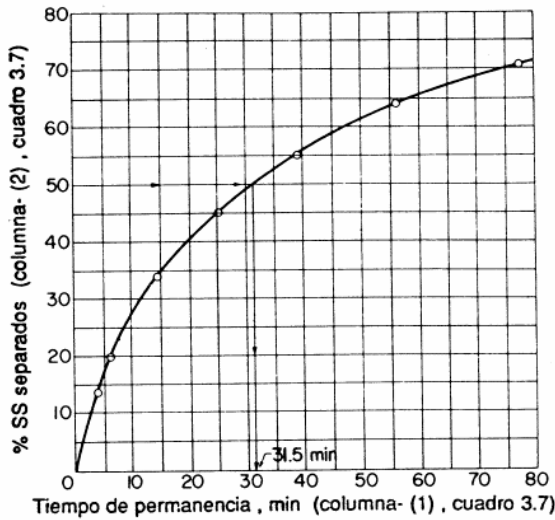
Balance de líquidos:  
 $Q_o = Q_e + Q_u$

Balance de sólidos:  
 $Q_o X_o = Q_e X_e + Q_u X_u$

Utilizando las figuras de la prueba de sedimentación en columna, Fig. 3.16 (Pág. 121) y Fig.3.17 (Pág. 122) del Ramalho.

Para la separación del 50% de los sólidos en suspensión se obtiene:

t=	31.5 min	0.022 días
q=	81.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	(Factor de carga)



Para un tiempo de 31.5 min de la Fig. 3.2 (Pág. 125) del Ramalho se tiene:

$$X_u = 0.0107 \left( 1 \times 10^6 \frac{mg}{l} \right)$$

$$X_u = 0.0107$$

$$X_u = 10700 \text{ mg/l}$$

Para separar el 50%  $S_{s\text{prom}} = 220 \text{ mg/l}$

$$X_e = 0.5 (S_{s\text{prom}})$$

$$S_{s\text{prom}} = 220 \text{ mg/l}$$

$$X_e = 110 \text{ mg/l}$$

$$Q_e = \frac{Q_o(X_u - X_o)}{X_u - X_e}$$

$$Q_e = 8227 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_o = 8313.41 \text{ m}^3$$

$$X_o = 220 \text{ mg/l}$$

$$Q_u = Q_o - Q_e$$

$$Q_u = 86 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cálculo del área, diámetro y altura efectiva del sedimentador		
$A = \frac{Qe}{q}$	A=	101 m <sup>2</sup>
$D = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{1/2}$	D=	11 m
$H = \frac{Vol.}{A} = \frac{Qo t}{A}$	H=	2 m

Acumulación diaria de lodos (kg/d)

Considerando  $\gamma=1 \text{ ton/m}^3$

En peso total =  $86.35 \text{ m}^3/\text{d} = 86,350 \text{ kg/d}$

En peso, contenido de sólidos=  $86,350 \text{ kg/d}(1.07/100) = 924 \text{ kg}$  de materia seca

NOTA: El Qdiseño no es el mismo que el Qefluente porque una parte se saca con los lodos, l

9.1.10. Diseño del reactor anaerobio del flujo ascendente.

DISEÑO DE REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango	Modulo: PTAR
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE		
Qm=	12.52 l/seg	45 m <sup>3</sup> /hr
T=	15 °C	
Trzona Ana=	6 hrs	
V asc. Del l.	0.45 m/hr	
Comax=	2 kg DBO/m <sup>3</sup> *día	
CH=	4 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *día	
Trzona de sed=	2 hrs	
C.S.=	16 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *Día	
Ainfl. Por orif=	8 m <sup>2</sup>	
DBO=	220.00 mg/l	0.22 kg/m <sup>3</sup>

Volumen requerido para la cámara de digestión	
V= Tr*Qm	V= 270 m <sup>3</sup>

Determinación del área requerida para la cámara de digestión anaerobia	
A=Q/Vasc	A= 100 m <sup>2</sup>

Determinación de la altura de lodos	
H=V/A	H= 2.7 m

Determinación del área superficial requerida para la cámara de sedimentación	
Asup=Qm/C.S.	Asup= 68 m <sup>2</sup>

Determinación del volumen de la cámara de sedimentación	
V=Qm*Tr	V= 90 m <sup>3</sup>

### Determinación de la altura de la cámara de sedimentación

$$H=V/Asup$$

$$H= 1.3 \text{ m}$$

### Número de orificios de alimentación de aguas crudas hacia la cámara de digestion

$$\text{No. De orificio}=A/a$$

$$\text{No de orifici} 13$$

### Generación de gas

$$\text{Carga total}= Q_{\max} (\text{DBO})(1\text{kg}/1000000\text{mg})(86400\text{seg}/\text{dia})$$

$$\text{Carga Total}= 570 \text{ kgDBO}/\text{dia}$$

Considerando 200 l de gas /kg DBO

$$\text{Generación de gas}= 114048 \text{ l}/\text{dia}$$

$$114 \text{ m}^3/\text{dia}$$

### Revisión de diseño

$$\text{CMA}=\text{CDBO}/t$$

CMA=Carga máxima aplicada

CDBO= Carga de aplicaicón (kg/m<sup>3</sup>)

t=tiempo de retención de la cámara de digestion (días)

$$\text{CMA}= 0.88 \text{ Kg}/\text{m}^3 \cdot \text{dia} < \text{CMP}$$

La carga máxima permisible (CMP) no debe de exceder a 2Kg/m<sup>3</sup>\*día por lo cual es correcta la carga máxima aplicada

### REEVISIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA

$$\text{CH}=\text{Q}/\text{V}$$

CH= Carga hidráulica aplicada

Q= Caudal de aguas crudas (m<sup>3</sup>/día)

V= Volumen de la cámara de digestion (m<sup>3</sup>)

$$\text{CH}= 4 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{día} \leq \text{CHP}$$

Carga hidráulica permisible (CHP) no debe de exceder a 4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>\*día, por lo cual es correcta la carga hidráulica aplicada.

