



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“PROYECTO EJECUTIVO DE HUMEDAL, PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN LOCALIDAD DE HASTA MIL HABITANTES”**

TESIS

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

**PRESENTA:
LAURA ESTEFANÍA GARCÍA MARTÍNEZ**

**ASESOR DE TESIS:
M. I. JULIO ALEJANDRO CHÁVEZ CÁRDENAS**



MORELIA, MICHOACAN, MARZO 2013.

**PROYECTO EJECUTIVO DE HUMEDAL, PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN LOCALIDAD DE HASTA MIL HABITANTES**

A USTEDES GRACIAS

"La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica" Aristóteles

A mi papá y mi mamá por formar mi persona y permitirme acceder a esta carrera, por apoyarme y orientarme en todas las etapas de mi formación.

A mis hermanos, Diego y Marcia.

A mis tías, Reina y Ángeles por su apoyo.

A la Facultad de Ingeniería Civil por ser la plataforma para una adquirir los conocimientos de mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros *que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional.*

A los maestros, por su apoyo y los conocimientos aportados.

Al Ingeniero, Julio Alejandro Chávez Cárdenas mi asesor de tesis

Con profundo agradecimiento. . .

LAURA

RESUMEN

En este trabajo de tesis, básicamente se abordan los elementos que debe de llevar un proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento de aguas residuales en localidades de hasta mil habitantes. Se define que son las aguas residuales, y que es una planta de tratamiento de aguas negras. Menciona la importancia de las plantas de tratamiento aunque sea en poblaciones reducidas por los beneficios que esta brinda a la localidad.

En los primeros capítulos se describen brevemente los aspectos más sobresalientes del marco físico, se menciona la localización, accesos, clima los servicios con los que cuenta la localidad entre otros, enseguida se presenta los datos de proyecto que van a ser considerados. La población es uno de los parámetros más importantes para el dimensionamiento de las obras que integran los sistemas de tratamiento.

Enseguida se presenta una serie de alternativas de planta de tratamiento de agua residual que son evaluadas en una matriz de comparación y se selecciona la mejor alternativa. Se mencionan alternativas para el sitio de la planta de tratamiento de aguas residuales y se escoge el más viable de acuerdo a la adquisición del terreno.

En los capítulos centrales se describe el emisor, la topografía del terreno y la mecánica de suelos.

En el capítulo final se desarrolla el proyecto ejecutivo de la planta de tratamiento de agua residual, incluye el proyecto funcional e hidráulico, flujo de agua, se señalan las características de las unidades principales de la planta de tratamiento de agua residual, el flujo de lodos e incluye el arreglo arquitectónico del conjunto.

Para finalizar presentan las conclusiones y la bibliografía que puede consultarse si se desea.

Finalmente se incluyen los anexos y la memoria de cálculo que incluyen información adicional e importante y que ayudaran a una mejor comprensión de algunos de los capítulos.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pg
INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES	7
1 CAPÍTULO I RECOPIACIÓN ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN	8
1.1 MARCO FÍSICO	8
2 CAPÍTULO II DATOS DE PROYECTO	15
2.1 POBLACIÓN	15
2.2 DATOS DE PROYECTO CONSIDERADOS	16
2.3 CALIDAD DEL AGUA CRUDA	19
2.4 CALIDAD DEL AGUA TRATADA	19
3 CAPÍTULO III ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PLANTA DE TRATAMIENTO	21
3.1 ALTERNATIVA SELECCIONADA	21
4 CAPÍTULO IV SELECCIÓN DEL SITIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	23
5 CAPÍTULO V EMISOR	24
6 CAPÍTULO VII TOPOGRAFÍA DEL SITIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	24
7 CAPÍTULO VII MECÁNICA DE SUELOS	25
8 CAPÍTULO VIII PROYECTO EJECUTIVO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	25
8.1 PROYECTO FUNCIONAL E HIDRÁULICO	25
8.1.1 FLUJO DE AGUA	26
8.1.2 FLUJO DE LODOS	29
8.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES	29
8.3 ARREGLO ARQUITECTÓNICO DEL CONJUNTO	33
CONCLUSIÓN	34
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	37
ANEXO I PARÁMETROS CON LOS QUE SE CARACTERIZAN LAS AGUAS RESIDUALES	37
ANEXO II TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS	45
ANEXO III ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PLANTA DE TRATAMIENTO	50
ANEXO IV MEMORIA DE CÁLCULO PLANOS	54

INTRODUCCIÓN

Las aportaciones de aguas residuales que se hacen a corrientes y cuerpos de agua han contaminado estas potenciales fuentes de abastecimiento, a tal grado que las han vuelto inapropiadas para su acondicionamiento y consumo humano. Ello es particularmente importante porque el agua es un elemento indispensable para el sustento de la vida, en el desarrollo integral del ser humano y consecuentemente para el desarrollo de los centros de población. Actualmente y en un contexto universal, la disposición racional de las aguas residuales requiere de la construcción de plantas de tratamiento que resuelvan a corto plazo la problemática que se genera con su disposición.

Las aguas negras indistintamente se nombran aguas residuales, aguas residuales municipales o simplemente aguas municipales.

Agua Residual

Básicamente son las aguas que se abastecen a una población, después de que han sido usadas y contaminadas en diversas actividades que practica el ser humano. Son el resultado de la combinación de desechos arrastrados por el agua que procede de viviendas, comercios, instituciones e industrias, y de aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pueden agregarse.

Contienen materia orgánica, sólidos y microorganismos como bacterias, virus y patógenos que son perjudiciales para el hombre. Transportan las exoneraciones corporales humanas que llegan a las alcantarillas desde los retretes, (y eventualmente las de los animales) estos desechos son los más importantes, desde el punto de vista de salud pública ya que pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas negras para su disposición.

Planta de Tratamiento de Agua Residual

Una Planta de Tratamiento de Agua Residual son las unidades o estructuras en donde se retira y elimina a las aguas residuales la materia contaminante, mediante procesos controlados con los que se optimiza la degradación mediante organismos contenidos en las propias aguas residuales.

El tipo de planta adecuada para una localidad depende de la capacidad para cubrir la tarifa por el tratamiento, aunque se debe considerar las características topográficas locales, la calidad de agua residual y la complejidad de operación de la planta de tratamiento seleccionada. En localidades rurales siempre será más conveniente utilizar plantas sin equipamiento mecánico debido al costo de construcción, mantenimiento, mala administración y operación ya que algunos años la mayoría de las plantas mecanizadas estaban abandonadas y actualmente una gran parte se opera deficientemente o se simula su operación.

Las lagunas de estabilización aportan diversos beneficios al entorno en donde se instalan, los humedales potencializan éstos beneficios e incrementan la calidad del agua tratada.

ANTECEDENTES

Es un hecho histórico que las culturas más prominentes de todos los tiempos se han asentado en las márgenes, riberas y costas de ríos, lagos y océanos, incluso las formas de vida terrestres se originaron a partir de primitivos organismos marinos.

En su desarrollo el hombre ha practicado actividades domésticas e industriales que progresivamente han alterado la calidad del agua. Se puede establecer que la contaminación que padecen determinados escurrimientos superficiales, se debe básicamente a las aportaciones de aguas residuales domésticas e industriales que generan los centros de población

La disposición de las aguas residuales tradicionalmente se ha verificado de dos formas:

- Descargándolas a cuerpos de agua receptores, y
- Dejándoles escurrir libremente por el terreno o encausándoles hacia zonas de cultivo

Estas prácticas indiscriminadas de disposición han llegado a un punto crítico en que ya no son tolerables puesto que se han causado daños irreversibles al medio ambiente y se ha puesto en riesgo de graves epidemias a la población; adicionalmente los desechos industriales han provocado accidentes en que lamentablemente se han perdido vidas humanas.

Las aguas negras no únicamente deterioran los cauces en los que fluyen sino que alteran la calidad del agua de la corriente, por lo que se tendrán efectos nocivos si estas aguas se utilizan en actividades agrícolas o para el consumo humano.

El paso previo a la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es la realización del proyecto ejecutivo, que es la finalidad del presente trabajo, en el que se realizarán los estudios pertinentes y se diseñarán y dimensionarán todas las unidades que integren la planta.

Aunque la localidad cuenta con una población reducida, es importante que se traten las aguas residuales antes de descargarlas, ya que aunque los recursos sean limitados es importante emprender acciones como ésta, que servirán de ejemplo para otras localidades de mayores posibilidades.

1 CAPÍTULO I RECOPIACIÓN ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información que se presenta enseguida se recopiló básicamente en publicaciones del INEGI, (cartas topográficas, Síntesis Geográfica y censos de población), así mismo se obtuvo en CNA, en el CEAGC, en las dependencias municipales y en los recorridos de campo realizados en la localidad.

1.1 MARCO FÍSICO

El marco físico es importante para conocer las características físicas de la localidad y la región, tales como orografía, geología, configuración topográfica, pendientes predominantes, cauces principales. Otros componentes principales son, el clima, precipitación, vientos dominantes. Se evalúan los aspectos básicos de las localidades, servicios de salud, educación, abasto, comunicación con otras localidades y se visualizan los sistemas de abastecimiento de agua potable y recolección de aguas residuales.

Localización Geográfica

La localidad de Santa Inés, Michoacán geográficamente se localiza a 19° 12' 49" de latitud norte y 100° 24' 30" de longitud oeste, a una elevación media de 1,240 msnm. El municipio se sitúa en la parte oriente del estado de Michoacán, en la zona limítrofe con el Estado de México. Limita al norte con el municipio de Zitácuaro, al noroeste con Juárez, al poniente con Tuzantla y al sur y oriente con el Estado de México.

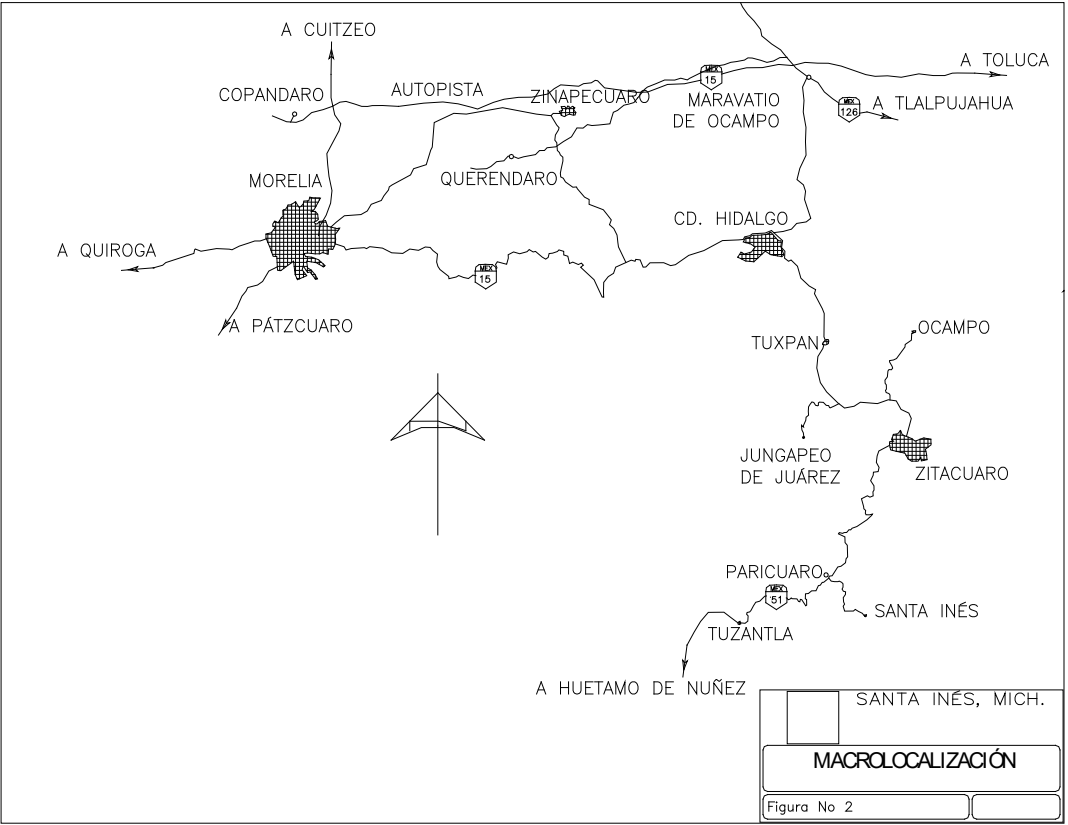
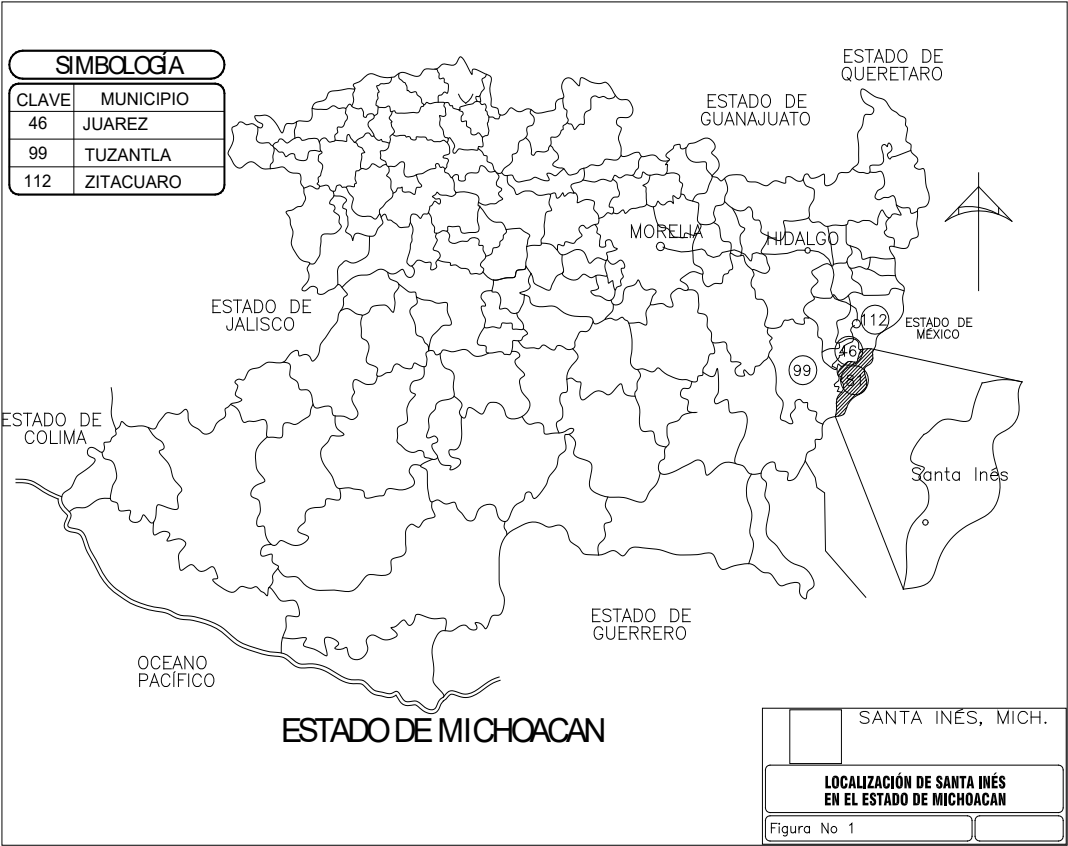
En la **figura N° 1** se presenta la localización de Santa Inés en el municipio y en el Estado de Michoacán.

Accesos

La localidad de Santa Inés se sitúa aproximadamente a 195 km al sureste de la Ciudad de Morelia, se llega a través de las carreteras federales No 15 y No 51; a partir de Morelia se toma la No 51 hasta Zitácuaro, en este tramo se desarrolla una dirección oriente, suroriente, en Zitácuaro se ingresa a la carretera No 51 que va a Huetamo y a unos 30 kms al sur, en la localidad de Parícuaro, se accede al tramo estatal que llega a Susupuato. En la **figura N° 2** se presenta la ubicación regional de la localidad.

Clima, Temperatura Media y Precipitación

El clima que predomina, de acuerdo a la clasificación de Koppen modificada por García, es del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano A(W), con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5. La temperatura media anual es del orden de 22 °C, y la precipitación media anual puede ser cercana a los 1,000 mm.



Hidrología

La localidad se sitúa en la Región Hidrológica Balsas (RH18), en la Cuenca Río Cutzamala (G) y en la Subcuenca del Río Zitácuaro (b1695).

Localmente la corriente superficial más importante es el Río Susupuato, que rodea la localidad de la parte sur a la poniente y además por el noroeste se le incorpora un cauce tributario. En la zona sur confluyen los arroyos el Aguacate y la Presa y otros afluentes que originan el Río Susupuato.

Al suroriente de la localidad en la zona (el Cerro Mazahua) en que se originan los arroyos el terreno es escarpado y se tienen un gran número de cauces afluentes a los arroyos, además de algunos afloramientos de agua.

Fisiografía

Santa Inés se ubica en la provincia Sierra Madre del Sur, dentro de la subprovincia Depresión del Balsas. La zona adyacente a la localidad está clasificada como X14S1V (subprovincia depresión del Balsas de gran Sierra compleja con cañadas), esta clasificación describe adecuadamente la morfología regional en donde el relieve es muy escarpado y se tiene una gran cantidad de cauces de pendiente fuerte.

Geología

La litología de la región se originó en el periodo Cretácico, está principalmente compuesta por Granodiorita (K(Gd)), esta unidad se caracteriza por presentar formas en el relieve de poca altura, además de manifestar alteración y fracturamiento, ya que se disgrega fácilmente con la mano, su color es gris claro. Mineralógicamente esta constituida por cuarzo, plagioclasas sódicas, feldespatos potásicos, hornblenda, estena, pirita, clorita y sericita. Subyace de manera discordante a los basaltos del cuaternario (Qal). Las rocas predominantes son del Terciario ígneas extrusivas (T (le)), intermedia y básica y, del Mesozoico ígneas intrusivas M(li) acida y básica. Los suelos son de origen volcánico, y están clasificados como (Bc-Be+Lc)/2, cambisol crómico (Bc) con cambisol eutrico (Be) y luvisol crómico (Lc).

Características Topográficas de la Localidad

La localidad de Santa Inés se localiza en una pequeña cañada que se forma al inicio del Río Susupuato, en general se encuentra en una zona montañosa que se extiende por toda la región, en la que el relieve es escarpado y con diversos cauces, algunos de pendientes muy pronunciadas, además la vegetación es escasa. El valle es estrecho por lo que son reducidos los terrenos propicios para desarrollar la agricultura.

En general la configuración topográfica de la localidad la definen los cauces que la rodean ya que la mayor parte de las calles tiene pendientes (en algunos casos de fuertes a moderadas), que se encaminan hacia los cauces, si bien hay zonas sensiblemente planas sobre todo en las calles cercanas a las márgenes de los cauces y en éstas. Por otra parte el terreno es rocoso por lo que se ha dificultado la introducción de los servicios. El hecho de que las pendientes del terreno se dirijan hacia los cauces ha propiciado que los colectores se localicen en las márgenes y que tengan poca pendiente, lo que propicia que las tuberías se azolven y las aguas residuales fluyan lentamente.

En la **Figura No 3** Localidad de Santa Inés Infraestructura Troncal se presenta la configuración topográfica de la localidad y otras características relevantes.

Aspecto, Materiales de Construcción y Servicios Públicos

La localidad es pequeña y presenta una configuración básica en forma de herradura hasta cierto punto continua y ordenada, con algunas calles ortogonales. Una gran parte de las viviendas son de materiales pétreos, con muros de tabique y losa de concreto, aunque también las hay de muros de tabique o adobe, vigas de madera y teja de barro roja, que son los materiales tradicionales de la región, que gradualmente han sido desplazados, en menor proporción hay viviendas precarias.