9.1.11. Diseño de tanque sedimentador de tres cámaras.

Determinación del volumen de sólidos diario (VSD).			
$VSD = PP * As$			
PP	Población de proyecto	11096	hab
AS	Aportación de sólidos	0.07	kg/hab/día
VSD	Volumen de solidos diario	776.72	kg/día

Determinación del volumen total de la fosa séptica (VTFS).			
$Qd = Qo * CR1$			
Qo	Gasto de operación	1,081.86	m <sup>3</sup>
CR1	Coeficiente de contribución	75%	APORTACIÓN
Qd	Gasto de diseño	811.40	m <sup>3</sup>

Determinación del ancho de la fosa séptica (AFS).			
VST	Volumen de solidos totales	708.76	m <sup>3</sup>
Qd	Gasto de diseño	811.40	m <sup>3</sup>
$AES = \sqrt{\frac{VTFS + Qd}{RFS * PFS}}$			
VTFS	Volumen total fosa séptica	1,520.15	m <sup>3</sup>
RFS	Relación fosa séptica	2.00	
PFS	Profundida fosa séptica	2.00	m
AFS	Ancho fosa séptica	19.49	m
AFSP	Ancho fosa séptica (ok)	19.49	m

Determinación del largo de la fosa séptica (LFS).			
$LFS = \frac{VTFS}{AFSP * PFS}$			

Determinación de la longitud de la cámara 3 (LC3).			
VTFS	volumen total fosa séptica	1,520.15	m <sup>3</sup>
AFSP	Ancho fosa séptica	19.49	m
PFS	Profundida fosa séptica	2.00	m
LFS	Largo fosa séptica (ok)	39.00	m
CR3	Coeficiente de aportación cámaras	33%	%
LC3	Largo cámara 3 y 2	12.87	m

**Determinación del tiempo de retención hidráulico (TRH).**

$$TRH = \frac{VTFS}{Qd}$$

VTFS	Volumen total fosa séptica	1,520.15	m <sup>3</sup>
Qd	Gasto de diseño	811.40	m <sup>3</sup> /día
TRH	Tiempo de retención	1.87	días
TRH	Tiempo de retención	44.96	horas

9.1.12. Diseño del tanque Imhoff.

DISEÑO DE TANQUE IMHOFF	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango	Modulo: PTAR
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y cámara de natas.

**ÁREA DEL SEDIMENTADOR**

$$As = \frac{Qp}{Cs}$$

Qp= Caudal de diseño (Qm)

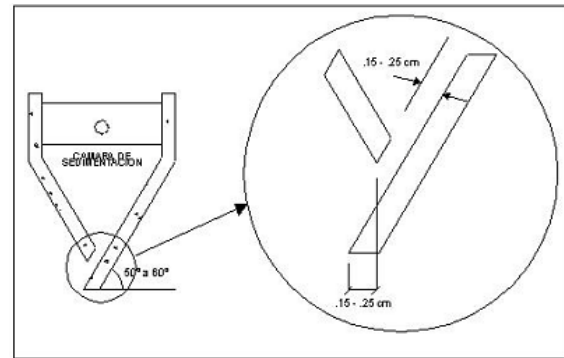
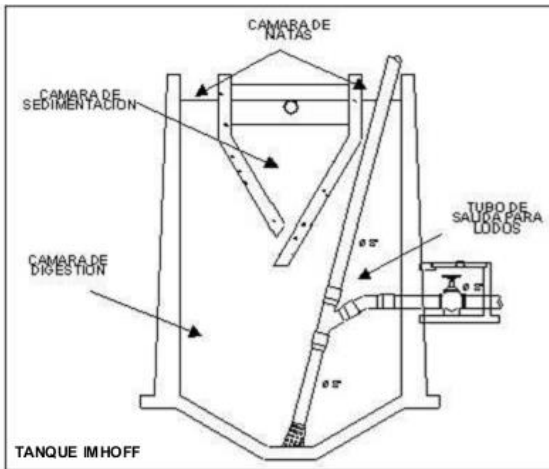
Qp= 45.0775 m<sup>3</sup>/hora

Cs: Carga superficial, igual a 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

Cs= 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

As= 45 m<sup>2</sup>





### VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR

$$V_s = Q_p * R$$

$$V_s = 90 \text{ m}^3$$

R: Periodo de retención hidráulica, entre 1,5 a 2,5 horas (recomendable 2 horas).

$$R = 2 \text{ Horas}$$

El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de 50° a 60°.

En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digester, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.

Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digester hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de

### LONGITUD MINIMA DEL VERTEDERO DE SALIDA

$$L_v = \frac{Q_{\max}}{Ch_v}$$

$Q_{\max}$ = Caudal máximo diario de diseño, en  $\text{m}^3/\text{día}$ .

$Ch_v$ =Carga hidráulica sobre el vertedero, estará entre 125 a 500  $\text{m}^3/(\text{m}^*\text{día})$ , (recomendable 250).

$$Q_{\max} = 4721.80184 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Ch_v = 250 \text{ m}^3/(\text{m}^*\text{día})$$

$$L_v = 19 \text{ m}$$

**DISEÑO DEL DIGESTOR**

Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tendrá en cuenta la siguiente tabla:

Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (fcr)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
>25	0,5

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1000}$$

fcr= factor de capacidad relativa, ver tabla.

fcr= 0.5

P = Población.

P= 11096 habitantes

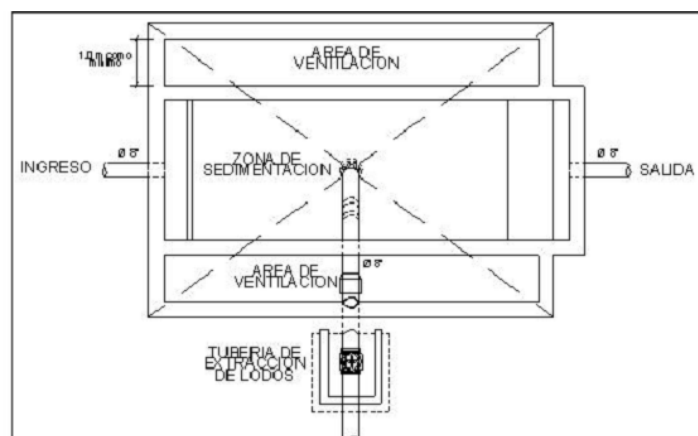
**Vd= 388 m<sup>3</sup>**

El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), para facilitar el retiro de los lodos digeridos.  
 Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.  
 La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.