La mayor parte de las calles están pavimentadas con concreto hidráulico, aunque aún hay algunos tramos empedrados y otros que no tienen ningún recubrimiento, se tiene alumbrado público, servicio de recolección de basura, un mercado y panteón municipal. La mayor parte de las viviendas cuentan con servicios de energía eléctrica, agua potable y alcantarillado sanitario.

En cuanto a comunicaciones y transporte se tienen teléfono (en una caseta), internet (público en un café) y servicio regional de taxi, además hay vehículos particulares (automóviles y camionetas). Se escuchan estaciones de radio de la región y se ven los canales de televisión abierta de cobertura nacional.

En lo que se refiere a educación hay preescolar, primaria, secundaria y bachillerato (CECYTEM). Se tiene además un albergue en donde residen del orden de 20 niños, que son de las rancherías más alejadas, que asisten a la primaria. En cuanto a servicios de salud públicos se cuenta con una clínica del sector salud.

Para el abasto de comestibles hay tiendas de abarrotes, de frutas y legumbres y otros locales de este tipo, además semanalmente hay un tianguis en la plaza del lugar. Otros productos como zapatos, ropa, muebles, materiales de construcción y aparatos domésticos se consiguen preferentemente la Ciudad de Zitácuaro o en las localidades de Benito Juárez y Parícuaro. Por otra parte hay diversos servicios como expendios de comida, casa de huéspedes, farmacias y refaccionarias, entre otros.

Para el esparcimiento y la práctica de los deportes hay un toril en donde se efectúan jaripeos y canchas de básquet-bol.

Se tienen todos los servicios de la administración municipal como biblioteca, DIF, Registro Civil, Obras Públicas, entre otros. En cuanto a los aspectos religiosos se tiene una iglesia católica que es la religión predominante y otra del culto evangélico.

La comunidad de El Romeral se encuentra a unos 650 m de Santa Inés, se trata de un caserío un tanto disperso que se sitúa básicamente a ambos lados de la carretera que va de Santa Inés a Parícuaro (y hasta Zitácuaro). Aquí se ubican la secundaria y las instalaciones del CECYTEM, por su cercanía con Santa Inés prácticamente se trata de una colonia que comparte los servicios, por lo que su población se incluirá en este proyecto.

Recorridos de Campo

Parte de la información que se obtuvo en los recorridos de campo se describió anteriormente, además se verificó la infraestructura de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado existentes.

Sistema de Agua Potable

El sistema de abastecimiento de agua potable sirve prácticamente a toda la localidad y se compone de 2 subsistemas, uno cubre la parte baja de las zonas poniente y sur y el otro el resto de la localidad. Cada subsistema cuenta con fuente de abastecimiento, línea de conducción, sistema de desinfección, tanque de regularización y red de distribución.

Las fuentes de abastecimiento son 2 manantiales que se localizan al noreste de Santa Inés, en las márgenes del cauce tributario, aproximadamente a 800 m, cerca de la comunidad de Vicente Guerrero (El Salitre), a partir de los afloramientos se abastece cada uno de los subsistemas. En la **Figura No 3** se presenta la ubicación de los manantiales.

En general el sistema opera satisfactoriamente ya que el servicio se presta diariamente; en la parte baja de forma continua y en el resto un mínimo de 8 horas. El caudal se desinfecta aplicándole una solución de hipoclorito de sodio (cloro) en los tanques, aunque eventualmente no se hace por falta del hipoclorito. La mayor parte de las tuberías es de f.o.go y están instaladas superficialmente ya que en diversas áreas el terreno es rocoso.

En la **Figura No 4** Sistema de Agua Potable Esquema General se presenta la ubicación de las obras que integran el sistema.

Sistema de Alcantarillado Sanitario

La localidad cuenta con una red de alcantarillado sanitario que cubre cerca del 80% del área habitada, aunque debido a la dureza del terreno ha sido difícil la instalación de la red.

Los colectores principales se localizan en las márgenes de los cauces que rodean la localidad, la pendiente de las tuberías es escasa y prácticamente se encuentran instaladas en los lechos, por lo que están cubiertas con concreto (encofradas), solamente un tramo que cruza el cauce tributario al Río Susupuato está expuesto y se apoya en columnas de concreto y mampostería, este tramo es de PVC anillado para alcantarillado y de PEAD anillado; la mayor parte de los colectores son de tuberías de concreto de 20 cm de diámetro. Para cruzar del Arroyo El Aguacate al Arroyo La Presa se atraviesa el lecho del cauce con la tubería encofrada lo que ha significado un vertedor en el cauce, que ha sido socavado en algunos tramos y funciona como una estructura aérea.

Los colectores marginales del Río Susupuato y de su cauce tributario se juntan y descargan a una fosa séptica, que de hecho no opera ya que no se le ha dado mantenimiento y no cuenta con un pretratamiento. El efluente de la fosa, que prácticamente consiste en aguas residuales crudas, descarga directamente al río. La fosa data del año 1994.

Los colectores marginales reciben las aportaciones del resto de las tuberías de la red de alcantarillado.

Puesto que la pendiente de los colectores marginales es escasa en algunos sitios éstos se taponaron y se abrieron para descargar directamente a los cauces, esta situación se presenta en el cauce tributario al Río Susupuato y en el arroyo El Aguacate.

La descarga de los colectores y una ruptura de la tubería se tienen prácticamente en el área urbana a espaldas del albergue, lo que ha causado cierta problemática de generación de olores desagradables, si bien no se han manifestado otros problemas esta descarga es un riesgo para la salud de la población.

En la **Figura No 5** Alcantarillado Sanitario Esquema General se presentan las obras que forman este sistema.

La comunidad de El Romeral que también descargará a la planta de tratamiento cuenta con un colector formado con tubería de PEAD, anillado, para alcantarillado, de 20 cm de diámetro que se construyó el año 2008, además se tiene una fosa séptica similar a la de Santa Inés y un pretratamiento sin equipamiento.

El general el alcantarillado de Santa Inés presenta cierta problemática debido básicamente a que las tuberías principales se encuentran en el lecho de los cauces, tienen poca pendiente, no se aprecian registros en ciertos cambios de dirección y en algunos registros las tapas están deterioradas y, se nota por las huellas de las avenidas que éstas sobrepasan las tuberías. Además los cruces de los cauces son obras improvisadas y las tuberías se abrieron en determinados puntos para hacer descargas parciales.

Sin embargo para que el sistema funcione aceptablemente se pueden realizar algunas acciones simples como desazolver las tuberías, reparar las rupturas que se hicieron para las descargas provisionales y elevar los registros.

En una siguiente etapa se podrían subir los colectores y sustituir las tuberías de concreto por tuberías herméticas como el PEAD.

Esquema de Saneamiento

Para complementar el esquema integral de saneamiento de la localidad se deberán construir el emisor y la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El emisor iniciaría en el sitio de la fosa existente y por él se conducirían todas las aguas residuales a la planta de tratamiento, antes de descargar a ésta recibiría la descarga de la comunidad de El Romeral, en la planta las aguas residuales se tratarían hasta el nivel establecido en la normatividad y una vez acondicionadas se dispondrían en el Río Susupuato en el que actualmente se descargan.

Inicialmente será necesario instalar la red de alcantarillado en las zonas en que no se tiene y construir el emisor, que se localizaría en la margen izquierda del Río Susupuato y, finalmente se construiría la planta de tratamiento.

Con este esquema se mejorarán notablemente las condiciones de salubridad de la localidad al eliminar las descargas de aguas existentes y conducir las a una estructura apropiada para su tratamiento, aunque el volumen tratado es poco contribuirá al saneamiento del Río Susupuato, que aguas abajo se utiliza para riego y otras actividades. Sin embargo para tener un mayor impacto en el río hace falta implementar esquemas de este tipo en otras localidades de la cuenca.

Este trabajo tiene como finalidad proyectar la planta de tratamiento incluyendo todas las estructuras necesarias para el funcionamiento de esta obra, que es la parte troncal del esquema de saneamiento.

2 CAPÍTULO II DATOS DE PROYECTO

2.1 POBLACIÓN

La población es uno de los parámetros más importantes para el dimensionamiento de las obras que integran los sistemas de tratamiento, por lo que es indispensable conocer su evolución y las tendencias de crecimiento o decremento que ha presentado históricamente y, a partir de esta información determinar adecuadamente la población de proyecto, que determinará la capacidad de la planta y el monto de las inversiones.

Población Histórica

Se refiere a cómo se ha comportado el número de la población en años pasados.

La población que se ha registrado en la localidad, en el municipio y en el estado en los censos del INEGI se presenta en el siguiente cuadro, en donde se incluyen los índices de crecimiento.

POBLACIÓN HISTÓRICA						
AÑO	POBLACIÓN (habitantes)			ÍNDICE (i)		
	Localidad	Municipio	Estado	Localidad	Municipio	Estado
1900	255					
1910	278			0.009		
1921	423			0.039		
1930	376		1,048,381	-0.013		
1940	242		1,182,003	-0.043		0.012
1950	270		1,422,717	0.011		0.019
1960	489		1,851,876	0.061		0.027
1970	426		2,324,226	-0.014		0.023
1980	448		2,868,824	0.005		0.021
1990	935	8,008	3,548,199	0.076		0.021
1995	588	8,173	3,870,604	-0.089	0.004	0.018
2000	570	9,085	3,985,667	-0.006	0.021	0.006
2005	495	7,703	3,966,073	-0.028	-0.032	-0.001

Del cuadro anterior se concluye que en la localidad de Santa Inés la población ha disminuido gradualmente a partir del año de 1990, la misma situación se ha presentado entre los años 2000 y 2005 tanto en el municipio como en el estado. Por otra parte en otras localidades del estado también se tienen decrementos de población, que se han asociado a los movimientos hacia las ciudades de las distintas regiones o hacia EUA.

Población Actual

En la localidad de Santa Inés, se tiene una población actual de 660 habitantes, que incluye 100 habitantes de la comunidad de El Romeral, la población se determinó a partir de un conteo, así mismo se estimó a partir del número de acometidas eléctricas domésticas de CFE, considerando 4.67 hab por vivienda.

Características Socioeconómicas

En el censo del año 1990 en la localidad de Santa Inés se reportó una población de 935 habitantes, sin embargo en el año 2005 solamente se tenían 495 habitantes, en estos 15 años la localidad experimentó un decremento de población de 440 habitantes, si bien a partir del 2005 se ha estabilizado y nuevamente ha experimentado un crecimiento, aunque incipiente.

Las principales actividades económicas de los habitantes de la localidad son la agricultura, y en menor escala la ganadería y los servicios, además hay algunos comerciantes y también quienes desempeñan oficios como la albañilería, la herrería y otros en la misma localidad o en las poblaciones cercanas. También las divisas que llegan de USA son importantes ya que algunas personas que trabajan en ese país las envían para el sostenimiento de sus familiares, quienes eventualmente regresan a Santa Inés por algunos días o por temporadas.

Para el diseño del sistema de tratamiento es necesario definir la magnitud del caudal de aguas residuales y las características de éste, todo ello en función de la población de proyecto y de la dotación de agua potable.

2.2 DATOS DE PROYECTO CONSIDERADOS

Periodo de Proyecto

Se entiende por período de proyecto, el intervalo de tiempo durante el cual la obra llega a su nivel de saturación, este período debe ser menor que la vida útil. Los períodos de proyecto están asociados con los aspectos económicos, los cuales están en función del costo, esto es, a mayor tasa de interés menor período de proyecto. Siempre que sea posible se deberán idear proyectos modulares, que permitan aplazar las inversiones el mayor tiempo posible. Se buscará el máximo rendimiento de la inversión, al disponer de infraestructura con bajos niveles de capacidad ociosa en el corto plazo.

La vida útil es el tiempo que se espera que la obra sirva a los propósitos de diseño, sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados que hagan antieconómico su uso o que requiera ser eliminada por insuficiente.

Para la planta de tratamiento se determinó un periodo de diseño de 20 años puesto que es un horizonte adecuado para este tipo de obras.

Proyección de Población

Puesto que los índices de crecimiento en la localidad son negativos la proyección de población se calculó utilizando el método geométrico y el crecimiento promedio estatal de los censos registrados que es de 1.6% anual; considerando la siguiente expresión:

$$P_f = P_a (1+i)^n$$

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de la proyección de población obtenidos a partir del conteo del año 2005 y sumando la población de El Romeral desde el año 2009.

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

AÑO	POBLAC. hab	AÑO	POBLAC. hab.
2005	495	2018	763
2006	503	2019	775
2007	511	2020	787
2008	519	2021	800
2009	660	2022	813
2010	671	2023	826
2011	682	2024	840
2012	693	2025	853
2013	704	2026	867
2014	715	2027	881
2015	727	2028	895
2016	739	2029	910
2017	750	2030	925

Se utilizó este procedimiento porque es el que mejores resultados arroja y es el que usan la mayoría de las dependencias gubernamentales para hacer sus proyecciones. Como antes se señaló se adoptó un periodo de proyecto de 20 años que va del año 2010 al 2030, si bien no se alcanza a la población histórica máxima (935 hab), la modulación de las unidades de tratamiento dará oportunidad de cubrir cualquier crecimiento extraordinario de la población.

En la gráfica anexa se observa un salto brusco en el año 2009 que corresponde a la adición de la población de la comunidad de El Romeral.

Población de Proyecto

La población de proyecto es la cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del periodo de diseño del sistema de agua potable y alcantarillado.

Para el dimensionamiento de las obras que integran la planta de tratamiento de aguas residuales se considerará una población de proyecto de 925 habitantes.

Dotación y Aportación

Dotación es el volumen de agua que considera el consumo de todos los servicios que se hacen por habitante por día, incluyendo pérdidas físicas.

Se adopta el criterio de aceptar como aportación de aguas negras, el 80% de la dotación de agua potable, considerando que el 20% restante se consume antes de llegar a los conductos. En las localidades que cuenten con zonas industriales y comerciales de consideración, se deberá obtener el porcentaje de aportación para cada una de estas zonas en particular, independientemente a las zonas domésticas.

Tomando en cuenta que se trata de una localidad rural se adoptó una dotación de 150 l/h/d, a partir de ésta se determinó una aportación de 120 l/h/d, que resulta de considerarla como el 80 % de la dotación.

Proyección de Gastos de Aguas Residuales

En función de la proyección de población y de las aportaciones de aguas residuales se tendrán los siguientes caudales, durante el periodo de diseño.

PROYECCIÓN DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

AÑO	POBLAC. hab	Q l/s	AÑO	POBLAC. hab	Q l/s
2005	495	0.69	2018	763	1.06
2006	503	0.7	2019	775	1.08
2007	511	0.71	2020	787	1.09
2008	519	0.72	2021	800	1.11
2009	660	0.92	2022	813	1.13
2010	671	0.93	2023	826	1.15
2011	682	0.95	2024	840	1.17
2012	693	0.96	2025	853	1.19
2013	704	0.98	2026	867	1.20
2014	715	0.99	2027	881	1.22
2015	727	1.01	2028	895	1.24
2016	739	1.03	2029	910	1.26
2017	750	1.04	2030	925	1.28

* Aportación 120 l/h/d

Las unidades de la planta de tratamiento se diseñarán para un caudal medio de 1.28 l/s, y de ser necesario se modulará, con esta capacidad, a lo largo del periodo de proyecto.

Gastos de Proyecto de Agua Potable y Aguas Residual

En el siguiente cuadro se presentan los caudales de proyecto de agua potable y aguas residuales que se tendrían al final del periodo de proyecto.

CAUDALES DE PROYECTO AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES

PARÁMETRO Unidad	Población habitantes	AGUA POTABLE		AGUA RESIDUAL			
		Dotación l/h/d	Q medio l/s	Aportación l/h/d	Q medio l/s	Qmax.ins l/s	Qmax.ext l/s
CANTIDAD	925	150	1.61	120	1.28	4.88	7.32

Las unidades de la planta de tratamiento se diseñarán para el gasto medio (Q medio), el pretratamiento para el gasto máximo instantáneo (Q max.ins) y la obra de excedentes y desvío de emergencia para el gasto máximo extraordinario (Q max.ext).

En la memoria de cálculo (ANEXO IV) se presentan los datos recabados referentes a la población y los resultados de los cálculos realizados.

Reuso del Agua Tratada

El caudal de agua tratada se descargará al Río Susupuato, como actualmente se hace con el agua cruda, y aguas abajo se utilizará en diferentes actividades agrícolas, como se viene haciendo. Si bien por su magnitud el agua tratada tendrá poco efecto en la corriente, tanto en calidad como en volumen.

2.3 CALIDAD DEL AGUA CRUDA

La calidad del agua residual se determinó a partir del monitoreo realizado en la descarga existente, si bien por la influencia del agua de lluvia que se tuvo en los días del muestreo, se adoptaron las siguientes características generales.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES					
PARÁMETRO	DBO5	SST	DQO	Colifo. fec.	Q medio
Unidad	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	l/s
VALOR	240	240	586	3.60E+06	1.28

El estudio realizado para el análisis Físico-Químico y Bacteriológico en el laboratorio consistió en la toma de muestras simples y en la formación de las compuestas, para determinar los parámetros de campo.

En general del estudio de calidad del agua se establece que las aguas residuales de la localidad de Santa Inés son típicamente domésticas, de concentraciones débil y no contienen ningún agente o elemento tóxico que pueda interferir con los procesos de tratamiento. Lo anterior era de esperarse dado que la localidad es muy pequeña y el agua suministrada solamente se utiliza en actividades domésticas.

2.4 CALIDAD DEL AGUA TRATADA

En una primera instancia, en función del uso que se le dará al agua tratada se determinó la calidad que deberá tener el efluente de la planta de tratamiento, considerando que se descargará a una corriente que se utiliza en el riego agrícola, deberá cumplir con:

- La NOM-001-SEMARNAT-1996, que para la DBO5 establece en la descarga un promedio mensual de 150 mg/l.

Sin embargo si eventualmente el caudal tratado entra en contacto con personas deberá cumplirse con:

- La NOM-003-SEMARNAT-1997, que para la DBO5 establece en la descarga un promedio mensual de 30 mg/l.

De acuerdo con lo anterior en el siguiente capítulo se analizarán los procesos más adecuados para obtener la calidad requerida.

Si bien existen otros factores funcionales que determinan el proceso de tratamiento más adecuado, tales como la localización de la planta con respecto a las viviendas y las características y extensión del terreno disponible. Los montos de la inversión inicial y del mantenimiento tienen gran relevancia aunque pueden estar supeditados a la calidad del agua requerida debido a los usos específicos que se les pretenda dar.

Por otra parte, los materiales y desechos que se recuperen en las unidades de pretratamiento se manejarán adecuadamente dentro de los predios de las plantas y finalmente se dispondrán en los sitios en que se confinan los desechos domésticos. En cuanto a los lodos que se producen durante los procesos de depuración del agua, éstos se tratarán adecuadamente en el sitio de las PTAR, para finalmente disponerse como mejoradores o capas de suelo, o bien como abono orgánico.

3 CAPÍTULO III ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PLANTA DE TRATAMIENTO

En función de la normatividad aplicable la calidad requerida del agua tratada, se podría alcanzar con un proceso biológico primario, si bien se analizarán y compararán diferentes alternativas de procesos de tratamiento que cumplan los criterios más estrictos señalados en la NOM 003.

Los procesos biológicos primarios en general reducen la DBO en un rango que va del 45% al 60%, con lo que es posible alcanzar los valores señalados para descargar el caudal tratado a corrientes que se utilicen para riego agrícola.

Tomando en cuenta que Santa Inés es una localidad rural en donde las extensiones de terreno disponible para ubicar una planta de tratamiento son suficientes, aunque limitadas, y considerando que no se tiene una gran disponibilidad de recursos económicos para la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de cierta complejidad como pudiera ser una mecanizada, se propondrán procesos naturales que sean muy eficientes en la remoción de contaminantes, fáciles de operar, que no requieran de equipos de proceso ni de una alta inversión inicial.

Las plantas de tratamiento que se proponen y consecuentemente analizarán son reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) complementados, en una segunda etapa, con humedales y/o lagunas de estabilización, o bien filtros biológicos y estarían integradas según los siguientes esquemas:

- RAFA, humedal y laguna de maduración en serie.
- RAFA, laguna facultativa y laguna de maduración en serie
- RAFA, filtro biológico, clarificador y tanque de contacto de cloro.

Véase **figura N° 6,7 y 8**

En todos los casos se procurará evitar una planta de bombeo de aguas residuales, inicialmente se tendría un pretratamiento consistente en rejilla y desarenador y, además se requerirá de acondicionar el lodo resultante antes de su disposición final.

En el ANEXO III **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PLANTA DE TRATAMIENTO** se describen las alternativas.

3.1 ALTERNATIVA SELECCIONADA

Las alternativas analizadas tienen en común el RAFA, que se podría utilizar como unidad única de proceso ya que el efluente cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996. En función de las ventajas que presenta el proceso y de las aportaciones que hace al entorno (véase la matriz de comparación) la alternativa seleccionada es la que se forma con Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), Humedal y Laguna de Maduración.

En los siguientes apartados se desarrollarán las etapas de proyecto de cada una de las unidades que integrarán la planta de tratamiento de aguas residuales.

ALTERNATIVAS PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PROCESOS ANALIZADOS MATRIZ COMPARATIVA

HUMEDAL		LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN		FILTRO PERCOLADOR	
Eval.	CARACTERÍSTICAS	Eval.	CARACTERÍSTICAS	Eval.	CARACTERÍSTICAS
10	Facilidad de operación	10	Facilidad de operación	9	Facilidad de operación, aunque requiere vigilancia
10	El proceso no presenta problemas mayores de operación y mantenimiento, aunque periódicamente se necesita cosechar la planta	9.5	El proceso no presenta problemas mayores de operación y mantenimiento, aunque pueden presentarse zonas muertas y cortocircuitos	8	El proceso no presenta problemas mayores, aunque requiere de operaciones rutinarias para mantenerlo
10	No requiere de suministros y reactivos	10	No requiere de suministros y reactivos	7	Requiere de energía eléctrica y cloro
10	No requiere de equipamiento electromecánico	10	No requiere de equipamiento electromecánico	8	Precisa de equipamiento electromecánico menor y de estructuras conexas, como cárcamos y casetas.
10	El mantenimiento correctivo no es frecuente y se refiere a la obra civil y a las tuberías y elementos de control	10	El mantenimiento correctivo no es frecuente y se refiere a la obra civil y a las tuberías y elementos de control	7	El mantenimiento correctivo no es frecuente y se refiere a la obra civil, al equipo mecánico y a las tuberías y elementos de control
9	Requiere una extensión de terreno grande	8	Requiere una extensión de terreno más grande***	10	Requiere una extensión de terreno reducida
10	La inversión inicial es la más baja	9.5	La inversión inicial es baja	8	La inversión inicial es más alta
10	Los costos por mantenimiento y operación son bajos	10	Los costos por mantenimiento y operación son bajos	8	Los costos por mantenimiento y operación son más altos
10	Son estructuras que mejoran el entorno ya que son un refugio para fauna menor y aves y por su vegetación son muy apreciados.	9.8	Son cuerpos de agua que mejoran el entorno y se convierten en abrevadero de ciertas aves y fauna menor	7	En general son amigables con el entorno y puesto que no ocupan grandes extensiones el terreno se puede conservar en su estado natural
89	Alternativa Seleccionada	86.8		72	

10 Situación óptima

0 Situación no deseable

Mejor alternativa =calificación mayor

*** En todos los casos el área del terreno es la misma, ya que solamente se pudo conseguir la parcela entera.
Los procesos tienen en común un RAFA y lechos de secado de lodos.

4 **CAPÍTULO IV SELECCIÓN DEL SITIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

Los terrenos que se analizarán para alojar la planta de tratamiento se sitúan en las márgenes de río ya que las descargas actuales se tienen en éste, consecuentemente el emisor tendrá un trayecto marginal por lo menos hasta el sitio en que se le incorpore el colector de la comunidad de El Romeral. Sin embargo los terrenos ubicados en las márgenes del río son muy cotizados y, aunque en algunos la pendiente es fuerte, en la mayoría se tienen huertas de guayaba, lo que puede complicar su adquisición. En la **Figura No 3** Localidad de Santa Inés Infraestructura Troncal se presenta la localización de los sitios propuestos.

Sitio No 1 Margen Izquierda del Río.

Este terreno se localiza en la margen izquierda del Río Susupuato, frente a la comunidad de El Romeral, actualmente está ocupado con una huerta, el desnivel es fuerte, aunque es aprovechable la franja próxima al río en donde la pendiente es más suave, además haciendo cortes se puede incrementar el área disponible. Este predio tiene una extensión de 1 ha y es el único que se pudo adquirir, si bien no todo es aprovechable, si se podrán tener flujos por gravedad en el emisor y en la planta de tratamiento, aunque la mayor parte del terreno se encuentra por arriba del emisor.

Sitio No 2 Margen Derecha del Río.

Este terreno se ubica aguas abajo del anterior y presenta mejores condiciones topográficas, es de pendiente suave y la extensión, como en el caso anterior, también estaría sobrada puesto que es del orden de 0.75 ha. Se utiliza para el cultivo de forrajes y no fue posible adquirirlo porque no está en venta, ya que es parte del patrimonio familiar.

Aguas abajo del sitio anterior, las márgenes del río son más escarpadas y no hay sitios adecuados en los que se pueda negociar su adquisición.

Sitio Seleccionado para la Planta de Tratamiento

El primer sitio aunque es de pendiente pronunciada, presenta una franja de características topográficas adecuadas para alojar la planta de tratamiento, en esta parte del terreno los flujos de las aguas residuales en el emisor y en la planta se darían por gravedad. Por lo anterior se concluye que el sitio No 1 es el seleccionado para la planta de tratamiento.

5 CAPÍTULO V EMISOR

Es el conducto que recibe las aguas de un colector o de un interceptor. No recibe ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la caja de entrada de la planta de tratamiento.

El emisor iniciará en la descarga existente del alcantarillado de Santa Inés (la fosa que no opera) y se localizará en la margen izquierda de Río Susupuato, estará formado con tubería de PEAD, anillada, para alcantarillado, de 25 cm de diámetro y de 540 m de longitud, en los últimos tramos se instalará superficialmente y sobre un terraplén para evitar que en la planta de tratamiento se profundicen las unidades de tratamiento, en el último registro recibirá la descarga de la comunidad de El Romeral y un poco más adelante se tendrá una caja de desvío de excedentes que se conectará al pretratamiento.

6 CAPÍTULO VII TOPOGRAFÍA DEL SITIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

El terreno en que se asentará la planta de tratamiento se levantó topográficamente, se configuraron curvas de nivel a cada 50 cm y se determinaron otros aspectos y rasgos sobresalientes, se señalaron límites, cercas y pasos. El levantamiento se realizó en base a una poligonal cerrada, en la que los Pl's se localizaron en las deflexiones del terreno y, a partir de éstos se hicieron una serie de radiaciones para determinar la elevación de diversos puntos dentro de la poligonal, con los que se configuraron las curvas de nivel utilizando un paquete de configuración digital (civilCAD). Para el levantamiento topográfico se utilizó una estación total y se ligaron tanto los levantamientos topográficos del emisor como de la planta.

Los levantamientos topográficos se corrieron a partir de un banco de nivel existente en la localidad que está referido a coordenadas particulares utilizadas para otras obras.

En el plano **SITIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TOPOGRAFICO** se presenta la configuración topográfica del terreno.

El terreno está ocupado con una huerta de guayaba, muy cerrada, con frutales del orden de 3 m de altura, se localiza en la margen izquierda del Río Susupuato, tiene una extensión de 10,659 m², y presenta una pendiente fuerte del orden del 17 %, de sur a norte, en dirección al río, el desnivel promedio es del orden de 11 m en 6 m de ancho, si bien hacia la parte poniente la pendiente es aún más fuerte.

Para acceder al terreno se tiene un camino de terracerías por el que se transita a las huertas, aunque para llegar al sitio de la planta falta un tramo de unos 205 m de longitud que se tendrá que habilitar para la construcción de la obra.

7 CAPÍTULO VII MECÁNICA DE SUELOS

El estudio de mecánica de suelos se realizó con la finalidad de conocer las propiedades índice y mecánicas del subsuelo y a par tir de és tas determinar los valores de datos que son indispensables para el diseño de las estructuras de proceso, tales como capacidades de carga, taludes de los cortes, conformación de los pavimentos de las vialidades y, en general para definir otros aspectos de los procedimientos constructivos.

Se hicieron 2 pozos a cielo abierto de los que se tomaron muestras inalteradas y alteradas de las diversas capas existentes, que se analizaron en laboratorio en donde se obtuvieron sus propiedades físicas y mecánicas y los perfiles estratigráficos, entre otros.

8 CAPÍTULO VIII PROYECTO EJECUTIVO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En función de las alternativas analizadas se determinó que la planta de tratamiento de aguas residuales será un R.A.F.A. (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), que se complementará con un Humedal y una Laguna de Maduración. Antes del R.A.F.A. se tendrá un pretratamiento consistente en rejillas y desarenador y, para el tratamiento de los lodos se tendrán lechos de secado. En una primera etapa el R.A.F.A. podría funcionar como un sistema único incluyendo un tanque de contacto de cloro para la desinfección del efluente.

El caudal llegará a la caja incorporación y de desvío de excedentes, pasará a la estructura de pretratamiento, inicialmente por las rejillas y enseguida por el desarenador, para ingresar al R.A.F.A., enseguida pasará al Humedal y finalmente entrará a la Laguna de Maduración y de ésta se descargará al río. El lodo en exceso del R.A.F.A. se enviará a los lechos de secado en donde se deshidratará para disponerse finalmente.

El humedal y la laguna de maduración inicialmente se podrían sustituir por un sistema de cloración implementado con un tanque de contacto de cloro. En este caso cabe esta posibilidad porque dadas las características topográficas del terreno para alojar el humedal y la laguna se tendrán que hacer cortes de hasta 7 m. En los planos **DIAGRAMA DE PROCESO y PERFIL HIDRÁULICO** se presentan los esquemas planteados.

8.1 PROYECTO FUNCIONAL E HIDRÁULICO

Los gastos de proyecto con los que se diseñaron las unidades de proceso y las líneas y estructuras de interconexión se presentan en el siguiente cuadro.

CAUDALES DE PROYECTO AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES

PARÁMETRO Unidad	Población habitantes	AGUA POTABLE		AGUA RESIDUAL			
		Dotación l/h/d	Q medio l/s	Aportación l/h/d	Q medio l/s	Q max.ins l/s	Qmax.ext l/s
CANTIDAD	925	150	1.61	120	1.28	4.88	7.32

Los diseños del R.A.F.A., el humedal y la laguna de maduración se realizaron con el caudal medio de proyecto, de 1.28 l/s; el de las tuberías y estructuras de interconexión se hizo para el caudal máximo instantáneo de 4.88 l/s. Para el diseño cinético se consideraron los siguientes parámetros índice: DBO₅=250 mg/l y Coliformes Fecales de 3.6 E+6. En la memoria de cálculo anexa se presentan todas las consideraciones de diseño y los parámetros adoptados.

Las unidades en que se desarrollan los procesos constituyen la parte funcional del la PTAR que estará integrada con: pretratamiento (que incluye rejillas y desarenador), R.A.F.A., humedal y laguna de maduración y, lechos de secado de lodo. Las obras y líneas de interconexión y, las estructuras de control por las que pasa el caudal de una unidad a otra, son parte del diseño hidráulico, a continuación se detallan los flujos que sigue el caudal entre las unidades.

En los planos **ZONA DEL REACTOR ARREGLO DE CONJUNTO, ARREGLO GENERAL DEL R.A.F.A. EN EL TERRENO Y ARREGLO HUMEDAL LAGUNA DE MADURACIÓN** se presentan las obras que integran la planta de tratamiento.

En los planos **ZONA DEL REACTOR ARREGLO DE CONJUNTO LINEAS DE INTERCONEXIÓN y OBRAS DE ALIMENTACIÓN, PASO Y DESCARGA**, se presentan las obras por las que se dan los diferentes flujos hidráulicos.

8.1.1 FLUJO DE AGUA

CAJA DE INCORPORACIÓN Y DESVÍO DE EXCEDENTES

Esta es una caja de tabique y losas de concreto armado, recibe los emisores de la localidad de Santa Inés y de la comunidad de El Romeral consta de tres cámaras, una de llegada, otra de paso y desvío (que esta girada respecto a la primera), y la otra de salida de excedentes que esta adosada a la anterior. Entre las cámaras de paso y desvío se tiene un vertedor que permite la derivación del gasto que sobrepasa el máximo instantáneo, en la cámara de paso se tienen agujas que permiten derivar todo el caudal a la de salida de excedentes. Las cámaras tienen un ancho de 75 cm y su aspecto es un poco irregular, si bien los compartimientos están geométricamente relacionados.

En la cámara de llegada descargan los emisores de Santa Inés (PEAD, anillado de 25 cm ø) y El Romeral (acero de 200 mm ø), del compartimiento de derivación y paso sale una tubería de PEAD, anillado de 25 cm de diámetro que se conecta al pretratamiento y en la cámara de salida de excedentes se tiene una tubería de PEAD, anillado de 20 cm de diámetro que descarga al río.

En el plano **CAJA DE INCORPORACIÓN Y DESVÍO DE EXCEDENTES** se presentan las características de esta unidad.

PRETRATAMIENTO

Esta estructura es de muros de tabique y losas de concreto armado, está formada con 2 canales paralelos en los que se tiene una rejilla seguida de un desarenador. Estos elementos se utilizarán alternadamente, trabajará uno en tanto se limpia y se mantiene el otro, los canales se seccionan con agujas de madera.

La rejilla es metálica, de operación manual, con espacio libre entre barras de 25 mm (1"), en ella se atraparán algunos desechos tales como trozos de plástico, cartón, madera, trapos y otros elementos de este tipo. El desarenador es de tipo hidráulico, de flujo horizontal, en donde la velocidad requerida para la sedimentación de las partículas se propicia con un vertedor de tipo sutro que mantiene la misma velocidad para diferentes gastos. Se espera que precipiten arenas, rebabas y materiales similares.

El desarenador tiene una tolva en el fondo en la que se acumulan los materiales que sedimentaron, y que se descargan traspaleándolos. Del desarenador el caudal pasa a la caja de repartición, de ésta se desprenden 4 tuberías de acero de 100 mm (4") $\varnothing$ que van al R.A.F.A., y entran por el fondo.

Los canales miden 0.30 m de ancho y toda la estructura mide 1.05 m de ancho por 3.18 m de largo.

En el plano **PRETRATAMIENTO FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL** se presentan las características de los elementos que integran esta estructura.

R.A.F.A.

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A.) es un tanque de concreto armado, cerrado, con una tolva central, su principio fundamental consiste en poner las aguas residuales en contacto con un lecho de lodos y en propiciar en la salida la separación de los sólidos, con lo que se obtiene un efluente de mayor calidad.

El caudal entra al reactor por el fondo, se reparte en 4 puntos de la superficie inferior, atraviesa con un flujo ascendente un lecho de partículas bacterianas y sale superficialmente por una canaleta que descarga a una caja de salida, de donde pasa al humedal por una tubería de PVC de 100 mm (4"). La canaleta se encuentra en la parte central del reactor y a cada lado cuenta con una placa de vertedores triangulares múltiples (dentados), movable por lo que es posible nivelar la carga en cada vertedor.

Si en una primera etapa no se construye el humedal, el caudal del R.A.F.A. pasará directamente de la canaleta o de la caja de salida al tanque de contacto de cloro.

En los planos **REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE 1 de 2, REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE 2 de 2 y REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE DETALLES**, se presentan las características de esta unidad.

HUMEDAL

Los humedales suelen ser unidades formadas con bordos o excavaciones de poca profundidad (menor a 120 cm), tienen un lecho empacado inundado, en el que se sustentan plantas emergentes, como el carrizo, el tule o la chuspatha. El caudal entra y sale por cabezales que se encuentran en los taludes de los bordos o de los cortes del terreno.

Cabezal de Alimentación

La tubería que llega del R.A.F.A se conecta al centro del cabezal de entrada que se ubica en el talud interior. El caudal se reparte a cada lado del cabezal y sale por una serie de perforaciones

que se tienen a lo largo de éste. El cabezal consiste en una tubería de PVC, tapada en los extremos, con perforaciones de 2.5 cm de diámetro, a cada 75 cm, se encuentra sumergido 20 cm y, está parcialmente empotrado en el talud y cubierto por un enrocamiento.

Descarga del Humedal y Paso a Laguna de Maduración

Las obras de descarga del humedal consisten en un cabezal de salida y una caja recolectora y de paso. El cabezal es similar al anterior, aunque la tubería tiene dos líneas de orificios de 1.27 cm $\varnothing$, a cada 25 cm, las líneas están a 90° una respecto a la otra y desfasadas 12.5 cm, la tubería se encuentra en el fondo, al pie del talud y descarga a la caja recolectora de donde el caudal pasa a la laguna de maduración.

El cabezal de descarga se conecta a una tubería flexible de PEAD de 100 mm (4") de diámetro, RD 26, esta tubería se puede subir o bajar dentro de la caja, lo que permite extraer el agua a diferentes alturas y variar ligeramente las tasas de salida. La caja es de concreto armado de 70 x100x110 cm y la tubería flexible se sujeta con una cadena a un marco de fierro, la cadena permite subir o bajar la tubería.

Del fondo de la caja salen dos tuberías de PVC de 100 mm (4 ") de diámetro que alimentan la laguna de maduración. Véase el plano **OBRAS DE ALIMENTACIÓN, PASO Y DESCARGA**.

LAGUNA DE MADURACIÓN

Las lagunas de estabilización (incluidas las de maduración) son estanques en los que se descargan y retienen las aguas residuales o parcialmente tratadas, se construyen excavando el terreno y con bordos, tienen profundidades máximas de 4 ó 5 m. Las lagunas de maduración son unidades aeróbicas con la función básica de reducir el contenido bacteriano.

Alimentación

La alimentación a la laguna se hace con las 2 tuberías de PVC que salen de la caja antes señalada (100 mm (4") $\varnothing$) y que se localizan en la corona del bordo que forma la laguna y descargan en el talud de ésta, a unos 20 cm abajo del nivel del espejo de agua. Los taludes se encuentran recubiertos con mampostería o concreto.

Descarga

Esta obra está diseñada para tomar el caudal 25 cm por abajo del nivel del espejo de agua de la laguna y mantener el nivel de ésta; consiste en una caja de concreto armado de 40 cm de ancho, 70 cm de largo y 85 cm de profundidad. Inicialmente tiene una mampara que se sumerge 20 cm, (lo que evita que se tome agua de la superficie y se arrastren algas), enseguida se encuentra un vertedor que es más alto que la parte baja de la mampara, (con lo que se mantiene sumergida la toma y el nivel del espejo de la laguna arriba de ésta), después está una cámara de salida, de la que se desprende una tubería de PVC de 100 mm de diámetro que descarga el caudal ya tratado, a un canal que llega al río.

Se tienen de 2 cajas que se encuentran en el talud del bordo y las tuberías están alojadas en el cuerpo del mismo. Véase el plano **OBRAS DE ALIMENTACIÓN, PASO Y DESCARGA**.

Las tuberías de PVC que se utilicen las unidades antes señaladas incluidas las de los cabezales serán hidráulicas RD41.

8.1.2 FLUJO DE LODOS

LECHO DE SECADO DE LODO

El exceso de lodos del reactor se descargará a lechos de secado de lodos, a través de una tubería de acero de 150 mm $\varnothing$ y un cabezal de descarga del mismo material y diámetro.

El lodo se descargará en cada uno de los 4 lechos, maniobrando las válvulas de seccionamiento del cabezal, el exceso de humedad que pase el medio filtrante se drenará por una canaleta de fondo y se captará en registros de los que se llevará a un pozo de absorción, mediante una tubería de PVC sanitaria de 10 cm (4") de diámetro. El lodo desecado se dispondrá como mejorador de suelos en los sitios que se requiera.