**TIEMPO REQUERIDO PARA DIGESTIÓN DE LODOS**

El tiempo requerido para la digestión de lodos varía con la temperatura, para esto se empleará la siguiente tabla

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30



**FRECUENCIA DEL RETIRO DE LODOS**

Los lodos digeridos deberán retirarse periódicamente, para estimar la frecuencia de retiros de lodos se usarán los valores consignados en la tabla anterior.

**EXTRACCIÓN DE LODOS**

El diámetro mínimo de la tubería para la remoción de lodos será de 200 mm y deberá estar ubicado 15 cm por encima del fondo del tanque.  
Para la remoción se requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m.

**ÁREA DE VENTILACIÓN Y CÁMARA DE NATAS**

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador (zona de espuma o natas) se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El espaciamiento libre será de 1,0 m como mínimo.
- La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.
- El borde libre será como mínimo de 0,30 cm.

9.1.13. Diseño del filtro percolador circular.

<b>DISEÑO DE FILTRO PERCOLADOR</b>
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Campamento: Tenango    Modulo: PTAR
Localidad: Tenango
Municipio: OCOSINGO
Estado: CHIAPAS

**DISEÑO DEL SISTEMA DE FILTROS PERCOLADORES**

Qdiseño= Qmedio= 0.012521528 m³/S  
Qmedio= 1081.86 m³/d

La eficiencia requerida en el tratamiento biológico será:

$$E = \frac{(S_o - S_e)(100)}{S_o} \quad E = 75.50 \%$$

So= 83.6 mg/l  
Se= 20.482 mg/l

**TABLA 8-5**  
Coeficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento

Proceso	Valor de $\theta$	
	Intervalo	Valor típico
Fangos activados	1,00-1,08	1,04
Lagunas aireadas	1,04-1,10	1,08
Filtros percoladores	1,02-1,08	1,035

Suponiendo que la temperatura media en este caso es de 24° C y  $\theta=1.035$  para biofiltros

$$Kt = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

K20= 0.0025  
 $\theta= 1.035$

**Kt= 0.00259 l/seg.m²**

**Carga hidráulica superficial**

Si consideramos un filtro de tasa media, roca pequeña 25-65 mm  
 $q = 0.08 \text{ l/seg.m}^2$  [0.04 a 0.11]

**Área específica (As)**

$As = 55 \text{ m}^2/\text{m}^3$  [55 a 70]

**Recirculación**

Una ecuación propuesta para calcular la tasa de recirculación empleada en manuales de la EPA es:

$$R = 0.004 (S_o) - 0.6$$

So (mg/l)	150	200	300	400	500	600
R(%)	0	20	60	100	140	180

Para este caso como se tiene una baja concentración de DBO. No se considerará la recirculación R=0

**Altura del filtro (D) en m**

$$D = \frac{-\ln(S_e + S_e R) / (S_o + S_e R) q r^{0.5}}{K t A_s}$$

$qr = q_o (1 + R)$ , si R=0 la ecuación se simplifica:

$$D = \frac{-\ln\left(\frac{S_e}{S_o}\right) q^{0.5}}{K t A_s} \quad D = 3 \text{ m}$$

**Área superficial:**

$$A = \frac{Q}{q_o} \quad A = 157 \text{ m}^2$$

**Diámetro del filtro:**

Si se consideran 2 unidades, entonces:

$A_{\text{unit}} = 157 \text{ m}^2$	$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$	$D = 14 \text{ m}$	[D <sub>sist</sub> = 30 -40 m máximo]
$A_{\text{unit}} = 78 \text{ m}^2$		$D = 10 \text{ m}$	

Resultado para dos módulos de filtros percoladores

**DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO (Después de filtros percoladores)**

Para un sedimentador después de filtro percolador se tienen los siguientes valores.

Carga de superficie (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	Carga de sólidos (kg/m <sup>2</sup> /h)	Profundidad d (m)
GASTO MEDIO	GASTO MEDIO	3.0 - 4.5
0.678 - 1.017	2.93 - 4.88	

Asumiendo  $qh = 0.875 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h} = 21 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ ; entonces:

$qh = 0.875 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$   
 $qh = 21 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$

$$A_{cl} = \frac{Qd}{qh} \quad A_{cl} = 51.5 \text{ m}^2$$

**Determinación de la profundidad de la zona de clarificación (h1) y de la zona de separación (h2).**

T= 1-2 hr	T= 2 h	$h_1 = qht$	$h_1 = 1.75 \text{ m}$
	T= 0.083 d		
h <sub>2</sub> por recomendación.			$h_2 = 0.5 \text{ m}$

**Profundidad de la zona de acumulación de lodos (h3).**

Si la concentración de sólidos que entra al sedimentador se estima de 29.2 mg/l (0.0292 kg/m<sup>3</sup>) y considerando que el 90% quedan retenidos en la unidad, entonces la masa de lodo residual será:

Sólidos en el sedimentador = Qmed\*Conc. De Sol. \*%  
 Conc. De sol. = 0.0293 Kg/m<sup>3</sup>

Sólidos en el sedimentador = 28.49 Kg/d  
 Sólidos en el sedimentador = 0.028 ton/d

Considerando que la concentración de los sólidos del lodo secundario es de 20,000 mg/l (20 kg/m<sup>3</sup>) y que esta zona debe tener la capacidad de retener el lodo residual durante 2 días, se tiene:

SST l. sed= 20 Kg/m <sup>3</sup>	$h_3 = \frac{2 M. l. r}{A SST l. sed}$	$h_3 = 0.1 \text{ m}$
----------------------------------	--	-----------------------