En el plano **LECHOS DE SECADO DE LODOS** se presentan las características de esta estructura.

8.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.)

Este tipo de reactores comenzó a utilizarse en Holanda en el año de 1975, están basados en la acumulación de microorganismos en un reactor con sedimentación interna. El agua que se tratará entra por el fondo y se reparte en toda la superficie inferior (zona de fermentación), atraviesa con un flujo ascendente un lecho de partículas bacterianas agregadas que se mantienen en expansión por el gas producido.

El reactor tiene zonas muy bien definidas y con funciones propias que son: zona de influente y repartición, zona de digestión (zona de lodos) y zona de separación gas-sólido-líquido.

La zona de influente al reactor es de gran importancia y en ella se debe procurar una buena distribución, sin que aparezcan zonas muertas ni caminos de flujo preferentes.

La zona de digestión (o de lodos) se tiene en la parte baja del reactor, en ella se da el contacto del agua cruda con el lecho de lodos que se ha formado. En la parte inferior pueden formarse auténticos gránulos y se alcanzan concentraciones de sólidos totales del orden 150 gr/l, con un elevado contenido de materia volátil, > a 80 %. En la parte superior la granulometría no es tan evidente y se forma una capa de lodos en suspensión por lo que el contenido de sólidos totales es menor en esta parte.

La zona de separación gas-sólido-líquido se presenta en la tolva que se tiene en la parte central del reactor, el gas asciende y se concentra en las cámaras superiores, las partículas sólidas que se separan de las burbujas de gas sedimentan y regresan al lecho de lodos. La zona de separación se comporta como un sedimentador interno que impide la salida excesiva de microorganismos, haciendo innecesaria la recirculación. Las mamparas que forman la tolva propician la separación y encauzamiento del gas hacia las cámaras y en el interior de la tolva se crea una zona de reposo que permite la decantación bacteriana y el retorno de los agregados bacterianos hacia la zona activa inferior.

Las remociones de DBO son de hasta el 60 %, sin embargo son poco eficientes en reducción bacteriana. Puesto que en general se trata de un proceso de degradación anaeróbico, las bacterias y los procesos cinéticos que se verifican son semejantes a las de las lagunas anaerobias y procesos de este tipo.

El reactor proyectado es una estructura de concreto armado prácticamente cerrada, de 3.05 x 3.05 x 5.14 m, en la parte central cuenta con dos mamparas inclinadas con una abertura en la parte baja, en la parte central de la tolva se encuentra una canaleta de recolección de agua. En el fondo hay 4 tuberías de alimentación y en las paredes una tubería de extracción de lodos y 4 tubos de muestreo de lodos; en la losa superior del tanque se tiene la tubería de extracción de gas.

El caudal llega por el fondo, por cuatro tuberías (acero de 4" $\varnothing$), enseguida asciende y sale por la canaleta que se tiene en el centro de la tolva. Entre el fondo del reactor y la tolva se forma la zona de lodos, entre las mamparas de la tolva y los muros del reactor se tienen las 2 cámaras de gas, en la tolva se forma la zona de separación.

Eventualmente se tendrá un exceso de lodos que se deberá sacar del reactor, el lodo saldrá de la parte inferior, por carga hidráulica, a través de una tubería de acero de 150 mm (6") $\varnothing$ que se conecta al cabezal de los lechos de secado.

Para verificar la consistencia y cantidad de lodo se tienen 4 tuberías de muestreo (testigos), que son de acero, de 51 mm (2") $\varnothing$, que por carga hidráulica permiten la salida de lodo y que se controlan con válvulas de seccionamiento, la entrada a estas tuberías se encuentra a diferente altura a partir del fondo del reactor.

El gas que se acumula en las cámaras eventualmente se conduce por una tubería de cobre, de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") $\varnothing$, y se quema o bien se descarga a la atmósfera, la salida del gas se controla con válvulas de esfera. Véase el plano **REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE DETALLES**.

HUMEDAL

Los humedales diseñados y contruidos son humedales artificiales y se conocen simplemente como humedales. Los humedales naturales son las áreas que naturalmente se inundan temporal o permanentemente e incluyen vegetación hidrófila fija o estacional, son la transición entre sistemas acuáticos y terrestres. Los humedales artificiales son embalses de aguas residuales de poca profundidad que se forman con bordos o bien cortando el terreno, tienen un lecho de grava y en éste se sustenta vegetación hidrófila.

Los humedales artificiales suelen ser estructuras con bordos de poca profundidad (menor a 120 cm), con un lecho empacado inundado, en el que se sustentan plantas emergentes, como el carrizo, el tule o la chuspata. Las plantas y el medio que las sustenta constituyen la parte fundamental de este proceso ya que absorben la materia orgánica, propician la filtración, sustentan los microorganismos, transfieren oxígeno y limitan la penetración de la luz solar, lo que inhibe la formación de algas.

Los humedales son muy eficientes en remoción de nutrientes, nitrógeno y fósforo (en menor proporción), por lo que se utilizan cuando el agua tratada se va a descargar a lagos y embalses artificiales en los que es preciso reducir las aportaciones de nutrientes.

Los humedales suelen ser muy apreciados por su belleza y proporcionan un medio adecuado para el establecimiento de algunas aves, insectos, tortugas, ranas y mamíferos pequeños, lo que los hace aún más valiosos.

Puesto que el terreno en que se localizará la PTAR tiene una pendiente fuerte que se dirige al río y, el humedal y la laguna de maduración se localizarán en la margen izquierda de éste será necesario realizar grandes cortes para alojar la mayor parte de estas unidades. En este caso el humedal se formará con un muro de contención paralelo al río, un bordo de material graduado de corta longitud y cortando una gran parte del terreno para formar la corona y los taludes. Los taludes interiores del bordo y los que se labren en el terreno estarán recubiertos con una chapa de mampostería o bien con losas de concreto.

En el embalse que se formará con los muros de mampostería, los bordos y los cortes del terreno tendrá una profundidad de 1 m, y estará empacado con una capa de grava de 3 cm de diámetro y 70 cm de altura, si bien en los taludes se tendrá una franja de aproximadamente 50 cm de ancho de piedra acomodada de 10 cm de diámetro, la altura del agua será de 60 cm, por lo que el lecho tendría una parte seca de 10 cm y un bordo libre de 30 cm. En la superficie del lecho se sembrará y se desarrollará el tule y el carrizo.

Los bordos y los cortes del terreno tendrán una corona de 1 m de ancho y taludes 1:1, el fondo del humedal se formará con una capa base de 20 cm y un filtro de 30 cm. Los bordos se formarán con una arcilla arenosa CL o bien con una arena arcillosa SL, compactada al 95% de su peso volumétrico seco, obtenido en la prueba Proctor estándar.

En el plano **MUROS Y BORDOS TIPO** y los planos de **ARREGLO HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN** y **OBRAS DE ALIMENTACIÓN PASO Y DESCARGA** se presentan las características de esta unidad.

LAGUNA DE MADURACIÓN

Las lagunas de maduración o de pulimento son unidades netamente aeróbicas con la función básica de reducir el contenido bacteriano puesto que la mayor proporción de sólidos, DBO y parásitos se remueve en el R.A.F.A. y en el humedal.

En relación con los mecanismos de acción para la destrucción de organismos patógenos, se deben distinguir dos casos: la remoción de parásitos y la mortalidad bacteriana. En el primer caso se ha establecido que el principal mecanismo es la sedimentación, de modo que para asegurar la remoción de los nematodos intestinales que son los parásitos de interés en el tratamiento de aguas residuales, se requiere un período de retención de por lo menos 10 días.

En cuanto a la destrucción bacteriana los mecanismos son varios. Entre estos se encuentran: la sedimentación, el antagonismo con otros organismos (principalmente algas), la temperatura, la radiación solar y el incremento del pH.

En este caso se tiene una sola laguna de maduración que recibirá el caudal del humedal. La laguna tendrá dos puntos de alimentación y dos de descarga.

La laguna se formará de manera similar al humedal, con un muro de mampostería paralelo al río, bordos de material de banco y corona y taludes excavados en el terreno. La profundidad total será de 2.00 m, con tirante de agua de 1.50 m y bordo libre de 0.50 m.

El fondo de las lagunas se formará con una capa base de 20 cm y un filtro de 30 cm de espesor, la corona será de 1 m de ancho y los taludes 1:1 y estarán recubiertos con una placa de piedra o de losas de concreto. El bordo estará formado con material de banco CL o SC según se detalló anteriormente.

Como antes se señaló para formar el humedal y la laguna se requieren de grandes cortes y movimientos de tierra, por lo que estas unidades se pudieran construir en una siguiente fase y sustituirse provisionalmente con un tanque de contacto de cloro.

En el plano **MUROS Y BORDOS TIPO** y los planos de arreglo de conjunto y obras de alimentación paso y descarga se presentan las características de esta unidad.

Tanque de Contacto de Cloro

El caudal que vierta por la canaleta del R.A.F.A. pasará al tanque de contacto de cloro en donde se le aplicará el compuesto de cloro, que en obras de este tipo generalmente es hipoclorito de cloro, con una dosificación de 5 PPM. Se trata de una estructura de tabique y concreto que cuenta con mamparas interiores, de acrílico, que forman un canal (dentro del tanque) con cambios de dirección a 180°, en el que se da la reacción entre el cloro y el agua. La unidad mide 2.00 x 2.23 x 2.30 m y los canales que se forman tienen un ancho de 0.31 m, la tubería de descarga es de acero de 150 mm (6") $\varnothing$ y va directamente a río.

El sistema de desinfección será a base de hipoclorito de cloro diluido y operará totalmente a gravedad, básicamente consiste en dosificar la mezcla de hipoclorito a partir de un tanque y en calibrar el gasto con una válvula dosificadora.

El sistema de desinfección se forma con un tanque de 700 lts en el que se almacena la mezcla de hipoclorito, una línea de descarga de PEAD, de 12.7 (½") de diámetro, válvula de seccionamiento y válvula dosificadora.

El sistema de desinfección integrado con el tanque de contacto de cloro y el equipo de dosificación solo se implementaría si no se construye el sistema del humedal y la laguna de maduración y sería provisional.

LECHOS DE SECADO DE LODO

El tratamiento más adecuado para los lodos que se producen en los RAFA, dado su bajo volumen, es en lechos de secado de lodos, que una vez deshidratados se disponen como mejoradores de suelos o cubierta de rellenos sanitarios, ya que tienen poco valor como abono orgánico.

Los lechos de secado son el procedimiento más simple y económico para el deshidratado del lodo, básicamente consisten de un lecho formado con 3 capas de material filtrante sobre las que se depositan los lodos frescos, una parte del agua que contienen se filtra en el lecho y otra se evapora, además la acción del sol elimina parte de los patógenos contenidos en el lodo. El agua que se filtra se lleva a un pozo de absorción.

En el fondo del lecho, al centro, se tiene una canaleta cubierta con una rejilla de soleras de acero separadas 1.9 cm, sobre la rejilla se encuentra una capa de grava gruesa de 20 cm de espesor, enseguida se tiene una capa de grava fina del mismo espesor y finalmente está una capa de arena fina de 20 cm, sobre la que se descargan los lodos que tendrán un tirante de 20 cm.

El fondo de los lechos tienen una pendiente que se encamina a la canaleta y ésta descarga a un registro que, con una tubería de PVC sanitaria de 100 mm (4") $\varnothing$ se conecta a los registros de los otros lechos y finalmente descarga a un pozo de absorción.

Los lechos básicamente son una caja de concreto armado de 8.75 m x 4.90 m , que incluye 4 lechos, cada uno de 4.90 x 2.15 x 1.30 m. En esta caso se tendrá una batería de 4 lechos que estarán cubiertos con una techumbre de columnas y vigas de acero y tejas transparentes que cubrirán el lodo en la temporada de lluvias, evitando que sea arrastrado al río además incrementará el calor sobre los lechos el resto del año, si bien en la temporada de mayor calor se podrá retirar una parte del tejado. Los lodos se retirarán del lecho traspaleándolos a una carretilla y de ésta se descargarán a una camioneta en la que se llevarán al sitio de su disposición final. Véase plano **LECHO DE SECADO DE LODOS**.

El pozo de absorción es similar en su geometría a los de visita, si bien los muros de la parte baja forman una celosía, en el fondo se tiene una capa de grava gruesa de 50 cm de espesor y por fuera de los muros laterales, en la parte recta la capa es de 15 cm de espesor. El caudal desechado será del orden de 244 l/día.

8.3 ARREGLO ARQUITECTÓNICO DEL CONJUNTO

El arreglo arquitectónico está encaminado a conseguir la armonía del conjunto de obras que integran la planta, tiene que ver con la localización de las estructuras y edificaciones y con el aspecto general del acceso, vialidades y patio de maniobras, entre otros.

Como parte de las instalaciones de la planta se tienen una caseta de vigilancia y control del proceso en la que se desarrollarán actividades administrativas y de control.

En los planos **ZONA DEL REACTOR ARREGLO DE CONJUNTO, ARREGLO GENERAL DEL R.A.F.A. EN EL TERRENO Y ARREGLO HUMEDAL LAGUNA DE MADURACIÓN** se presentan las obras que integran la planta de tratamiento.

En la caseta de vigilancia se llevará el control de las personas que ingresen a la planta y se registrarán las actividades que tienen que ver con la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento. La caseta cuenta con tres espacios, uno para administración y control, otro para almacenamiento y el otro es un medio baño.

En el plano **CASETA DE VIGILANCIA ARQUITECTONICO Y ACABADOS** y en otros complementarios se presentan las características de esta edificación.

Para la construcción de las obras que integran la planta de tratamiento se deberá construir el último tramo del camino de acceso, que tendrá una longitud de 205 m y estará formado con filtro, base hidráulica y revestimiento. En el predio de la PTAR la pendiente será del 10 % y fuera de éste será del 2%. En la **Figura No 9** Camino de Construcción y Acceso se presentan las características de éste.

CONCLUSIÓN

Una planta de tratamiento de aguas residuales proporciona beneficios a cualquier localidad aunque ésta cuente con población reducida ya que con ello se mejorarán las condiciones de salubridad de la población, se contribuirá a preservar el medio ambiente y se cumplirá con la normatividad vigente en la materia. Con la planta de tratamiento de aguas residuales se eliminará la principal causa de contaminación de la corriente receptora y se mejorarán las condiciones sanitarias, lo que sin duda contribuirá al mejoramiento del bienestar de la comunidad.

Los beneficios de las plantas de tratamiento impactan también en las áreas en las que se utilizan para riego ya que se mejora la salud de los trabajadores que dejarán de manejar aguas residuales crudas y se eleva la calidad de los productos al regarlos con agua tratada

Los humedales y las lagunas de estabilización son un sistema altamente eficiente para la depuración de las aguas residuales. El proceso no requiere de equipos mecánicos por lo que es el más económico en cuanto a operación, sin embargo requiere de extensiones considerables de terreno.

Los humedales son muy eficientes en remoción de nutrientes, nitrógeno y fósforo (en menor proporción), por lo que se utilizan cuando el agua tratada se va a descargar a lagos y embalses artificiales en los que es preciso reducir las aportaciones de nutrientes.

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento de aguas residuales que se recomienda construir en localidades en las que se disponga del área necesaria, y el suelo tenga las características para hacerlo, ya que al mismo tiempo que se depuran las aguas residuales, propician un caudal adecuado para utilizarse en actividades agrícolas, y además puesto que se trata de volúmenes de agua importantes influyen notablemente en el medio ambiente local.

Los procedimientos de diseño son diversos y aún están en proceso de desarrollo por lo que no hay un criterio único para su dimensionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York

BIBLIOTECA DE SERVICIOS URBANOS Y SANEAMIENTO (SeUS)

Diversos proyectos ejecutivos de plantas de tratamiento de aguas residuales

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN TEORÍA DISEÑO Y APLICACIÓN (Tesis)

Marcial García Jurado

LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO, SEGUNDA VERSIÓN (Octubre de 1994)

Comisión Nacional del Agua.

SÍNTESIS GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO I PARÁMETROS CON LOS QUE SE CARACTERIZAN LAS AGUAS RESIDUALES

1.1 SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los sólidos de las aguas negras pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física. Teniéndose así, sólidos orgánicos e inorgánicos que a su vez pueden estar suspendidos o disueltos.

Sólidos Orgánicos.- En general son de origen animal o vegetal, incluyen los desechos de la vida vegetal y animal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales, aunque también pueden incluirse compuestos orgánicos sintéticos. Son elementos que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, si bien algunos pueden estar combinados con nitrógeno, azufre y fósforo.

Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, juntos con sus productos de descomposición, están sujetos a la descomposición y degradación por la actividad de las bacterias y de otros organismos vivos, además son combustibles.

Sólidos Inorgánicos.- Son sustancias inertes que no están sujetas a degradación. Ciertos compuestos minerales hacen excepción y bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias más simples como sucede con los sulfatos que se reducen a sulfuros. A estos sólidos también se les conoce como sustancias minerales y entre ellos se encuentran: arena, grava, cieno y sales minerales del agua de abastecimiento que producen su dureza y contenido mineral. Generalmente estos sólidos no son combustibles.

De acuerdo a su condición física los sólidos pueden clasificarse como sólidos suspendidos, sólidos coloidales y sólidos disueltos, cada uno de estos grupos se tendría para los sólidos orgánicos e inorgánicos.

Sólidos Suspendidos.- Son aquellos que están en suspensión y que a simple vista son perceptibles en el agua; se pueden separar de las aguas residuales por medios físicos o mecánicos como sedimentación o filtración. Se definen como los sólidos que quedan retenidos por la capa filtrante, de asbesto, en un cisor Gooch. Incluye las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas, partículas de alimento y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70 % de sólidos orgánicos y un 30 % de sólidos inorgánicos, siendo la mayor parte de estos últimos arena y polvo.

Los sólidos suspendidos, a su vez, se dividen en dos partes: sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

Sólidos Sedimentables.- Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que sedimenten en un periodo de tiempo determinado, que generalmente es de una hora (en un cono de Imhoff). Están constituidos aproximadamente en un 75 % de sólidos orgánicos y en un 25 % de sólidos inorgánicos. Generalmente su resultado se expresa en mililitros de sólidos por litro de aguas residuales, aunque también se da en partes por millón en peso.

Sólidos Coloidales Suspendidos.- Se definen de manera indirecta como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables.

Una parte de éstos sedimentaría si el periodo de reposo de la prueba del cono de Imhoff fuera mayor de una hora pero la mayor parte permanecería en suspensión durante periodos mayores de varios días o aún más. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales (cerca del 40 %) que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos pero que no pasan por la capa filtrante de asbesto del crisol de Gooch. Son de composición orgánica en unas dos terceras partes y de inorgánica en el resto, están sujetos a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas residuales.

Sólidos Disueltos.- El termino de sólidos disueltos usado comúnmente, estrictamente no es correcto, ya que no todos los sólidos están realmente disueltos puesto que se incluyen algunos en estado coloidal. De acuerdo con la costumbre se incluyen los sólidos que pasan por la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales aproximadamente el 90 % realmente están disueltos y un 10 % se encuentran en estado coloidal. Los sólidos disueltos están compuestos por un 40% de sólidos orgánicos y un 60 % de inorgánicos. La parte coloidal contiene un mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta debido a que ésta incluye todas las sales minerales del agua de abastecimiento.

Sólidos Totales.- Incluye todos los constituyentes sólidos de las aguas residuales, consecuentemente son la totalidad de los sólidos orgánicos e inorgánicos o el total de los sólidos suspendidos y disueltos.

En las aguas residuales domésticas, de composición media, cerca de la mitad son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. La mitad orgánica de los sólidos sujeta a degradación es la que constituye el problema principal en el tratamiento de las aguas negras.

Las cantidades de sólidos antes señalados se basan en aguas residuales de tipo doméstico de composición media, si bien se debe considerar que las aportaciones de aguas residuales varían de un sitio a otro, de acuerdo a la hora y al día de la semana y en función de las diferentes aportaciones industriales, infiltraciones y demás variables en los usos que le pueden dar al agua suministrada.

1.2 PARÁMETROS CON LOS QUE SE CARACTERIZAN LAS AGUAS RESIDUALES

PARAMETROS ORGÁNICOS

Los parámetros o indicadores orgánicos de mayor utilización e importancia en la caracterización de las aguas residuales se definen en términos de la demanda de oxígeno que exhibe la muestra o en términos de la concentración de carbón orgánico.

Las Pruebas de laboratorio utilizadas para caracterizar el contenido de materia orgánica de una muestra de aguas residuales tienen como objetivo último indicar cuál es el consumo potencial, o la demanda de oxígeno que dichas aguas ejercerán sobre el cuerpo de agua receptor.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Esta prueba o ensayo de laboratorio es el que mayor significado tiene dentro del grupo de parámetros mediante los que rutinariamente se caracterizan las aguas residuales. A la Demanda Bioquímica de oxígeno se la define como la cantidad de oxígeno necesaria para que una población microbiana heterogénea estabilice la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de aguas residuales.

La estabilización de la materia orgánica resulta de los procesos en que los microorganismos utilizan la propia materia, que es requerida para derivar de ella la energía necesaria para sus procesos vivientes y para sintetizar más masa celular. En tal actividad el oxígeno es necesario para lograr que el carbono y el nitrógeno alcancen sus estados de mayor oxidación. La DBO representa, por lo tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente.

La DBO está sujeta a muchas variables y restricciones, especialmente cuando se trata de caracterizar aguas residuales industriales. A continuación se presentan algunas consideraciones generales sobre estas variables y restricciones.

Tiempo de Incubación

El tiempo necesario para la estabilización completa de la materia orgánica presente en las aguas residuales depende por lo general de la naturaleza del desecho, aunque es común considerar que al cabo de 20 días se logra una buena oxidación. A este ensayo de laboratorio se le denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno Última DBO_u o DBO_{20} . Sin embargo, la prueba o ensayo normal se realiza midiendo la cantidad de oxígeno consumido al cabo de cinco días y se reporta como DBO_5 .

El tiempo de incubación de la DBO es muy importante en el proceso de satisfacción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

El mecanismo de oxidación más aceptado indica que la reacción bioquímica procede en dos etapas. En la primera, que puede tener una duración que varía entre 12 y 60 horas los microorganismos presentan una alta tasa de crecimiento debido a la asimilación de materia orgánica. La segunda etapa procede más lentamente y en ella los microorganismos utilizan y oxidan la materia orgánica asimilada y se autooxidan.

Nitrificación

Los conceptos anteriormente descritos se refieren al consumo de oxígeno en la oxidación de la fracción carbonácea de la muestra de aguas residuales. Generalmente se considera que el ensayo de la DBO solo mide esta fracción. Sin embargo, en el proceso bioquímico que ocurre también puede tener lugar la oxidación del material nitrogenado, lo que contribuye a ejercer una Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Las anteriores reacciones de oxidación están caracterizadas por una baja tasa, es decir, la reacción procede muy lentamente. Cuando se le compara con la velocidad a la que se oxida el material carbonáceo se podrá constatar que la tasa de reacción de oxidación del material nitrogenado es mucho menor. Aunque ambas reacciones pueden ocurrir simultáneamente, la nitrificación sólo se inicia cuando se ha satisfecho parcialmente la demanda de oxígeno de la fracción carbonácea.

Si se quiere determinar únicamente la Demanda Bioquímica de Oxígeno ejercida por la fracción carbonácea de las muestras de aguas residuales se puede adicionar a la muestra algún reactivo que cumpla la función de inhibir el proceso de nitrificación, de tal manera que sólo se satisfaga la DBO ejercida por la fracción carbonácea. O bien se permite que tenga lugar la nitrificación y se resta a la demanda total ejercida.

Sin embargo, es preciso señalar que salvo circunstancias especiales debe admitirse la demanda de oxígeno ejercida por el material nitrogenado, puesto que la nitrificación por lo general siempre se presenta, particularmente cuando las aguas residuales ya han recibido algún tratamiento biológico. Por lo tanto, es buena práctica incluirla en el cálculo total de oxígeno que se demanda, pues así va a ocurrir en la corriente de agua receptora de la descarga de aguas residuales.

Otros Factores

Algunos factores ambientales, especialmente la temperatura y el pH pueden afectar los resultados de la DBO. Por ello se especifica que el ensayo debe realizarse a una temperatura de 20 °C. Sin embargo, en muchas ocasiones no es posible satisfacer esta exigencia, pues las condiciones reales del laboratorio o de campo no lo permiten, y por consiguiente se usan otras temperaturas de incubación. En tal caso, es necesario corregir el valor de la DBO obtenido en el laboratorio, mediante el uso de un factor de corrección.

El factor de error más común en la determinación de la prueba de DBO se debe al uso de "semilla biológica" no aclimatada o adaptada a las aguas residuales cuya DBO se quiere determinar. Por consiguiente, se aconseja como una práctica sana, aclimatar el cultivo que se va a usar como "semilla" a cada agua residual cuya DBO se va a determinar.

El tiempo necesario para obtener la aclimatación depende del carácter del desecho y de la naturaleza de la semilla. Para aguas residuales domésticas o mezclas de éstas con aguas residuales industriales se puede obtener la aclimatación o adaptación en menos de una semana.

Algunos materiales o compuestos tóxicos presentes en la muestra de aguas residuales pueden interferir significativamente con los resultados de la DBO al tener un efecto biotóxico o bacteriostático sobre los microorganismos que componen la semilla biológica. Este efecto generalmente se pone en evidencia por variaciones en los valores de la DBO, la cual aumenta al aumentar la dilución de la muestra. Lo anterior es un índice de presencia de materias tóxicas y, por lo tanto, será necesario predeterminar el valor de dilución por encima del que los resultados de la DBO son consistentes. Si la toxicidad es debida a la presencia de metales tóxicos, su efecto puede eliminarse por quelación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un ensayo de laboratorio que mide el equivalente de oxígeno de la fracción de materia orgánica, presente en la muestra, que es susceptible de oxidación en un medio ácido. Se ha utilizado como parámetro para caracterizar el contenido de materia orgánica de las aguas residuales desde hace más de cincuenta años, aunque a pesar de ello, aún persisten problemas de interpretación de los valores de la DQO debido a la multitud de variables que pueden afectar el valor de la DQO de una muestra de aguas residuales.

Generalmente se debe esperar que el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Última DBO_u , se aproxime al valor de la DQO. Sin embargo, algunos factores determinan que lo anterior no suceda así, especialmente en el caso de las aguas residuales industriales. Entre estos factores se pueden mencionar:

- a) Muchos compuestos orgánicos que son oxidables químicamente, no son oxidables bioquímicamente.
- b) Algunos compuestos inorgánicos tales como los sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, vitritos y hierro ferroso son susceptibles a la oxidación, elevando así el valor de la DQO, lo que conduce a errores cuando sólo se desea determinar la DQO debida al contenido de materia orgánica de la muestra de aguas residuales.
- c) Los resultados de la DBO, pueden estar afectados por el uso de semilla biológica sin aclimatar adecuadamente, lo que conduce a valores bajos de la DBO. La prueba de la DQO es independiente de tal variable.
- d) Los cloruros interfieren con el ensayo de la DQO, y se debe prever esta interferencia, ya que se pueden presentar valores altos de la DQO debidos a la oxidación de los cloruros. Si bien existen métodos para eliminar esta interferencia.

Correlación entre DBO Y DQO

La correlación entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, se puede obtener fácilmente para la mayoría de las aguas residuales. De la correlación que con frecuencia se encuentra, se puede inferir que una fracción de materia orgánica presente en una muestra de aguas residuales que puede ser oxidada por el dicromato y por lo tanto medida por la DQO, no es oxidada bioquímicamente ya sea por no ser biodegradable, o bien por ser resistente a la oxidación bioquímica y por lo tanto no es medible por la DBO. La correlación entre la DBO y la DQO fluctúa entre 1.6 y 1.8, sin embargo muy frecuentemente se toma como 2.

Las correlaciones entre la DBO, la DQO y el COT tienen poca relevancia en las aguas residuales y prácticamente no se utilizan.

La correlación entre la DBO y el COT para el caso de las aguas residuales domésticas sin tratamiento fluctúa entre 1.35 y 2.62. En la práctica se encuentra que la correlación entre la DQO y el COT varía entre cero (0) y 5.33 debido a la resistencia a la oxidación por dicromato que presentan algunos compuestos orgánicos.

Cabe señalar que en nuestro medio los ensayos de COT y DTO prácticamente no se utilizan, en cambio la DBO es el parámetro básico para diseño, y la determinación de la DQO es importante pues refleja el total de la materia susceptible de oxidación.

Carbono Orgánico Total (COT)

Este ensayo involucra la oxidación de la materia orgánica mediante un proceso de combustión, hasta que se obtiene dióxido de carbono y agua. El CO_2 liberado es atrapado en una solución cáustica normalizada y por titulación se mide la cantidad atrapada y de allí se obtiene el valor del COT.

Este ensayo se ha utilizado desde hace bastante tiempo, sin embargo, los métodos de laboratorio que se utilizaban requerían de un tiempo considerable en el proceso de combustión, por lo que su uso no fue muy frecuente. Hace algunos años se desarrolló un instrumento de laboratorio con el que se puede determinar el COT en un tiempo rápido y de una manera bastante simplificada.

La determinación del COT está libre de muchas de las variables, restricciones e interferencias que afectan las pruebas de DBO y de DQO, con lo que los resultados son más reproducibles y por lo tanto más confiables. La concentración de carbono orgánico total de las aguas residuales es una medida del grado de contaminación, que puede correlacionarse con la DQO y ocasionalmente con la DBO. Puesto que el tiempo que toma una determinación de COT, empleando el analizador de carbono, es de sólo unos minutos es evidente el interés de emplear este parámetro, especialmente ya que se pueden establecer correlaciones de COT-DBO o COT-DQO.

Demanda Total de Oxígeno (DTO)

La determinación de la Demanda Total de Oxígeno se obtiene por la medición de la concentración de oxígeno presente en una corriente de nitrógeno, N_2 que es el gas transportador.

El nitrógeno fluye a través de una cámara de combustión, catalizada con platino en donde los componentes oxidables de la muestra son convertidos a óxidos estables. El oxígeno que se encuentra en el gas transportador genera una superficie catalizadora, que temporalmente altera el equilibrio de oxígeno del catalizador. Esta disminución se mide en una celda electrolítica detectora y se relaciona directamente con la demanda de oxígeno de la muestra.

La Demanda Total de Oxígeno (DTO) de una sustancia tal como se determina en este analizador, incluye sustancias orgánicas e inorgánicas, con diversas eficiencias de reacción.

El valor de la demanda de oxígeno de los compuestos orgánicos tal como se determina con el analizador de DTO, se aproxima mucho más a la demanda teórica de oxígeno, que el valor obtenido a partir de los métodos químicos.

Tanto la Demanda Química de Oxígeno (DQO), como la Demanda Total de Oxígeno (DTO), miden la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos oxidables presentes en una muestra de aguas residuales.

PARÁMETROS INORGÁNICOS

Al caracterizar una muestra de aguas residuales es preciso incorporar entre las series de ensayos de laboratorio las determinaciones de algunos compuestos inorgánicos. En la descripción de los ensayos orgánicos se indica la necesidad de conocer el contenido de algunos compuestos inorgánicos presentes en la muestra, pues su presencia puede distorsionar los resultados. En seguida se presenta una breve discusión de los parámetros inorgánicos más importantes.

Acidez

Un parámetro importante que se debe considerar en el análisis de las aguas residuales es el que mide la acidez de la muestra o sea su capacidad de ceder protones. Es deseable que el agua residual que se va a tratar tenga un pH cercano a 7 para que el tratamiento biológico sea efectivo.

La acidez atribuible a las fracciones no ionizadas de ácidos débilmente ionizables a la hidrólisis de sales y a la acidez mineral libre. Esta última es quizás la más importante y a veces dificulta el cálculo de los requerimientos de compuestos para la neutralización, especialmente si en las aguas residuales presentes hay varias formas de acidez mineral libre. En algunos casos los sistemas microbianos pueden reducir la acidez al oxidar bioquímicamente los ácidos grasos.

Alcalinidad

En el mismo sentido general que la acidez, la alcalinidad es una prueba necesaria al caracterizar las aguas residuales. La alcalinidad es una medida de la habilidad del agua para aceptar electrones y por lo tanto es producida por bases débilmente ionizables y por bases fuertes. Es necesario evaluar su valor pues aunque el proceso de oxidación biológico contribuye a su amortiguamiento al producir dióxido de carbono como producto final, en algunos casos se requiere neutralización para que el proceso biológico opere bien. Se ha estimado que por cada kg de DBO removida se neutralizan 0.50 kg de alcalinidad.

Sólidos Disueltos

Los sólidos disueltos pueden causar un efecto perjudicial a los sistemas de tratamiento biológico de las aguas residuales. Se estima que la concentración máxima permisible de sólidos disueltos es de 16,000 mg/l. Los cloruros en concentraciones que oscilan entre 8,000 y 15,000 mg/l (como cloro) también afectan al sistema de tratamiento biológico, pues no solo ayudan a reducir las tasas de remoción de la DBO sino que también disminuyen la tasa de sedimentación de los lodos.

Sulfuros

Los sulfuros se encuentran presentes en muchas aguas residuales, bien sea en forma de mezcla de $\text{HS-H}_2\text{S}$ (según el pH) o bien como compuestos orgánicos sulfurados o como sulfuros metálicos. El efecto perjudicial de los sulfuros a los sistemas microbianos se comienza a percibir cuando las concentraciones son mayores a 100 mg/l como S.

En el caso de las lagunas de estabilización es preciso tener en cuenta que concentraciones aún tan bajas como de 7-10 mg/l afectan las poblaciones de algas.

Metales Orgánicos

La influencia que los metales pesados pueden ejercer sobre el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales ha sido bastante estudiado, es así como se han determinado los umbrales de toxicidad para el Ca, Zn, Cd y para otros elementos más y su valor es cercano a 1.0 mg/l. Sin embargo en la literatura especializada se reporta que no se han presentado efectos nocivos para sistemas biológicos aun en concentraciones menores. La precipitación química o el intercambio iónico son un tratamiento efectivo para la reducción de metales pesados.

Organismos Patógenos

Para evaluar la calidad bacteriológica de las aguas residuales se determina el NMP/100 ml de coliformes fecales y coliformes totales, que son los organismos indicadores que se aceptan y se determinan en la muestra de aguas residuales.

Organismos Indicadores

En bacteriología del agua existen tres indicadores comúnmente usados: el grupo coliforme, el *streptococcus faecalis* y el *clostridium perfringens*. De los grupos indicados el coliforme es el que ofrece mayores ventajas.

El uso de las pruebas de detección de organismos coliformes como indicadores de la calidad bacteriológico del agua, se basa en información recopilada desde hace un siglo, principalmente en estudios sobre contaminación del agua. La prueba de coliformes fecales es una herramienta valiosa, más que la de coliformes totales, puesto que ésta excluye la presencia de organismos no fecales que pueden estar sujetos a reproducción posterior. Hasta el momento no se conoce un mejor indicador de contaminación fecal que el coliforme, por lo cual continúa su uso.

ANEXO II TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas residuales contienen una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos que alteran significativamente la calidad de las aguas superficiales, ya sea por su simple presencia en el agua o por los cambios que esos compuestos sufren mientras están en dilución o en suspensión en el agua. Al mezclar las aguas residuales con las aguas superficiales, se produce un cambio considerable en las características y cualidades físico-químicas y biológicas del agua, lo que resulta en el deterioro de su calidad, y en la disminución de su potencial uso como fuente de abastecimiento para la población, la agricultura y la Industria.

Sí se quiere evitar el deterioro de la corriente receptora, es preciso modificar las características físico-químicas y biológicas del agua residual antes de verterla a las aguas superficiales. Para ello se utiliza un sistema de tratamiento que reduce efectivamente las concentraciones de los elementos presentes en el agua residual y disminuye, hasta niveles aceptables, aquellas características físico-químicas y biológicas que la hacen indeseable para descargarse a las corrientes o reutilizarse.

El objetivo primario de las plantas de tratamiento consiste en reintegrar a las aguas residuales parte de su estado y de las condiciones que originalmente tuvieron. En el tratamiento se pretenden remover los elementos que se adicionan al agua en los distintos usos que se les da y se previene de la adecuada disposición de los productos en que se convierten tales elementos. En general al agua se le acondiciona para que sea tolerable por el cuerpo receptor a que se descarga, o bien, se adecua hasta conseguir las características necesarias para que se reuse sin riesgo alguno.

El tratamiento de las aguas negras es el proceso por el que los sólidos que contiene el agua se separan parcialmente, propiciando que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado, que una vez completado requiere que se dispongan adecuadamente el agua tratada, y de los sólidos separados que se convierten en lodos.

El uso de las aguas residuales está restringido a determinadas actividades que se contemplan en la normatividad que en esta materia rige en los distintos países, y que para México se señala en las NOM-001-ECOL y en la 003.

PROCESOS DE TRATAMIENTO

Los procedimientos para tratar las aguas residuales son muy diversos, si bien todos pueden incluirse en los siguientes procesos:

- **TRATAMIENTO PRELIMINAR**
- **TRATAMIENTO PRIMARIO**
- **TRATAMIENTO BIOLÓGICO O SECUNDARIO**

2.1 TRATAMIENTOS PRELIMINARES

Los tratamientos preliminares se usan para preparar las aguas residuales, para que enseguida puedan recibir algún tipo de tratamiento sin perjudicar los equipos mecánicos ni las estructuras en que se verifican los procesos. Sirven también para minimizar algunos efectos negativos en el tratamiento tales como grandes variaciones de caudal y de composición, y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas, sólidos y otros.

Las unidades de tratamiento preliminar o pretratamiento más empleadas e importantes son las siguientes:

- **Rejas**
- **Desarenadores**
- **Desengrasadores**
- **Desmenuzadores**
- **Tanques de Compensación**

Prácticamente todas las plantas de tratamiento incluyen rejillas (cribas) y desarenadores, las demás unidades son utilizadas con más frecuencia en los residuos líquidos industriales o para hacer más manejables desechos generados en el procesamiento de alimentos.

2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

El objetivo básico del tratamiento primario estriba en conseguir un efluente líquido adecuado para un subsecuente tratamiento biológico. La sedimentación primaria es la principal forma del tratamiento primario, es la más antigua y es extensivamente empleada en el acondicionamiento de las aguas negras. El tratamiento primario casi siempre es precedido del preliminar.

Con este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos (ente el 40 y 60 por ciento) mediante el proceso físico de asentamiento. Ello genera lodos primarios que deberán acondicionarse adecuadamente antes de su disposición final.

Entre las unidades de tratamiento primario más difundidas y usadas en diversos ámbitos se tienen:

- **Sedimentador Primario**
- **Tanque Séptico (Fosa)**
- **Reactores de Flujo Anaerobio Ascendente (WABS)**
- **Tanques Imhoff**
- **Laguna Anaerobia**

Además se han desarrollado otros sistemas patentados y hay algunos menos conocidos que básicamente siguen principios de sedimentación y degradación de la materia orgánica mediante organismos anaerobios.

El tratamiento primario por si mismo no produce un efluente que pueda ser descargado a los cuerpos receptores, por lo que casi siempre son el paso anterior al tratamiento biológico. Eventualmente seguidos de desinfección se han empleado como tratamiento único, aunque esta práctica casi ha desaparecido.

Los lodos obtenidos de un tanque de sedimentación primaria, son esencialmente los sólidos sedimentables del agua negra cruda y prácticamente no han sufrido descomposición y son por lo tanto, sumamente inestables y putrescibles. Estos lodos son usualmente de color gris, de apariencia desagradable y contienen fragmentos de desechos, sólidos fecales y otros desechos que les dan un olor nauseabundo.