**Profundidad total del tanque de sedimentación (H).**

$H = h_1 + h_2 + h_3$	$H = 2.31 \text{ m}$
-----------------------	----------------------

**Diámetro del sedimentador secundario:**

$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$	D= 8.1 m
	R= 4.05 m

**Volumen de la tolva.**

Considerando que la concentración de lodo es de 2% (2-3%) y =1 ton/m<sup>3</sup>, el gasto de lodo será:

Clodo= 2 %	$Ql. r = \frac{Ml. r}{C_{lodo} \gamma}$	Ql.r.= 1.42 m <sup>3</sup> /d
γ= 1 ton/m <sup>3</sup>		Ql.r.= 0.059 m <sup>3</sup> /h

Si el tiempo entre extracciones del lodo es de 2 horas, entonces:  $V_{tolva} = 0.12 \text{ m}^3$

### 9.1.14. Diseño de los lodos activados y sedimentador secundario.

DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Campamento: Tenango	Modulo: PTAR
Localidad: Tenango	
Municipio: OCOSINGO	
Estado: CHIAPAS	

Determinación del volumen del reactor (V)	
$V = \frac{\theta_c Q Y(S_o - S)}{X(1 + K_d \theta_c)}$	Se utiliza la ecuación de Lawrence y Mc Carty
<p>Donde:</p> <p>V=Volumen del reactor, m3</p> <p>So= Subtrato soluble y biodegradable en el influente (DBO5 soluble), mg/l</p> <p>S= Subtrato soluble en el efluente (DBO5 soluble), mg/l</p> <p><math>\theta_c</math>=Tiempo de retención celular, d</p> <p>Q= Caudal del influente, m3/d</p> <p>Y= Coeficiente de crecimiento, producción de células, kg SSV/kg DBO5 removida</p> <p>Kd= Coeficiente de decaimiento endógeno, d-1</p> <p>X= Concentración de células (SSV) en el reactor, mg/l</p>	

**Determinación de la S (DBO5 soluble en el efluente) y la eficiencia del tratamiento biológico.**

Asumiendo que 80% de los SST efluente son orgánicos (volátiles).

$$SSV_{ef} = 0.8(SS_{Tef})$$

Se requiere eficiencia de remoción de SST después del sedimentador primario.

EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE ALTERNATIVA TRES							
COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL (mg/l)		% DE REMOCIÓN DE SEDIMENTADOR		% DE REMOCIÓN DE LODOS ACTIVADOS		% DE REMOCIÓN DEL SEDIM. SECUNDARIO	
Contaminant	(mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)	%	Efluente (mg/l)
DBO	220	35%	143	87%	18.59	30%	13.013
DQO	500	35%	325	80%	65	40%	39
SS	220	57%	94.6	85%	14.19	60%	5.676
NT	40	25%	30	40%	18	10%	16.20
P	8	15%	6.8	17%	5.64	10%	5.08

$$SST_{ef} = 14.19 \text{ mg/l}$$

$$SSV_{ef} = 11.352 \text{ mg/l}$$

Considerando que 65% de los biosólidos son biodegradables.

$$SSV_{ef.bio.} = 0.65(SSV_{ef})$$

$$SSV_{ef.bio.} = 7.3788 \text{ mg/l}$$

Si 1.42 mgO<sub>2</sub> son consumidos por 1 mg de células oxidadas. La DBO última de los sólidos biodegradables en el efluente será:

$$DBO_{U}SS_{ef} = 1.42(SSV_{ef.bio.})$$

$$DBO_{U}SS_{ef} = 10.48 \text{ mg/l}$$

Si la DBO<sub>5</sub> es de 0.45 a 0.68 de DBO<sub>U</sub>. Entonces, asumiendo 0.68

$$DBO_5 = 0.68$$

$$DBO_5SS_{ef} = 0.68(DBO_{U}SS_{ef})$$

$$DBO_5SS_{ef} = 7.12 \text{ mg/l}$$

Por lo tanto, la DBO5 soluble en el efluente del sistema de lodos activados es:

$$DBO_5SS_{ef} = 18.59 \text{ mg/l}$$

$$S = DBO_{5sol.}ef. = DBO_5ef. - DBO_5SS_{ef}$$

$$S = 11.47 \text{ mg/l}$$

**La eficiencia del tratamiento biológico**

$$E = \frac{(S_0 - S)100}{S_0}$$

$$S_0 = 143 \text{ mg/l}$$

$$E = 91.98 \%$$

### Determinación (Selección) de $\theta_c$ , X y los coeficientes cinéticos

$\theta_c$  es el parámetro que relaciona el tiempo de residencia con la cinética y estequiometría del proceso (climas fríos: valores de  $\theta_c$  altos y climas calientes: valores de  $\theta_c$  bajos).

La selección de X depende de la transferencia de oxígeno y las características del mezclado que provee el sistema de aeración, así como de la temperatura y de la carga de sólidos aceptables para los sedimentadores secundarios.

Para el sistema convencional de lodos activados X se recomienda en el rango de 1500-3000 mg/l.

Los coeficientes cinéticos Y y Kd se determinan mediante la realización de pruebas de tratabilidad de biodegradación aerobia.

Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados

Modificación de proceso	$\theta_c$ , d	F/M kg DOB <sub>5</sub> aplicada/ kg SSVLM · d	Carga volumétrica, kg de DOB <sub>5</sub> aplicada/ m <sup>3</sup> · d	SSLM, mg/l	V/Q, h	Q <sub>2</sub> /Q <sub>1</sub>
Convencional	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1.500-3.000	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5-15	0,2-0,6	0,80-1,92	2.500-4.000	3-5	0,25-1,0
Alimentación escalonada	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2.000-3.500	3-5	0,25-0,75
Aireación modificada	0,2-0,5	1,5-5,0	1,20-2,40	200-1.000	1,5-3	0,05-0,25
Contacto y estabilización	5-15	0,2-0,6	0,96-1,20	(1.000-3.000) <sup>a</sup> (4.000-10.000) <sup>b</sup>	(0,5-1,0) <sup>a</sup> (3-6) <sup>b</sup>	0,5-1,50
Aireación prolongada	20-30	0,05-0,15	0,16-0,40	3.000-6.000	18-36	0,5-1,50
Aireación de alta carga	5-10	0,4-1,5	1,60-1,60	4.000-10.000	2-4	1,0-5,0
Proceso Kraus	5-15	0,3-0,8	0,64-1,60	2.000-3.000	4-8	0,5-1,0
Oxígeno puro	3-10	0,25-1,0	1,60-3,20	2.000-5.000	1-3	0,25-0,5
Canal de oxidación	10-30	0,05-0,30	0,08-0,48	3.000-6.000	8-36	0,75-1,50
Reactor de flujo discontinuo secuencial	NA	0,05-0,30	0,08-0,24	1.500-5.000 <sup>d</sup>	12-50	NA
Reactor Deep Shaft	SI	0,5-5,0	SI	SI	0,5-5	SI
Nitrificación de etapa única	8-20	0,10-0,25 (0,02-0,15) <sup>e</sup>	0,08-0,32	2.000-3.500	6-15	0,50-1,50
Nitrificación en etapas separadas	15-100	0,05-0,20 (0,04-0,15) <sup>c</sup>	0,05-0,14	2.000-3.500	3-6	0,50-2,00

<sup>a</sup> Unidad de contacto.

<sup>b</sup> Unidad de estabilización de sólidos.

<sup>c</sup> NKT/SSVLM.

<sup>d</sup> Los SSLM varían en función de la fase del ciclo operativo.

NA = No aplicable.

SI = Sin información.

Como no se tiene datos de pruebas de tratabilidad, seleccionamos los siguientes valores.

$$\begin{aligned} \theta_c &= 11 \text{ días} && [5-15 \text{ días}] \\ Y &= 0.6 \text{ mg SSV/mg DOB}_5 \\ X &= 3000 \text{ mg/l} && [1500-3000 \text{ mg/l}] \\ K_d &= 0.06 \text{ 1/d}^* && (T=20^\circ \text{C}) \end{aligned}$$

Kd debe ser corregido por temperatura:

Coefficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento

Proceso	Valor de $\theta$	
	Intervalo	Valor típico
Fangos activados	1,00-1,08	1,04
Lagunas aireadas	1,04-1,10	1,08
Filtros percoladores	1,02-1,08	1,035

$$K_{20} = 0.0025$$

$$\theta = 1.04$$

$$Q_{med} = 1081.86 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Kt = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

$$K_d = 0.0026 \text{ 1/seg.m}^2$$

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_o - S)}{X (1 + K_d \theta_c)}$$

$$V = 318.05 \text{ m}^3$$



**Determinación de la masa de lodo residual generada por día**

$$Y_{observada} = \frac{Y}{1 + kd \theta_c} \quad Y = 0.583$$

$$P = \frac{Y_{observada} Q (S_o - S)}{1000} \quad P = 86.74 \text{ kg/d}$$

**Aumento diario de los sólidos suspendidos del licor mezclado (Pss), kg/d**

$$P(SS) = \frac{P}{SSVLM/SSLM} \quad P(SS) = 108.43 \text{ kg/d}$$

Masa diaria de lodo residual (Ml.r)

$$Ml.r = P(SS) - \frac{Q SSTe}{1000} \quad Ml.r = 96.52 \text{ kg/d}$$

**Caudal de lodo residual (Ql.r)**

La concentración de SST en el lodo extraído del sedimentador secundario varía de 8,000 a 15,000 mg/l.

Si asumimos SST l sed = 8,000 mg/l, entonces:

$$Ql.r = \frac{Ml.r}{SST \text{ l sed}}$$

SSTl sed = 8000 mg/l  
SSTl sed = 8 kg/m<sup>3</sup>

Ql.r = 12.07 m<sup>3</sup>/d

**Determinación del caudal y porcentaje de recirculación:**

$$X(Q + Q_r) = SSTl_{sed} (Q_r) \quad \Rightarrow \quad Ml.r = \frac{X Q}{SST \text{ l sed} - X}$$

$$\alpha = \frac{Q_r}{Q} \quad \alpha = 0.6 \text{ [} Q_r/Q = 0.25 \text{ a } 0.75 \text{]}$$

Q<sub>r</sub> = 649.1 m<sup>3</sup>/d

**Determinación del tiempo de retención hidráulico (θ).**

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \theta = 0.294 \text{ d}$$

θ = 7 hr [θ = 4 a 8 hr]

**Determinación de la relación alimento/microorganismos (F/M).**

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{\theta X} \quad F/M = 0.2 \text{ [} F/M = 0.2 \text{ a } 0.4 \text{]}$$

**Determinación de la carga orgánica volumétrica (COV)**

$$COV = \frac{S_o Q}{V} \quad COV = 0.49 \text{ kg/m}^3/\text{d}$$

Determinación del requerimiento de oxígeno:			
$Masa\ de\ DBO_{\acute{u}ltima} = \frac{Q(S_o - S)}{0.68}$	Masa de DBO <sub>última</sub> =	209.27 kg/d	
$DBO_{\acute{u}ltima\ de\ nuevas\ c\acute{e}lulas} = 1.42 P$	DBO <sub>última de nuevas células</sub> =	123.17 kg/d	

Requerimiento real de oxígeno:	
$Kg\frac{O_2}{d} = Masa\ de\ DBO_{\acute{u}ltima} - DBO_{\acute{u}ltima\ de\ nuevas\ c\acute{e}lulas}$	KgO <sub>2</sub> /d = 86.10 kg/d

Determinación de la cantidad de aire requerido:			
Asumiendo que el aire contiene 23.2% O <sub>2</sub> en peso y $\gamma_{aire} = 1.2\ kg/m^3$ .			
$Q_{aire\ te\acute{o}rico} = \frac{Kg\frac{O_2}{d}}{0.232\ \gamma_{aire}}$	Q <sub>aire teoric</sub>	309.26 m <sup>3</sup> /d	
La cantidad real de aire requerido está afectada por la eficiencia de transferencia de oxígeno (7%).			
		Q <sub>aire</sub> =	4417.96 m <sup>3</sup> /d

DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO (Después de lodos activados)			
Carga de superficie (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	Carga de sólidos (kg/m <sup>2</sup> /h)	Profundidad (m)	
GASTO MEDIO	GASTO MEDIO	3.6 – 6.0	
0.678 – 1.356	3.90 – 5.85		

Determinación del área necesaria para la clarificación con base en la carga hidráulica.			
Caudal de diseño:	$Qd = Qmed(1 + \alpha)$	Qd =	1731.0 m <sup>3</sup> /d
Asumiendo $qh = 0.8334\ m^3/m^2/h = 20\ m^3/m^2/d$ ; entonces:			
qh =	20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	$Acl = \frac{Qd}{qh}$	Acl = 86.55 m <sup>2</sup>

Determinación de la profundidad de la zona de clarificación (h1) y de la zona de separación (h2).			
[T = 1-2 hr] considerando T = 2 hr			
T =	2 h	$h_1 = qhT$	h <sub>1</sub> = 1.67 m
qh =	0.8334 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h		h <sub>2</sub> = 0.5 m
Por recomendación			

Determinación del área necesaria para la compresión de sólidos (Acomp).			
$qs = qh(1 + \alpha)x$	qs =	4 kg/m <sup>2</sup> /h	[3.91 – 5.86 kg/m <sup>2</sup> /h]

Determinación de la profundidad de la zona de compresión (h3).			
Masa de sólidos en el tanque de aireación:			
<i>Sólidos en el tanque de aireación = V X</i>			
<b>Sólidos en el tanque de aireación=</b>		<b>954.14 kg</b>	
Masa de sólidos en el sedimentador:			
Se asume que en condiciones normales la masa del lodo de aireación sedimentación representa el 30% de la masa de sólidos en el tanque de retención en el tanque			
<b>Sólidos en el sedimentador=</b>		<b>286.24 kg</b>	
$X_{compr} = \frac{X + SST \text{ l sed}}{2}$		<b>Xcompr= 5.5 kg/m<sup>3</sup></b>	
$h_3 = \frac{\text{Sólidos en el sedimentador}}{Acl X_{compr}}$		<b>h<sub>3</sub>= 0.6 m</b>	
Profundidad de la zona de acumulación de lodos (h4).			
$h_4 = \frac{2 Ml r.}{Acl SST \text{ l sed}}$		<b>h<sub>4</sub>= 0.3 m</b>	
Profundidad total del tanque de sedimentación (H).			
$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$		<b>H= 3 m</b>	
Determinación del diámetro del sedimentador secundario			
$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$	<b>D= 10 m</b>	$\frac{R}{H}$	<b>R/H= 1.72 [≤5]</b>
	<b>R= 5 m</b>		
Volumen de la tolva.			
$V_t = Ql.r(2horas)$		<b>V<sub>t</sub>= 1.0 m<sup>3</sup></b>	

9.1.15. Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial.

Para remoción de SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)		
$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$ $C^* = 5.1 + 0.16 C_o$		
Co	Concentración del contaminante en el influente	720 mg/l
C*	Línea base del contaminante	120.3 mg/l
Qo	Gasto de entrada al humedal	1081.86 m <sup>3</sup> /día
K	Coefficiente areal	3000 m/año
Co	Concentración del contaminante en el influente	720 mg/l
Ce	Concentración del contaminante en el efluente	60.00 mg/l
C*	Línea base del contaminante	120.3 mg/l
AH	Area requerida para remover el contaminante	0.030 Ha
AH	Area requerida para remover el contaminante	30.24 m <sup>2</sup>
Para remoción de DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> )		
$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$ $C^* = 3.5 + 0.053 C_o$		
Co	Concentración del contaminante en el influente	220 mg/l
C*	Línea base del contaminante	15.16 mg/l
Qo	Gasto de entrada al humedal	1081.86 m <sup>3</sup> /día
K	Coefficiente areal	180 m/año
Co	Concentración del contaminante en el influente	220 mg/l
Ce	Concentración del contaminante en el efluente	60.00 mg/l
C*	Línea base del contaminante	15.16 mg/l
AH	Area requerida para remover el contaminante	0.33 Ha
AH	Area requerida para remover el contaminante	3332.62 m <sup>2</sup>

**Para remoción de NITROGENO TOTAL (NT)**

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 1.5$$

Co	Concentración del contaminante en el influente	40	mg/lt
C*	Línea base del contaminante	1.5	mg/lt
Qo	Gasto de entrada al humedal	1081.86	m3/día
K	Coficiente areal	27	m/año
Co	Concentración del contaminante en el influente	40	mg/lt
Ce	Concentración del contaminante en el efluente	25	mg/lt
C*	Línea base del contaminante	1.5	mg/lt
AH	Area requerida para remover el contaminante	0.72	Ha
AH	Area requerida para remover el contaminante	7219.82	m2

**Para remoción de FOSFORO TOTAL (PT)**

$$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$$

$$C^* = 0$$

Co	Concentración del contaminante en el influente	8	mg/lt
C*	Línea base del contaminante	0	mg/lt
Qo	Gasto de entrada al humedal	1081.86	m3/día
K	Coficiente areal	12	m/año
Co	Concentración del contaminante en el influente	8	mg/lt
Ce	Concentración del contaminante en el efluente	10	mg/lt
C*	Línea base del contaminante	0	mg/lt
AH	Area requerida para remover el contaminante	-0.734289	Ha
AH	Area requerida para remover el contaminante	-7342.89	m2