2.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los procesos biológicos también llamados secundarios tienen como objetivo principal remover las sustancias coloidales y estabilizar la materia orgánica presente en las aguas residuales. Los procesos biológicos más comúnmente usados son:

- **MEDIOS EN SUSPENSIÓN (Lodos Activados)**
- **MEDIOS FIJOS Y DUALES (Filtros Percoladores)**
- **LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Además existen modificaciones de éstos y combinaciones de los mismos, algunos patentados, que pueden ser utilizadas para lograr los requerimientos específicos de tratamiento.

Lodos Activados

En el proceso de lodos activados, organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan en un medio favorable para la descomposición aerobia de los sólidos, este medio son las mismas aguas negras, en las que continuamente se debe mantener oxígeno disuelto. Los lodos activados se deben mantener en suspensión agitando las aguas negras.

Las aguas residuales incluyen organismos aerobios de este tipo, pero en un número muy reducido, por lo que es necesario agregar muchos más para que el proceso funcione con eficiencia. En general este proceso se usa después de la sedimentación primaria, aunque en algunas plantas no se emplea ésta.

Los lodos activados son flóculos que contienen principalmente materia orgánica con una gran cantidad de bacterias que tienen la propiedad de absorber la materia coloidal y disuelta, se alimentan de ella y la convierten en sólidos insolubles putrescibles. Los lodos activados producidos a partir de las aguas negras se generan lentamente, de tal forma que es necesario recolectarlos y usarlos nuevamente, recirculándolos en un proceso acumulativo del que eventualmente se tendrá una mayor cantidad que la requerida, por lo que deberá desecharse el exceso de lodos activados.

Los lodos de desecho que se generan en este proceso son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados que deben ser tratados para facilitar su disposición y evitar contaminación en los cuerpos receptores dado que dichos lodos no son productos terminados debido a su origen, contenido de agua, putrescibilidad, etc.

Entre las variantes del proceso de lodos activados se tienen: Proceso Convencional, Mezclado Completo, Aereación Dosificada, Aereación por Etapas, Aereación Modificada, Estabilización por Contacto, Aereación Extendida, Zanjales de Oxidación, Proceso Kraus, Aereación de Alta Tasa y Sistema de Oxígeno Puro.

Filtros Percoladores

En los procesos de este tipo, organismos aerobios que forman un limo biológico (también llamado zooglea) se adhieren a un medio filtrante natural o artificial y al paso del agua a través de este medio, los organismos toman la materia orgánica de las aguas residuales para mantener sus procesos vivos. El agua residual entra superficialmente a los filtros por medio de un aspersor o caída de agua y atraviesa todo el lecho filtrante.

El proceso de filtración biológica se define como un sistema de lechos de distintos materiales sobre los que se vierten las aguas residuales, al pasar por el filtro de material granular (percolar) las aguas residuales entran en contacto con las películas de limo biológico que crecen sobre la superficie del material. En el lecho se mantienen condiciones aeróbicas mediante el flujo de aire, a través del lecho, que es inducido por los gradientes de temperatura existentes entre la temperatura del aire en el lecho y la temperatura ambiente.

A medida que las aguas residuales y el aire fluyen a través del lecho el limo biológico hace uso de ellos para obtener de los compuestos orgánicos la energía necesaria para sus procesos vivos, material y energía para sintetizar nueva masa celular, el oxígeno necesario para las reacciones de oxidación bioquímica y los nutrientes indispensables para la síntesis celular. Como resultado se logra la remoción de la materia orgánica mediante su conversión a masa celular, CO_2 y H_2O .

El crecimiento biológico sobre la superficie del medio que forma el lecho tiene un límite, al cabo del cual se desprende y es arrastrado con el efluente del filtro percolador. Por ello se requiere como complemento del proceso un sedimentador secundario, en el que se remuevan las películas biológicas que se desprenden del lecho. Generalmente en estos procesos se tiene inicialmente una sedimentación primaria.

Entre las variantes más difundidas se conocen los filtros rociadores (de baja, media y alta tasa) y los discos biológicos.

En este caso como en el anterior se generan lodos tanto primarios como de desecho (exceso de limo biológico) que deberán ser acondicionados para su disposición final.

Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son estanques construidos con tierra, de profundidad reducida (menor a 5 m), diseñadas para el tratamiento de aguas residuales mediante la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales.

Entre las lagunas de estabilización se incluyen: Lagunas Anaerobias, Lagunas Facultativas y Lagunas de Maduración. El uso en serie de éstas o de algunas de ellas producen un efluente adecuado para ser dispuesto directamente en los cuerpos receptores.

Los procesos de lodos activados y filtros percoladores producen efluentes con una alta carga de organismos patógenos por lo que antes de ser dispuestos requieren de un proceso adicional de desinfección, que en la mayoría de los casos consiste en la aplicación de cloro. En las lagunas de estabilización la reducción de patógenos es muy alta a tal grado que puede ser superior a la lograda con la desinfección.

Las lagunas anaeróbicas son estanques con profundidad de entre 2.50 m y 5.00 m y reciben cargas orgánicas elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas se suprime y se tiene ausencia de oxígeno en todos sus niveles. Las lagunas anaeróbicas son utilizadas preferentemente para el tratamiento primario de desechos industriales o desechos domésticos con una elevada aportación industrial.

Las lagunas facultativas tienen como principal característica el comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaeróbica de los sólidos sedimentados en el fondo. Por consiguiente, su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser como laguna primaria única o como una unidad secundaria después de lagunas anaeróbicas o aereadas mecánicamente.

Las lagunas de maduración o de pulimento son unidades netamente aeróbicas con la función básica de reducir el contenido bacteriano ya que la mayor proporción de sólidos, DBO y parásitos se remueve en las lagunas primarias de tipo anaeróbico o facultativo.

Existen además otros tipos de lagunas con funciones específicas. Puesto que este trabajo trata de las lagunas de estabilización, en los capítulos siguientes se detallan diversos aspectos de éstas.

ANEXO III ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PLANTA DE TRATAMIENTO

Las plantas de tratamiento que se proponen y consecuentemente analizarán son reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) complementados, en una segunda etapa, con humedales y/o lagunas de estabilización, o bien filtros biológicos y estarían integradas según los siguientes esquemas:

- **RAFA, humedal y laguna de maduración en serie.**
- **RAFA, laguna facultativa y laguna de maduración en serie**
- **RAFA, filtro biológico, clarificador y tanque de contacto de cloro.**

En todos los casos se procurará evitar una planta de bombeo de aguas residuales, inicialmente se tendría un pretratamiento consistente en rejilla y desarenador y, además se requerirá de acondicionar el lodo resultante antes de su disposición final.

3.1 RAFA, HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN EN SERIE

Un sistema de tratamiento formado con las unidades en serie propuestas en esta alternativa, Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), humedal y laguna de maduración es muy eficiente en la eliminación de contaminantes y fácilmente se alcanzan los parámetros señalados en la NOM 003, no requiere insumos de ningún tipo y la remoción de coliformes se culmina en la laguna de maduración.

Su operación es simple puesto que básicamente consiste en desalojar el exceso de lodos del reactor y en periódicamente cosechar o podar la vegetación emergente del humedal. El área que requiere este sistema es intermedia ya que es superior a la de una planta compacta, como las de filtros biológicos, pero es menor a la requerida por las lagunas de estabilización.

Los humedales son muy eficientes en la remoción de nitrógeno (por lo que se utilizan preferentemente cuando el agua tratada se descarga a cuerpos receptores con alta carga orgánica), constituyen un hábitat para diversas especies menores y estéticamente suelen ser muy apreciados.

En sistemas de tratamiento integrados con diferentes procesos como éste, la remoción mayor de DBO_5 se alcanza en el RAFA y llega a ser hasta del 60%, por lo que los reactores comúnmente se utilizan como único proceso de tratamiento, eventualmente complementado con desinfección final.

En la **Figura No 6** se presenta el Diagrama de Proceso de la planta de tratamiento propuesta en esta alternativa.

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) es un tanque de concreto armado, cerrado, con una tolva central, su principio fundamental consiste en poner las aguas residuales en contacto con un lecho de lodos y en propiciar en la salida la separación de los sólidos (en la tolva central), con lo que se obtiene un efluente de mejor calidad, las remociones de DBO son del orden del 60 % y en algunos casos hasta de más del 70%, sin embargo son poco eficientes en reducción bacteriana.

En el reactor, el agua que se tratará entra por el fondo y se reparte en toda la superficie inferior (zona de fermentación), atraviesa con un flujo ascendente un lecho de partículas bacterianas que se mantienen en expansión por el gas producido y finalmente en la tolva central (de la parte superior) se presenta la zona de separación gas-sólido-líquido.

Los humedales son unidades intermedias a las que antecede un RAFA o un sedimentador y les sigue una laguna de maduración, pueden tener otros arreglos pero en la mayoría de los casos se combinan con lagunas de maduración.

Los humedales artificiales generalmente son estructuras formadas con bordos de poca profundidad (menor a 60 cm), con un lecho empacado inundado, en el que se sustentan plantas emergentes, como el carrizo, el tule o la chuspata. Las plantas y el medio que las sustentan constituyen la parte fundamental de este proceso ya que absorben la materia orgánica, propician la filtración, sustentan los microorganismos, transfieren oxígeno y limitan la penetración de la luz solar, lo que inhibe la formación de algas.

Los humedales suelen ser muy apreciados por su belleza y proporcionan un medio adecuado para el establecimiento de algunas aves, insectos, tortugas, ranas y mamíferos pequeños, lo que los hace aún más valiosos.

Las lagunas de maduración son unidades aeróbicas con la función básica de reducir el contenido bacteriano.

3.2 RAFA, LAGUNA FACULTATIVA Y LAGUNA DE MADURACIÓN EN SERIE

Una planta de tratamiento integrada con las unidades de proceso señaladas en esta alternativa, RAFA, laguna facultativa y laguna de maduración en serie, es muy eficiente y se alcanzan sin problema los parámetros señalados en la norma, como en el caso anterior, no necesita de insumos de ningún tipo, su operación es sencilla ya que solamente se requiere extraer el exceso de lodos del RAFA y eventualmente en periodos de más de 5 años retirar los lodos del fondo de las lagunas.

Como en el caso anterior la mayor remoción de los contaminantes se logra en el RAFA y la eliminación bacteriana se alcanza en la laguna de maduración.

Este sistema es el que requiere de mayor extensión de terreno ya que el tiempo de retención del conjunto llega a ser hasta de 28 días, si bien en este caso por la magnitud del caudal el área necesaria no será grande.

Las lagunas de estabilización son cuerpos de agua artificiales que favorecen el desarrollo de ciertas especies principalmente aves y peces, además mejoran el microclima de su entorno inmediato y constituyen un paraje agradable, si bien se debe evitar consumir los productos que en ellas se desarrollan.

En la **Figura No 7** se presenta un Diagrama de Proceso del sistema de tratamiento propuesto en esta alternativa.

Las lagunas de estabilización son estanques en los que se descargan y retienen las aguas residuales, se construyen aprovechando las características del terreno y tienen profundidades máximas de 4 ó 5 m, el tratamiento del agua residual se realiza mediante la interacción de la

biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales.

Entre las lagunas de estabilización se incluyen: lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El uso en serie de éstas o de algunas de ellas produce un efluente adecuado para ser dispuesto directamente en los cuerpos receptores.

Las lagunas anaeróbicas son estanques con profundidad de entre 2.5 m y 5 m y reciben cargas orgánicas elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas se suprime y se tiene ausencia de oxígeno en todos sus niveles. En este caso la laguna anaeróbica se sustituyó por el RAFA.

Las lagunas facultativas tienen como principal característica el comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaeróbica de los sólidos sedimentados en el fondo. Por consiguiente, su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser como laguna primaria única o como una unidad secundaria después de lagunas anaeróbicas, aereadas mecánicamente o RAFA.

Las lagunas de maduración o de pulimento son unidades netamente aeróbicas con la función básica de reducir el contenido bacteriano ya que la mayor proporción de sólidos, DBO y parásitos se remueve en las lagunas primarias de tipo anaeróbico o facultativo.

Existen además otros tipos de lagunas con funciones específicas, como retención y almacenamiento prolongado de las aguas.

3.3 RAFA, FILTRO BIOLÓGICO, CLARIFICADOR Y TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

Un sistema de tratamiento compuesto con las unidades propuestas en esta alternativa, Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), filtro biológico, clarificador y desinfección a base de cloración es muy eficiente en la eliminación de contaminantes y se pueden alcanzar sin mayores problemas los parámetros señalados en la NOM 003, en cuanto a insumos solamente requiere del cloro, en alguna de sus presentaciones.

Su operación aún es simple, aunque es un poco más detallada que la de las alternativas anteriores, puesto que se precisa atender el clarificador y el sistema de cloración. En este sistema además de desalojar el exceso de lodos del reactor también se deben extraer los del clarificador (en periodos mucho más cortos que los del RAFA), que requieren de una etapa de espesamiento.

El área que precisa este sistema es la menor ya que sus unidades son compactas, sin embargo se necesita de cierto desnivel en el terreno para evitar el bombeo del lodo.

En la **Figura No 8** se presenta el Diagrama de Proceso de la planta de tratamiento propuesta en esta alternativa.

En los filtros biológicos organismos aerobios que forman un limo biológico (también llamado zooglea) se adhieren a un medio filtrante natural o artificial y al paso del agua a través de este medio, los organismos toman la materia orgánica de las aguas residuales para mantener sus procesos vivientes. El agua residual entra superficialmente a los filtros por medio de una caída de agua y atraviesa todo el lecho filtrante.

En el lecho se mantienen condiciones aeróbicas mediante el flujo de aire, a través del lecho, que es inducido por los gradientes de temperatura existentes entre la temperatura del aire en el lecho y la temperatura ambiente.

El crecimiento biológico sobre la superficie del medio que forma el lecho tiene un límite, al cabo del cual se desprende y es arrastrado con el efluente del filtro percolador. Por ello se requiere como complemento de un sedimentador secundario, en el que se remuevan las películas biológicas que se desprenden del lecho. Generalmente estos procesos son antecidos de una sedimentación primaria, aunque en este caso se tiene el RAFA.

ANEXO IV MEMORIA DE CÁLCULO

4.1 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

DATOS DE POBLACION SANTA INÉS, MICHOACAN

DATOS DE LOS CENSOS P (hab)

Año	SANTA INÉS	i local	i loc. prom	Pobl. Mpio.	i municipal	i mun. prom	Pobl. Edo.	i estatal	i est.prom
1900	255								
1910	278	0.009							
1921	423	0.039							
1930	376	-0.013					1,048,381		
1940	242	-0.043					1,182,003	0.012	
1950	270	0.011					1,422,717	0.019	
1960	489	0.061					1,851,876	0.027	
1970	426	-0.014					2,324,226	0.023	
1980	448	0.005					2,868,824	0.021	
1990	935	0.076		8,008			3,548,199	0.021	
1995	588	-0.089		8,173	0.004		3,870,604	0.018	
2000	570	-0.006		9,085	0.021		3,985,667	0.006	
2005	495	-0.028	0.001	7,703	-0.032	-0.002	3,966,073	-0.001	0.016

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN: SANTA INÉS, MICHOACAN
METODO GEOMETRICO (ADOPTADO)

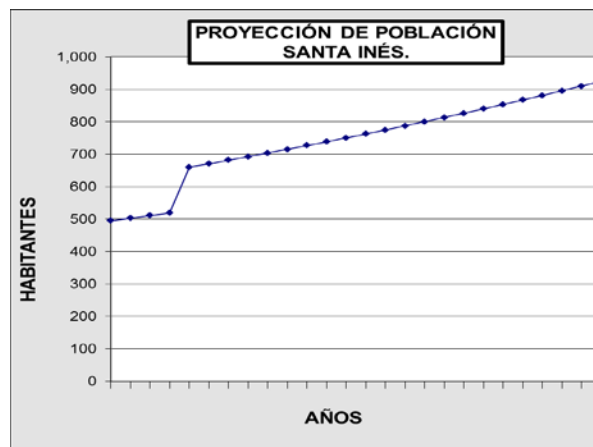
$$Pf = Pa (1+i)^n \quad i = (pf/pa)^{1/n} - 1$$

DATOS DE LOS CENSOS

Año	Santa Inés	TOTAL	i	i loc. prom	i
1900	255	255			
1910	278	278	0.009		
1921	423	423	0.039		
1930	376	376	-0.013		
1940	242	242	-0.043		
1950	270	270	0.011		
1960	489	489	0.061		
1970	426	426	-0.014		
1980	448	448	0.005		
1990	935	935	0.076		
1995	588	588	-0.089		
2000	570	570	-0.006		
2005	495	495	-0.028	0.001	0.016 estado -0.002 municipio

AÑO PROY POBL
hab.

2005	495	
2006	503	
2007	511	
2008	519	
2009	660	*
2010	671	
2011	682	
2012	693	
2013	704	
2014	715	
2015	727	
2016	739	
2017	750	
2018	763	
2019	775	
2020	787	
2021	800	
2022	813	
2023	826	
2024	840	
2025	853	
2026	867	
2027	881	
2028	895	
2029	910	
2030	925	



AÑO	viv/mpio.	Pob. Mpio.	Ind.hacin.
2005	1,651	7,703	4.67

NUM. ACOMETIDAS ELECTR. AGOSTO 2009	120
POB/2009	560 hab
POBLACIÓN EL ROMERAL	100 hab
TOTAL DE POBLACION 2009 *	660 hab

PROYECCIÓN DE GASTOS PTAR

SANTA INÉS, MICHOACAN

Dotación l/h/d 150

% de aportación 80 dotación

CVD 1.4

Aportación 120 l/h/d

CVH 1.55

Cs (segurid: 1.5

AÑO	PROY POBL hab.	AGUA POTABLE CAUDAL lts/seg			ALCANTARILLADO CAUDAL lts/seg			
		MEDIO	MAX diario	MAX horario	M (Harmond)	MEDIO	MAX inst	MAXextr
2,005	495	0.86	1.20	1.86	3.80	0.69	2.61	3.92
2,006	503	0.87	1.22	1.90	3.80	0.70	2.65	3.98
2,007	511	0.89	1.24	1.93	3.80	0.71	2.70	4.05
2,008	519	0.90	1.26	1.96	3.80	0.72	2.74	4.11
2,009	660	1.15	1.60	2.49	3.80	0.92	3.48	5.23
2,010	671	1.16	1.63	2.53	3.80	0.93	3.54	5.31
2,011	682	1.18	1.66	2.57	3.80	0.95	3.60	5.40
2,012	693	1.20	1.68	2.61	3.80	0.96	3.66	5.48
2,013	704	1.22	1.71	2.65	3.80	0.98	3.71	5.57
2,014	715	1.24	1.74	2.69	3.80	0.99	3.77	5.66
2,015	727	1.26	1.77	2.74	3.80	1.01	3.84	5.75
2,016	739	1.28	1.79	2.78	3.80	1.03	3.90	5.85
2,017	750	1.30	1.82	2.83	3.80	1.04	3.96	5.94
2,018	763	1.32	1.85	2.87	3.80	1.06	4.02	6.04
2,019	775	1.35	1.88	2.92	3.80	1.08	4.09	6.13
2,020	787	1.37	1.91	2.97	3.80	1.09	4.16	6.23
2,021	800	1.39	1.95	3.01	3.80	1.11	4.22	6.34
2,022	813	1.41	1.98	3.06	3.80	1.13	4.29	6.44
2,023	826	1.43	2.01	3.11	3.80	1.15	4.36	6.54
2,024	840	1.46	2.04	3.16	3.80	1.17	4.43	6.65
2,025	853	1.48	2.07	3.21	3.80	1.19	4.50	6.76
2,026	867	1.51	2.11	3.27	3.80	1.20	4.58	6.86
2,027	881	1.53	2.14	3.32	3.80	1.22	4.65	6.98
2,028	895	1.55	2.18	3.37	3.80	1.24	4.73	7.09
2,029	910	1.58	2.21	3.43	3.80	1.26	4.80	7.20
2,030	925	1.61	2.25	3.48	3.80	1.28	4.88	7.32

4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

SISTEMA DE PRETRATAMIENTO PARA LA P.T.A.R. SANTA INÉS, MICH.

DATOS DE PROYECTO

POBLACION DE PROYECTO HABITANTES; APORTACION lts/hab*d

NUMERO MINIMO DE CANALES ACTIVOS A UN MISMO TIEMPO:

CAUDAL MEDIO lts/s	CAUDAL MEDIO m3/d	CAUDAL MINIMO lts/s	COEF. HARMON	CAUDAL MAX INST lts/s	COEF. PREVIS.	CAUDAL MAX EXT lts/s
1.28	111.0	0.64	3.800	4.88	1.5	7.32

REJILLAS MANUALES

$$Hr = Cf \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{\sin(90 - \alpha) V^2}{2g}$$

(α) ANGULO INCL. CON RESP. A VERT. GRADOS	(b) CLARO ENT. BARR. m	(s) ESPES. BARRAS m	ANCHO BARRAS m	NUMERO BARRAS	ANCHO TOTAL m	VELOC. APROX m/s	ALTURA TOTAL m	Cf (RECT)	(Hr) PERDIDA DE CARGA m
55	0.025	0.01	0.025	8	0.305	0.6	0.027	2.42	0.0075

DESARENADOR

VELOCIDAD DE SEDIMENTACION DE LAS ARENAS

$$V_s = \left(\frac{4}{3} \frac{g(\rho_s - \rho)d}{C_D \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 \quad N_R = \frac{V_s d}{\nu} \quad (\rho) \text{ DENS. AGUA } \frac{\text{T}}{\text{m}^3} 1.00$$

(d) DIAMETRO PART. RETE. m	(ρ _s) DENS. PART. RETE. T/m3	(ν) VISCO CINEMAT m2/s	VS SUPUESTA m/s	N _R CALCUL.	C _D CALCUL.	V _s CALCUL. m/s	AREA DESARENA. m2	ANCHO DESARENA. m	LARGO DESARENA. m	LARGO DEFINITIVO m
0.00015	2.65	0.000001	0.0164339	2.4651	11.9867	0.0164339	0.2970648	0.30	0.99022	1.00

VELOCIDAD DE ARRASTRE

$$V_a = \sqrt{\frac{8gK(\rho_s - \rho)d}{f}}$$

CONSTANTE k	(ρ _s) DENS. PART. RETE. T/m3	(d) DIAM. PART. RETE. m	f DE DARCY	(V _a) VELOC. ARRASTRE m/s	TIEMPO RETENCION min.	PROFUND. m	VELOC. HORIZON. (LONGITUD.) m/s
0.04	2.65	0.00015	0.02	0.197	0.25	0.2465	0.07

CALCULO PARA ALMACENAMIENTO DE ARENA

LARGO DESARENA. m	PROFUND. TOLVA m	ANGULO DESCEND. GRADOS	DIST. HOR. BAJADA m	LADO TOLVA m	DIST. HOR. SUBIDA m	ANGULO ASCEND. GRADOS	VOLUMEN ALMACEN. m3	CANTIDAD ARENA m3/d	INTERVALO LIMPIEZA d
1.00	0.25	60°	0.14	0.3	0.56	24.22°	0.04875	0.002220	21.96

CALCULO DE VERTEDOR PROPORCIONAL DOBLE SUTRO

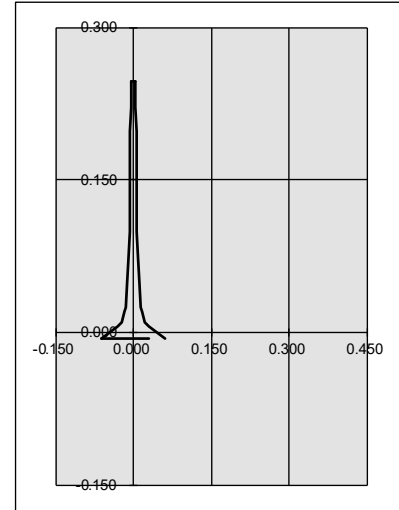
$$Q = \pi \sqrt{2g} \mu a^{0.5} h \quad x = \left(\frac{a}{y}\right)^{1/2} \quad a = \left[\frac{Q}{\pi \sqrt{2g} \mu h} \right]^2 \quad y = \frac{a}{x^2}$$

h m	Q m ³ /s	μ	a	(2x) ANCHO ARRIBA m	ANCHO MAXIMO m	DIST. VERT. ADIC. ABAJ m
0.2465	0.0049	0.6098	5.446E-06	0.009	0.125	0.006
						$d = 4a/b_0^2$ 0.0625
						$b_0 = (4a/d)^{0.5}$ 0.0625

CALCULO DE CORDENADAS DE VERTEDOR

PRIMER VERTEDOR

Y	X
-0.006	0.063
0.006	0.031
0.010	0.023
0.015	0.019
0.020	0.017
0.025	0.015
0.049	0.011
0.074	0.009
0.099	0.007
0.123	0.007
0.148	0.006
0.173	0.006
0.197	0.005
0.222	0.005
0.247	0.005



GRADUACION DEL VERTEDOR

INCREMENT. h m

h m	Q l/s
0.000	0.0
0.050	1.0
0.100	2.0
0.150	3.0
0.200	4.0
0.250	5.0
0.300	5.9
0.350	6.9
0.400	7.9
0.450	8.9
0.500	9.9
0.550	10.9
0.600	11.9
0.650	12.9
0.700	13.9
0.750	14.9
0.247	4.9

VERTEDOR EN CAJAS REPARTIDORAS

Q m ³ /s	b m	h m	w m	M	C	h m
0.005	0.400	0.035	0.200	0.648	1.912	0.034

DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

Población proyecto	925 hab.; aportación	120 lts/hab*d
Caudal de diseño	1.28 lts/s ;	C oeficiente de Gasto Máximo= 3.80
Caudal Máximo=	4.88 lts/s	

SUSUPUATO, MICH.

DATOS GENERALES

CAUDAL PROMEDIO m3/d	SOLIDOS SUSPEN. mg/l	SSF mg/l	SSV mg/l	DBO total mg/l	RELACION DQO/DBO	DQO total mg/l
111	285.00	60.0	225.0	250.00	2.4	600.00
111	285.00	60.0	225.0	250.00	2.4	600.00
111	285.00	60.0	225.0	250.00	2.4	600.00

DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

Número de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente 1

CAUDAL PROMEDIO m3/d	CARGA SUPERFIC. m3/m2*d	AREA m ²	RELACION L/B	ANCHO B m	LARGO L m	TIEMPO RETENCION hrs.	PROFUND. m	VOLUMEN m3	CARGA ORGANICA Kg DQO/d	CARGA ORG. VOLUMETRICA Kg DQO/d*m ³
111	12.00	9.25	1	3.04	3.04	6.00	3.000	27.75	66.6	2.40
111	12.00	9.25	1	3.04	3.04	6.00	3.00	27.75	66.6	2.40
111	12.00	9.25	1	3.04	3.04	6.00	3.00	27.75	66.6	2.40

REM. DBO ₅ RAFA %	DBO salida mg/l	AREA m ²	NUMERO DE BOQUILLAS	AREA POR BOQUILLA m ²	CAUDAL POR BOQUILLA l/s	DIAMETRO DE TUBO m	VELOCIDAD EN TUBO m/s
60	100	9.25	4	2.31	0.32	0.100	0.041
60	100	9.25	4	2.31	0.32	0.100	0.041
60	100	9.25	4	2.31	0.32	0.100	0.041

Número de Zonas de Sedimentación Primaria 1

CAUDAL PROMEDIO m3/d	CARGA SUPERFIC. m3/m2*d	AREA m2	ANCHO B m	LARGO L m	CARGA VERTEDOR m3/m*d	TIEMPO RETENCION hrs.	PROFUND. m	CAUDAL MAXIMO m3/d	CARGA SUPERF. MAXIMA m3/m2*d	REMOCION SSV %	REMOCION SSF %
111	22.00	5.05	1.66	3.04	18.26	1.00	0.92	422	83.6	60	80
111	22.00	5.05	1.66	3.04	18.26	1.00	0.92	422	83.6	60	80
111	22.00	5.05	1.66	3.04	18.26	1.00	0.92	422	83.6	60	80

TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

RELACION L/A = 40		TIEMPO RETENCION		VOLUMEN	ANCHO CANAL	PROF.	AREA
CAUDAL DE DISEÑO lts/s	m3/s	min	seg	m3	m	m	m2
4.88	0.00488	20	1200	5.86	0.28	2.30	2.55
4.88	0.00488	20	1200	5.86	0.28	2.30	2.55
4.88	0.00488	20	1200	5.86	0.28	2.30	2.55
L/Ancho	ANCHO m	LONG. m	Nº MAMP.	ANCH.MAMP m	LONG.T. m	VELOCIDAD m/s	RELACION L/A
1.05	1.56	1.63	5	0.019	1.775	0.0076	33.43
1.05	1.56	1.63	5	0.019	1.775	0.0076	33.43
1.05	1.56	1.63	5	0.019	1.775	0.0076	33.43

TRATAMIENTO DE LOS LODOS

LODOS PRIMARIOS

CAUDAL TRATADO m3/d	SSV mg/l	SSF mg/l	REMOCION SSV %	REMOCION SSF %	SSV REMOV. Kg/d	SSF REMOV. Kg/d	SST REMOV. Kg/d	SSV DIGERIDOS Kg/d	SSF DIGERIDOS Kg/d	SST DIGERIDOS Kg/d	CONCENT. SOLIDOS %
111	225.0	60.0	60	80	14.98	5.33	20.31	10.49	5.33	15.82	3.0
111	225.0	60.0	60	80	14.98	5.33	20.31	10.49	5.33	15.82	3.0
111	225.0	60.0	60	80	14.98	5.33	20.31	10.49	5.33	15.82	3.0
CONTEN. VOLATIL. %	CONTEN. FIJOS %	DENSIDAD VOLATIL. T/m3	DENSIDAD FIJOS T/m3	DENSIDAD MEZCLA T/m3	CAUDAL LODOS PRIMARIOS m3/d	SST PRIM. NO REMOV. Kg/d	SSV PRIM. NO REMOV. Kg/d	SSF PRIM. NO REMOV. Kg/d	SST PRIM. NO REMOV. mg/l	SSV PRIM. NO REMOV. mg/l	SSF PRIM. NO REMOV. mg/l
1.99	1.01	1.25	1.8	1.0085	0.52	11.32	9.99	1.33	102.0	90.0	12.0
1.99	1.01	1.25	1.8	1.0085	0.52	11.32	9.99	1.33	102.0	90.0	12.0
1.99	1.01	1.25	1.8	1.0085	0.52	11.32	9.99	1.33	102.0	90.0	12.0

DISEÑO DE LECHOS DE SECADO

PERIODO DESCARGA d	VOLUMEN DESCARGA m3	PROFUN. LECHO m	AREA LECHO m2	ANCHO LECHO m	LARGO LECHO m	TIEMPO SECADO d	No LECHOS /MODULO	AREA/ 10*3*HAB m2	CARGA SOLIDOS Kg/m ² *año
3.5	1.830	0.2	9.15	2	4.574	14	4	39.56	157.76
3.5	1.830	0.2	9.15	2	4.574	14	4	39.56	157.76
3.5	1.830	0.2	9.15	2	4.574	14	4	39.56	157.76
CONTENIDO DE AGUA %	SSV DIGERIDOS Kg/d	SSF DIGERIDOS Kg/d	DENSID. MEZCLA T/m3	V. LECHO DESECADO m3	AGUA RETIRADA m3/d	AGUA RETIRADA lts/s			
60.00	10.49	5.33	1.1273	0.123	0.488	0.006			
60.00	10.49	5.33	1.1273	0.123	0.488	0.006			
60.00	10.49	5.33	1.1273	0.123	0.488	0.006			

DISEÑO DE HUMEDAL DE FLUJO SUBTERRANEO HORIZONTAL

Población	Aportación	Q med		Coef. Harmo	Q max. inst.
hab	l/h/d	l/s	M³/d	M	l/s
925.00	120.00	1.28	111.00	3.80	4.88
Co	Ce				
DBO inic.	DBO fin.	Y (inund.)		y (seco)	Y tot.
mg/l	mg/l	m		m	m
100.00	30.00	0.60		0.10	0.70

Cálculo del Área Superficial

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_{DBO_5}}$$

Q diseño	K _{DBO}	As
m ³ /d	m/d	m ²
111.00	0.10	1,336.41

K_{DBO}= constante de reducción de DBO₅

Calc. Secc. Transversal

$$A_c = \frac{Q}{K_f \left(\frac{dH}{dS} \right)}$$

Q diseño	K _f	dH/dS	Ac
m ³ /d	m/s	m/m	m ²
0.00128	0.0069	0.010	18.62

K_f= conductividad hidráulica dH/dS= gradiente hidráulico

Calculo del Ancho

$$W = \frac{A_c}{y}$$

W
m
31.03

Cálculo del Largo

$$L = \frac{A_s}{W}$$

L	V
m	m/d
43.07	5.96

Cálculo de Profundidad de Salida

$$h_s = y - (L + 2)s$$

dH/dS	hs	X
s	m	
m/m	0.149	1.39
0.010		

X=relación L/W

Revisión de Carga Orgánica

$$C.O. = (C_o)Q / A_s$$

Co	C.O.
g/m ³	gDBO/m ²
100	8.31

<15 gDBO/m²

Cálculo del Tiempo de Retención Hidr.

$$TRH = \frac{LWyn}{Q}$$

n	THR
	día
0.38	2.75

n= porosidad de la grava

Romoción de Coliformes (considerando flujo a pistón)

$$N_e = N_i e^{-Kbt \cdot TRH}$$

$$Kbt = 0.841 \cdot 1.07^{T-20}$$

Ni	T	Kbt	Ne
NMP/100 ml	°C	d ⁻¹	NMP/100 ml
3,700,000	20	0.841	367,783

DISEÑO DE LAGUNA DE MADURACION

Número de Lagunas 1

CAUDAL

DISEÑO

m³/d

111.00

W

m

20

L

m

62

H

m

1.5

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392X + 1.01360X^2}$$

$$Kbt = 0.841 \bullet 1.07^{T-20}$$

$$a = \sqrt{1 + 4 \bullet Kbt \bullet TRH \bullet d}$$

$$N_e = N_i \left[\frac{4ae^{\frac{1}{2d}}}{(1+a)^2 e^{\frac{a}{2d}} - (1-a)^2 e^{-\frac{a}{2d}}} \right]$$

REMOCION DE COLIFORMES EN 1a. LAGUNA MADURACION

; PROFUNDIDAD=

VOLUMEN

ÁREA

TEMPER.

X

d

Kbtmad

TIEMPO

a

NMP inf.

NMP ef.

LAG.MAD.

LAG.MAD.