Para remoción de COLIFORMES TOTALES (CT)		
$A = \left[ \frac{0.0365 * Q}{K_A} \right] * \ln \left[ \frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right]$		
$C^* = 10$		
Co	Concentración del contaminante en el influente	1.00E+07 mg/lit
C*	Línea base del contaminante	10.00 mg/lit
Qo	Gasto de entrada al humedal	1081.86 m3/día
K	Coefficiente areal	95 m/año
Co	Concentración del contaminante en el influente	1.00E+07 mg/lit
Ce	Concentración del contaminante en el efluente	1.00E+04 mg/lit
C*	Línea base del contaminante	10 mg/lit
AH	Area requerida para remover el contaminante	2.872 Ha
AH	Area requerida para remover el contaminante	28717 m2

AREAS REQUERIDAS PARA REMOVER CONTAMINANTES		
Contaminante	Área	Unidad
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	30.24	m2
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	3,332.62	m2
NITROGENO TOTAL	7,219.82	m2
FOSFORO TOTAL	- 7,342.89	m2
COLIFORMES TOTALES	28,717.07	m2
AREA REQUERIDA (AH)	28,717.07	m2
<b>EL AREA REQUERIDA PARA REMOVER LOS CONTAMINANTES RELACIONADOS ES DE 28717.0682907972 m2</b>		

9.1.16. Diseño del tanque de contacto de cloro.

DISEÑO DEL TANQUE DE CONTACTO DE CLORO	
Q=	0.013 m <sup>3</sup> /S
Q=	0.75 m <sup>3</sup> /min
Para un efluente del proceso de lodos activados se tiene una dosis de cloro de: 2-8 mg/l	
Consumo diario de cloro:	
$Cl_2 = Dclmed (Qmed)$	<b>Cl<sub>2</sub>= 5.41 Kg/d</b>

**Calculo de las dimensiones del tanque:**

Considerando  $v = 3 \text{ m/min}$  [2 a 4.5 m/min]  
 $V = 3 \text{ m/min}$

$$A_{transv} = \frac{Q}{V}$$

**Atransv= 0.25 m<sup>2</sup>**

Si se propone  $H = 1.5 \text{ m}$  [1 a 1.5 m]

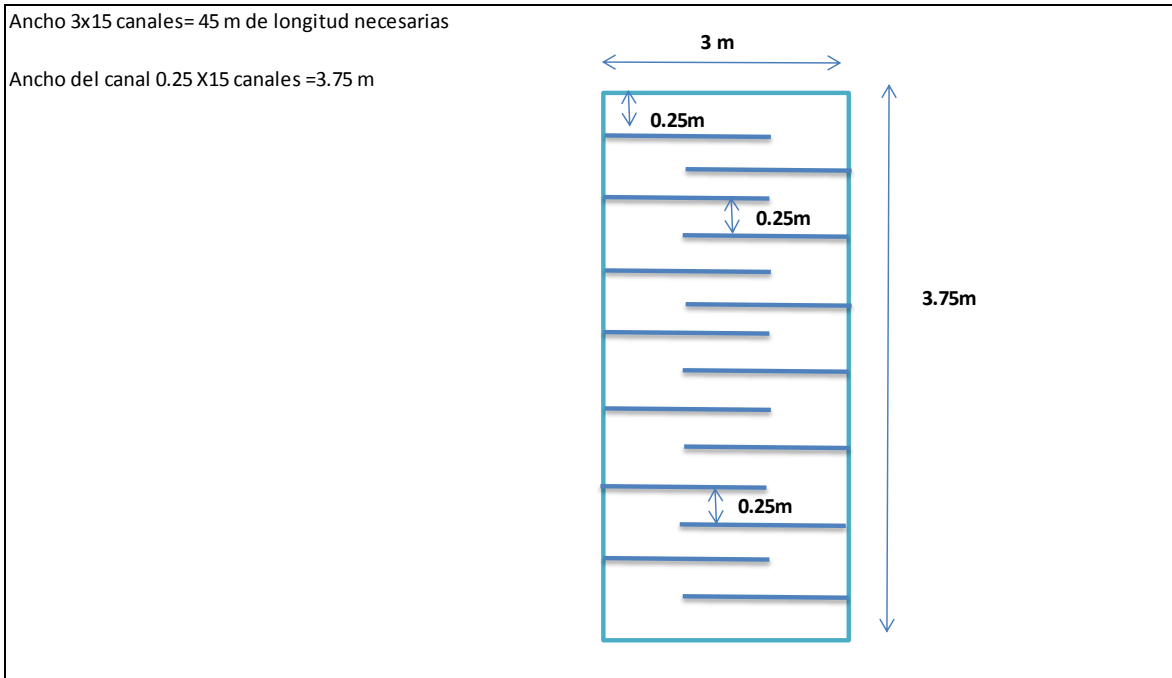
$$B = \frac{A_{transv}}{H}$$

**H= 1 m**  
**B= 0.25 m**

**Determinación de la longitud requerida:**

$t = 15 \text{ min}$        $L = V (T)$       **L= 45 m**


Relación largo- ancho:       $\frac{L}{B}$       **L/B= 179.69 [10 - 40]**



## 9.2. Matrices de importancia.

### 9.2.1. Matriz de importancia de los impactos ambientales de la alternativa uno.

#### MATRIZ No.4 IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

<b>SIMBOLOGÍA</b>  <b>IMPACTO AMBIENTAL SELECCIONADO</b>  • La suma de las importancias por columna representa el grado de agresividad de las actividades del proyecto.  • La suma de las importancias por fila indican el grado de afectación a los factores ambientales.  • El impacto final se obtiene de sumar las importancias de los efectos permanentes en la fase de preparación del sitio y construcción y fase de Operación.		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)														IMPORTANCIA FINAL
		PREPARACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN							OPERACIÓN							
		Desmonte, despalle y excavaciones en el sitio.	Nivelaciones y compactaciones del suelo.	Empleo de materiales para la construcción.	Construcción del sistema de tratamiento.	Operación de la maquinaria y vehículos empleados.	Generación de residuos sólidos, líquidos y gases	SUBTOTAL	Vertido de las aguas residuales tratadas (cumplimientos con la NOM-001-SEMARNAT-1996).	Tratamiento y manejo de los lodos generados (cumplimiento con la NOM-004-SEMARNAT-2002).	Control de malos olores	Adecuada Operación y Mantenimiento.	Implementación de medidas de Seguridad e Higiene.	Implementación de áreas verdes.	SUBTOTAL	
FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
ATMOSFÉRA	Calidad del aire	1							28	25					53	53
	Nivel de ruido	2														
TIERRA (suelo)	Geomorfología	3	-44	-40	-36	-43										-163
	Propiedades fisicoquímicas	4		-31	-34				27							-65
	Erodabilidad	5	-29													-29
	Recursos minerales	6														
AGUA	Superficial	7						41								41
	Subterránea	8														
FLORA	Estrato arbóreo	9	-37										27		27	-10
	Estrato arbustivo y herbáceo	10	-43									25		25	25	-18
FAUNA	Terrestre	11														
PAISAJE	Calidad paisajística	12	-34			-35							30		30	-39
USOS DEL TERRITORIO	Cambio de uso de suelo	13	31													31
INFRAESTRUCTURA	Transporte y servicios.	14														
HUMANOS Y CULTURAL	Salud y seguridad de la población	15						31				28			59	59
	Bienestar de la población	16						28	27	28	31				114	114
	Aceptación social del proyecto	17				41										41
ECONOMÍA	Empleo y nivel de ingresos	18			30						26				26	56
<b>TOTAL</b>			-156	-71	-40	-37			100	82	53	57	28	82	402	98



9.2.2. Matriz de importancia de los impactos ambientales de la alternativa dos.

**MATRIZ No.4 IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.**

SIMBOLOGÍA  IMPACTO AMBIENTAL SELECCIONADO		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)															
		PREPARACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN							OPERACIÓN								IMPORTANCIA FINAL
		Desmonte, despalme y excavaciones en el sitio.	Nivelaciones y compactaciones del suelo.	Empleo de materiales para la construcción.	Construcción del sistema de tratamiento.	Operación de la maquinaria y vehículos empleados.	Generación de residuos sólidos, líquidos y gases	SUBTOTAL	Vertido de las aguas residuales tratadas (cumplimientos con la NOM-001-SEMARNAAT-1996).	Tratamiento y manejo de los lodos generados (cumplimiento con la NOM-004-SEMARNAAT-2002).	Control de malos olores	Adecuada Operación y Mantenimiento.	Implementación de medidas de Seguridad e Higiene.	Implementación de áreas verdes.	SUBTOTAL		
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12					
<b>FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS</b>																	
ATMOSFÉRA	Calidad del aire	1													53	53	
	Nivel de ruido	2															
TIERRA (suelo)	Geomorfología	3	-44	-40	-36	-43									-163	-163	
	Propiedades fisicoquímicas	4		-31	-34										27	-38	
	Erodabilidad	5	-29													-29	
	Recursos minerales	6															
AGUA	Superficial	7							41						41	41	
	Subterránea	8															
FLORA	Estrato arbóreo	9	-37											27	27	-10	
	Estrato arbustivo y herbáceo	10	-43											25	25	-18	
FAUNA	Terrestre	11															
PAISAJE	Calidad paisajística	12	-36			-37								30	30	-43	
USOS DEL TERRITORIO	Cambio de uso de suelo	13	34													34	
INFRAESTRUCTURA	Transporte y servicios.	14															
HUMANOS Y CULTURAL	Salud y seguridad de la población	15							31			28			59	59	
	Bienestar de la población	16							30	29	29	31			119	119	
	Aceptación social del proyecto	17				41									41	41	
ECONOMÍA	Empleo y nivel de ingresos	18			30						26				26	56	
<b>TOTAL</b>			-155	-71	-40	-39			-305						407	102	

9.2.3. Matriz de importancia de los impactos ambientales de la alternativa tres.

**MATRIZ No.4 IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.**

<b>SIMBOLOGÍA</b> <b>IMPACTO AMBIENTAL SELECCIONADO</b>		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)														<b>IMPORTANCIA FINAL</b>
		PREPARACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN							OPERACIÓN							
		Desmonte, despalle y excavaciones en el sitio.	Nivelaciones y compactaciones del suelo.	Empleo de materiales para la construcción.	Construcción del sistema de tratamiento.	Operación de la maquinaria y vehículos empleados.	Generación de residuos sólidos, líquidos y gases	SUBTOTAL	Vertido de las aguas residuales tratadas (cumplimientos con la NOM-001-SEMARNAT-1996).	Tratamiento y manejo de los lodos generados (cumplimiento con la NOM-004-SEMARNAT-2002).	Control de malos olores	Adecuada Operación y Mantenimiento.	Implementación de medidas de Seguridad e Higiene.	Implementación de áreas verdes.	SUBTOTAL	
<b>FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
<b>ATMOSFÉRA</b>	Calidad del aire	1							28	25					53	53
	Nivel de ruido	2														
<b>TIERRA (suelo)</b>	Geomorfología	3	-44	-40	-36	-43		-163								-163
	Propiedades fisicoquímicas	4		-31	-34			-65	27						27	-38
	Erodabilidad	5	-29					-29								-29
	Recursos minerales	6														
<b>AGUA</b>	Superficial	7						57							57	57
	Subterránea	8														
<b>FLORA</b>	Estrato arbóreo	9	-37					-37					27		27	-10
	Estrato arbustivo y herbáceo	10	-43					-43					25		25	-18
<b>FAUNA</b>	Terrestre	11														
<b>PAISAJE</b>	Calidad paisajística	12	-36			-37		-73					30		30	-43
<b>USOS DEL TERRITORIO</b>	Cambio de uso de suelo	13	34					34								34
<b>INFRAESTRUCTURA</b>	Transporte y servicios.	14														
<b>HUMANOS Y CULTURAL</b>	Salud y seguridad de la población	15							33			28			61	61
	Bienestar de la población	16							50	29	29	31			139	139
	Aceptación social del proyecto	17				41		41								41
<b>ECONOMÍA</b>	Empleo y nivel de ingresos	18			30			30			26				26	56
<b>TOTAL</b>			-155	-71	-40	-39		-305	140	84	54	57	28	82	445	140