AGUA

L/B

RETENCION

Ni

Ne

m³m²

°C

3.1000

0.3019

0.841

16.76

4.245

col/100ml

col/100ml

1,860.00

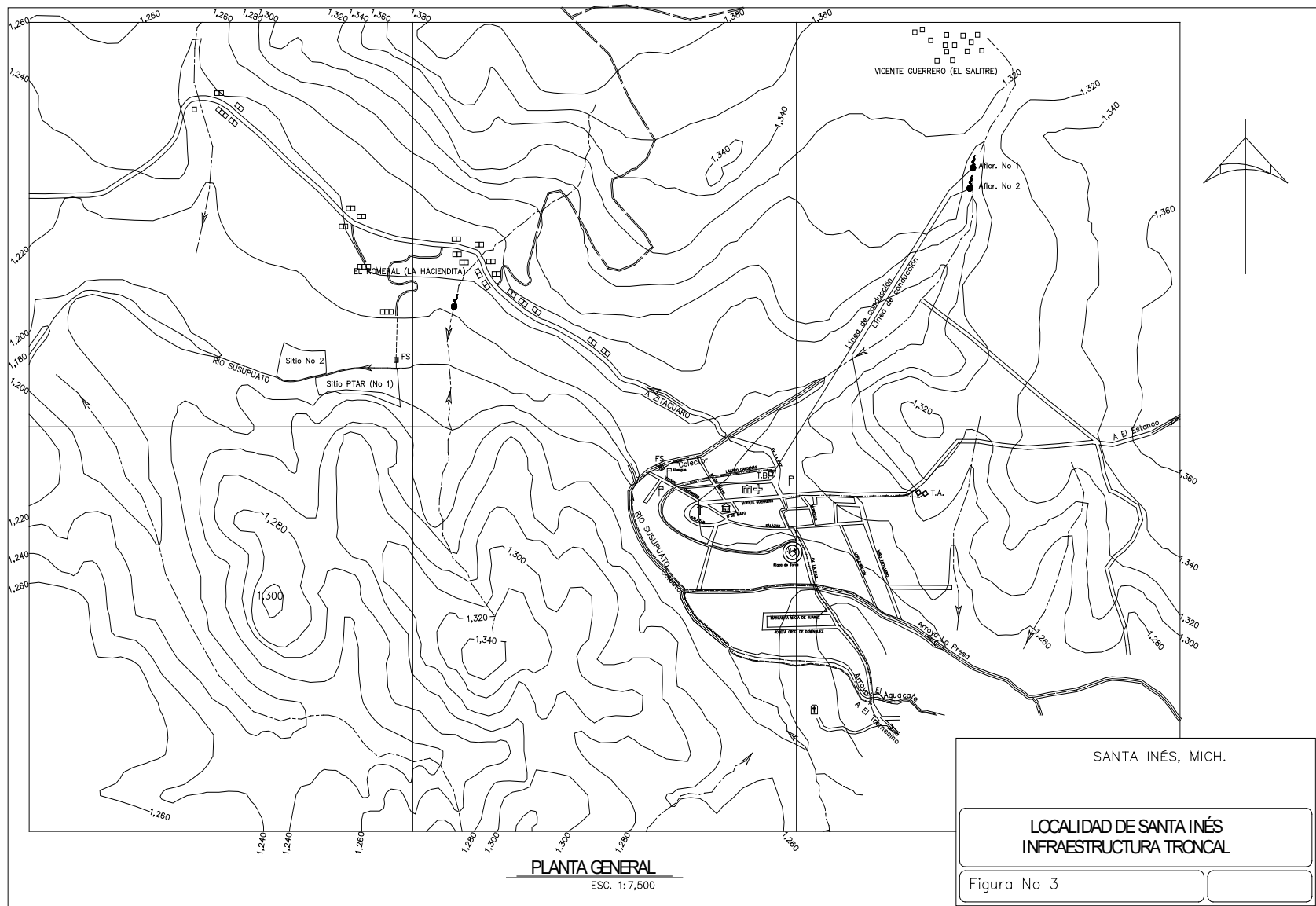
1,240.00

20.00

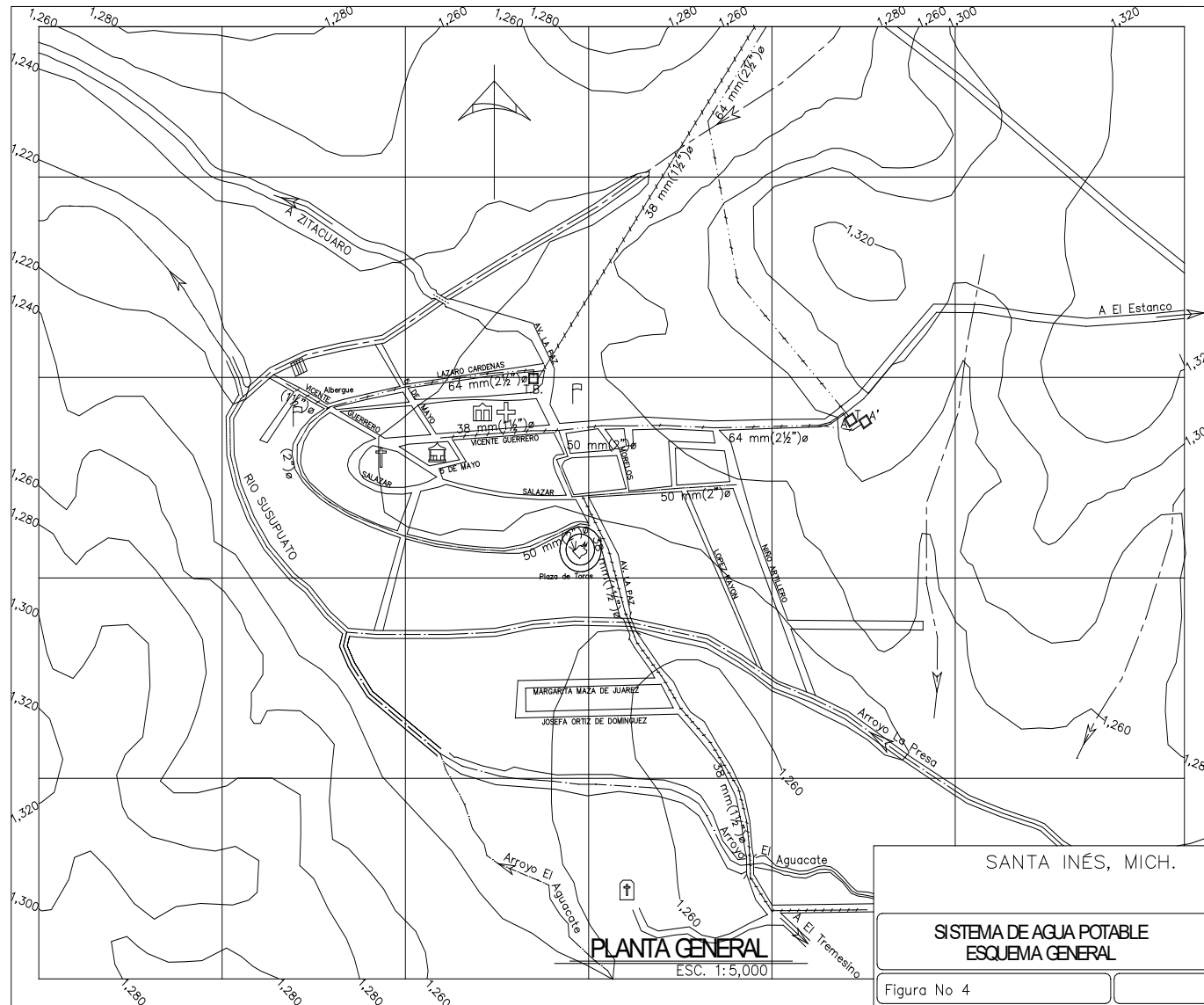
367,783

1,053

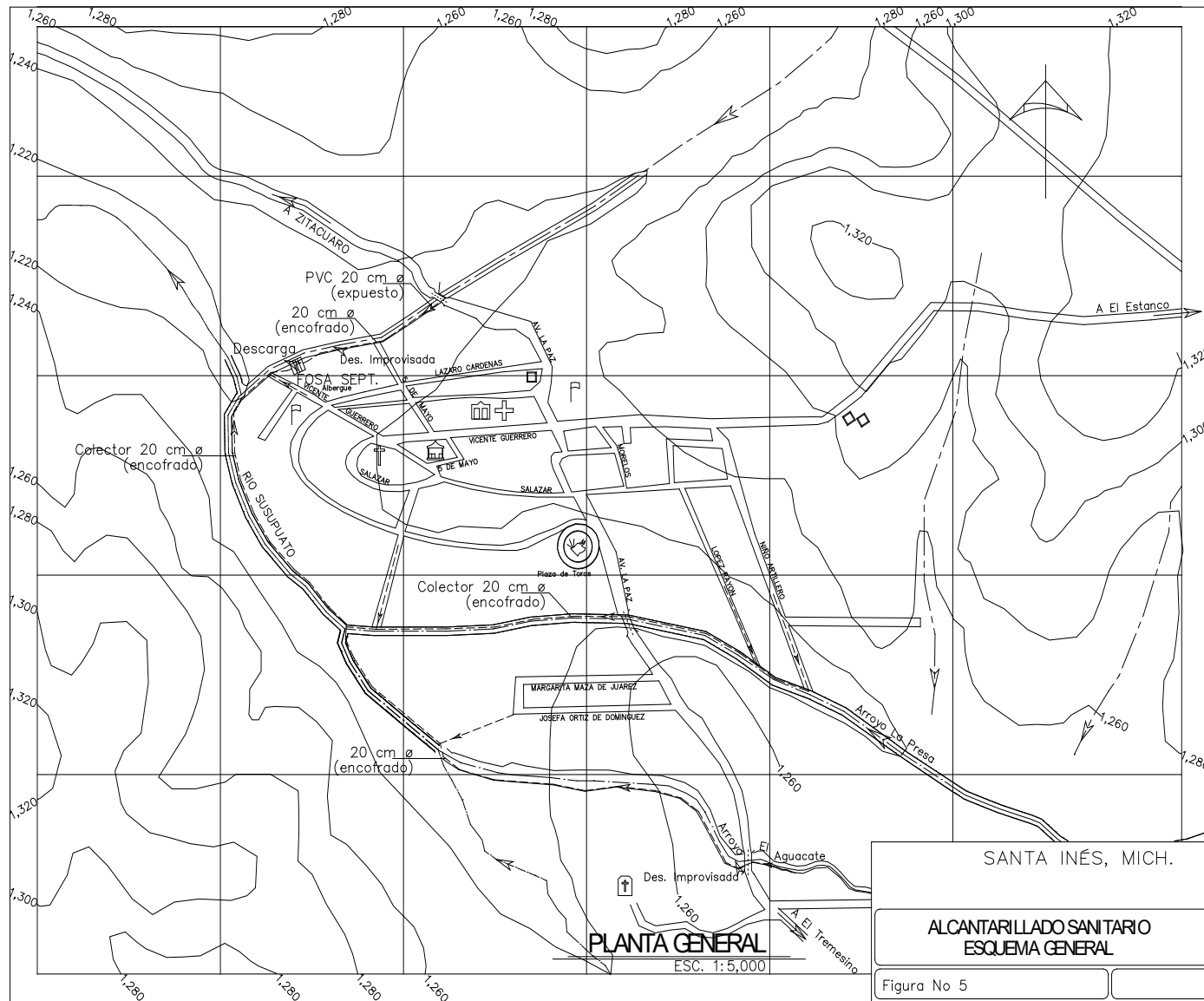
PLANOS

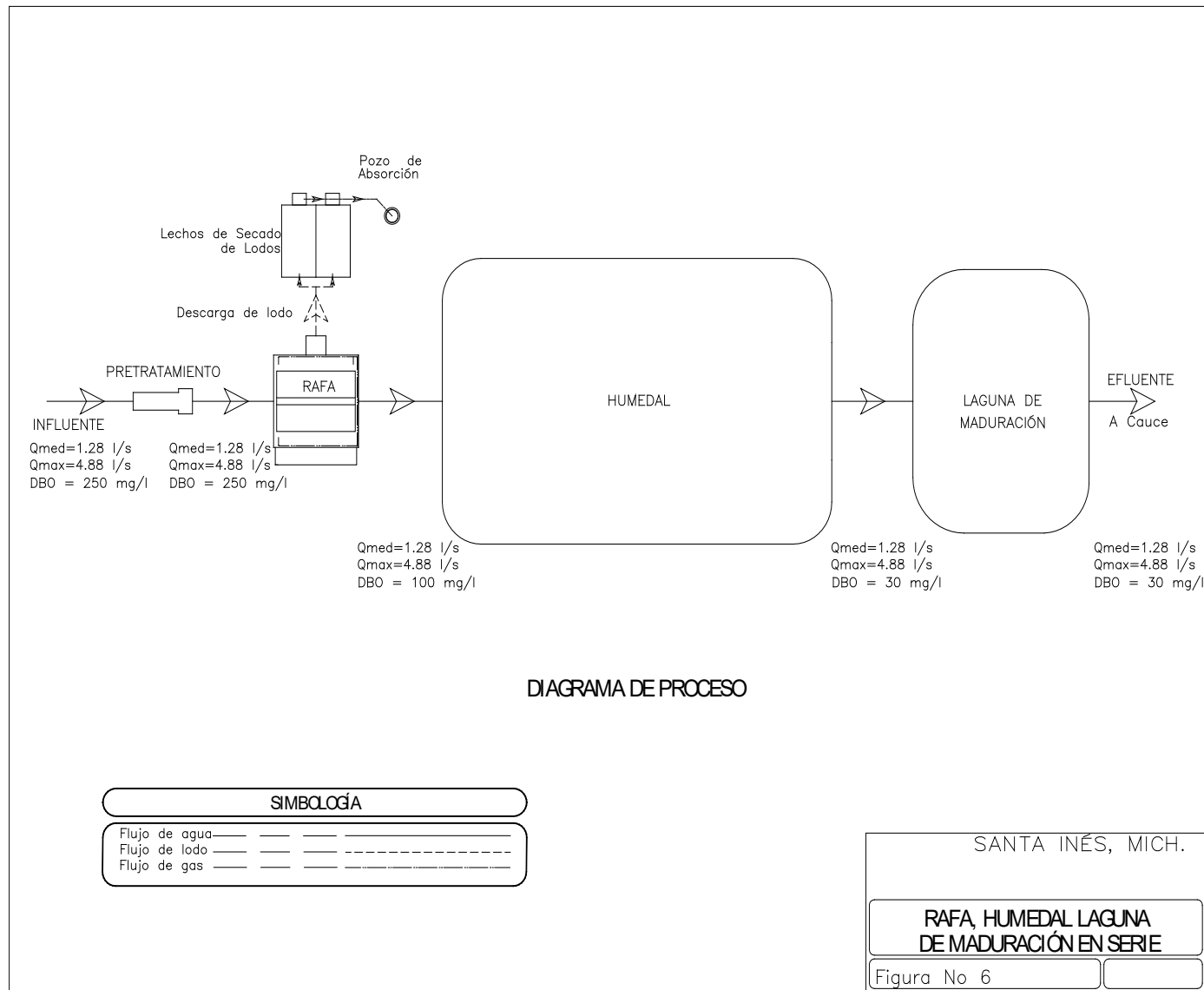


PLANOS

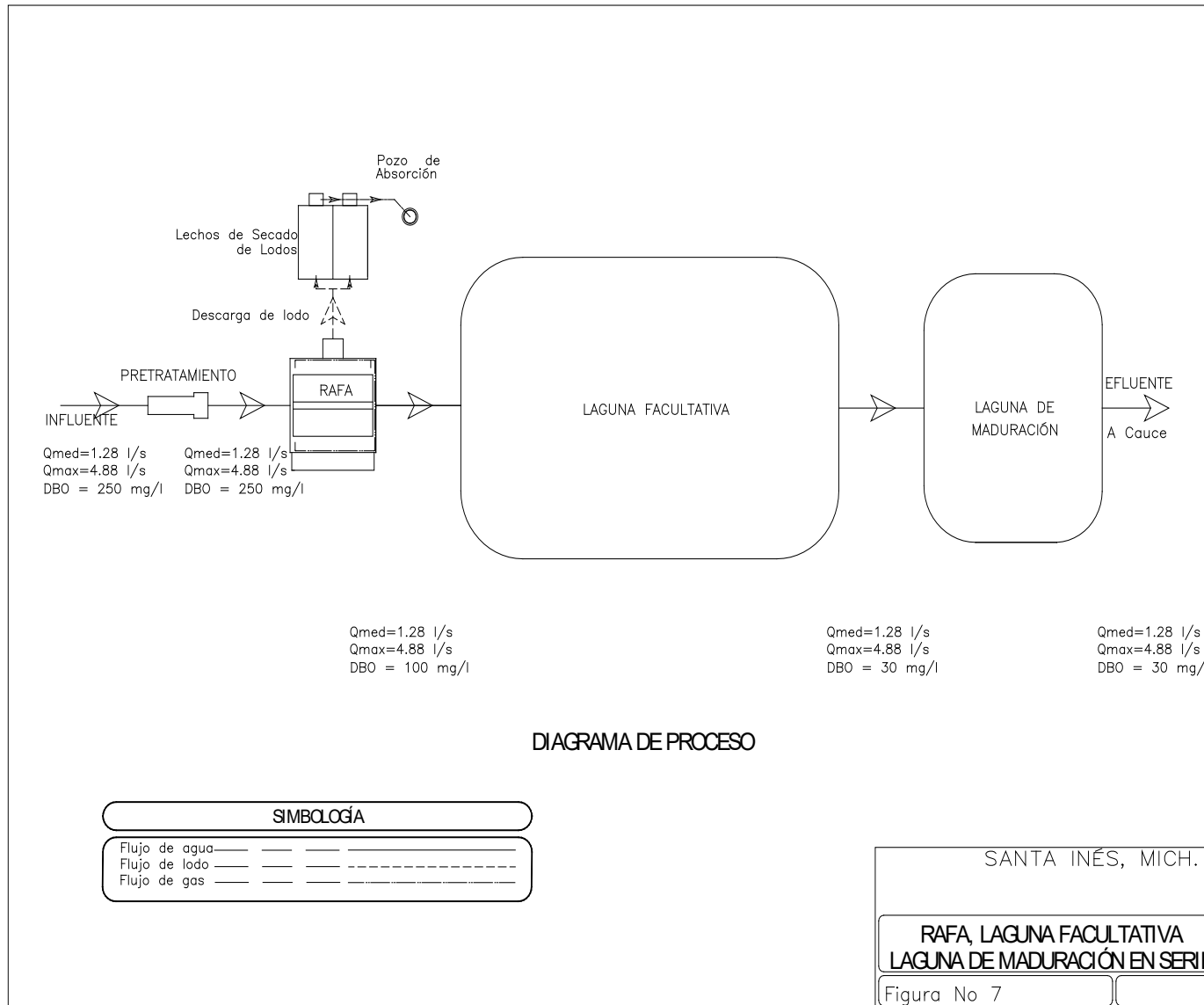


PLANOS





PLANOS



PLANOS

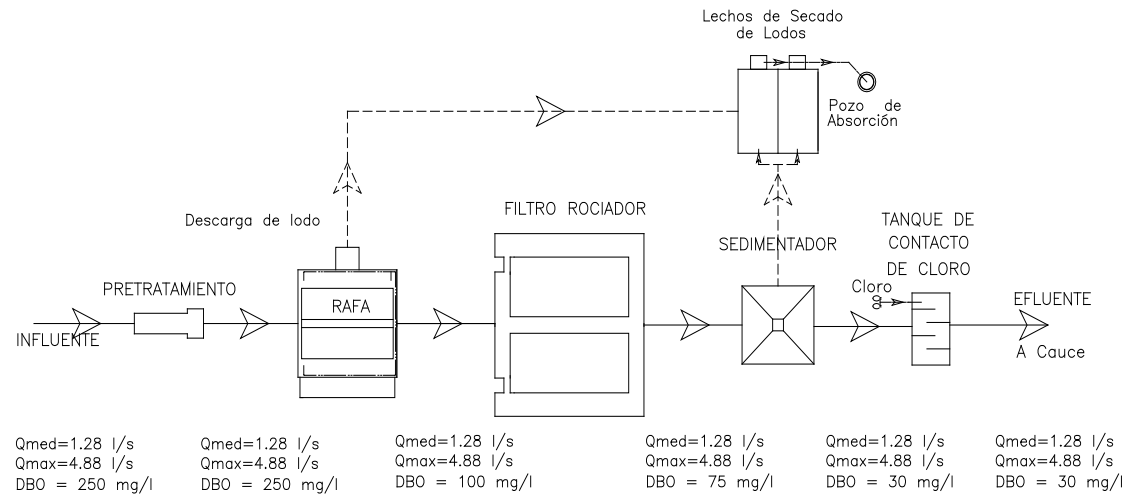


DIAGRAMA DE PROCESO

SIMBOLOGÍA

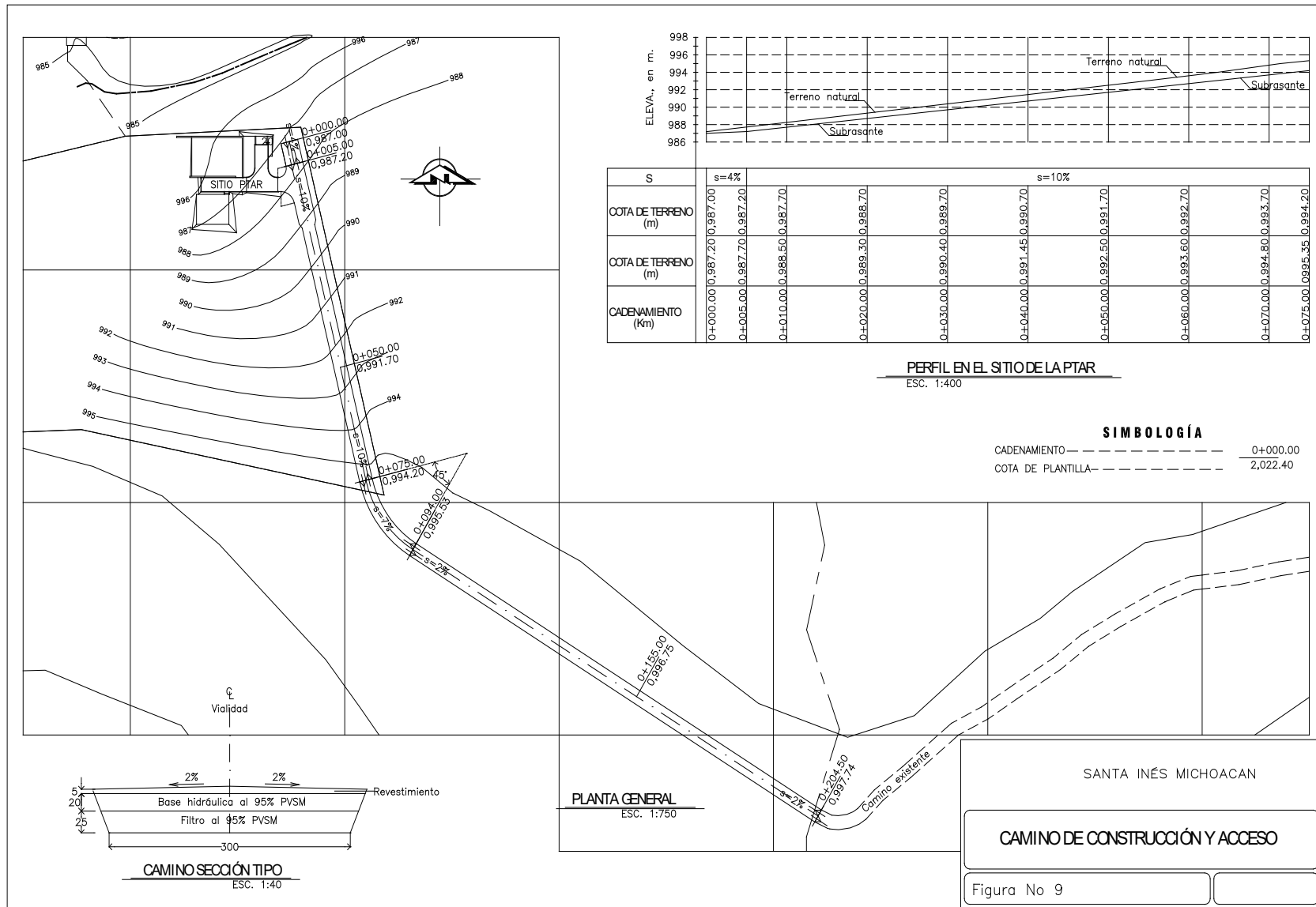
Flujo de agua	—	—	—	—
Flujo de lodo	—	—	—	—
Flujo de gas	—	—	—	—
Flujo de cloro	—	—	—	—

SANTA INÉS, MICH.

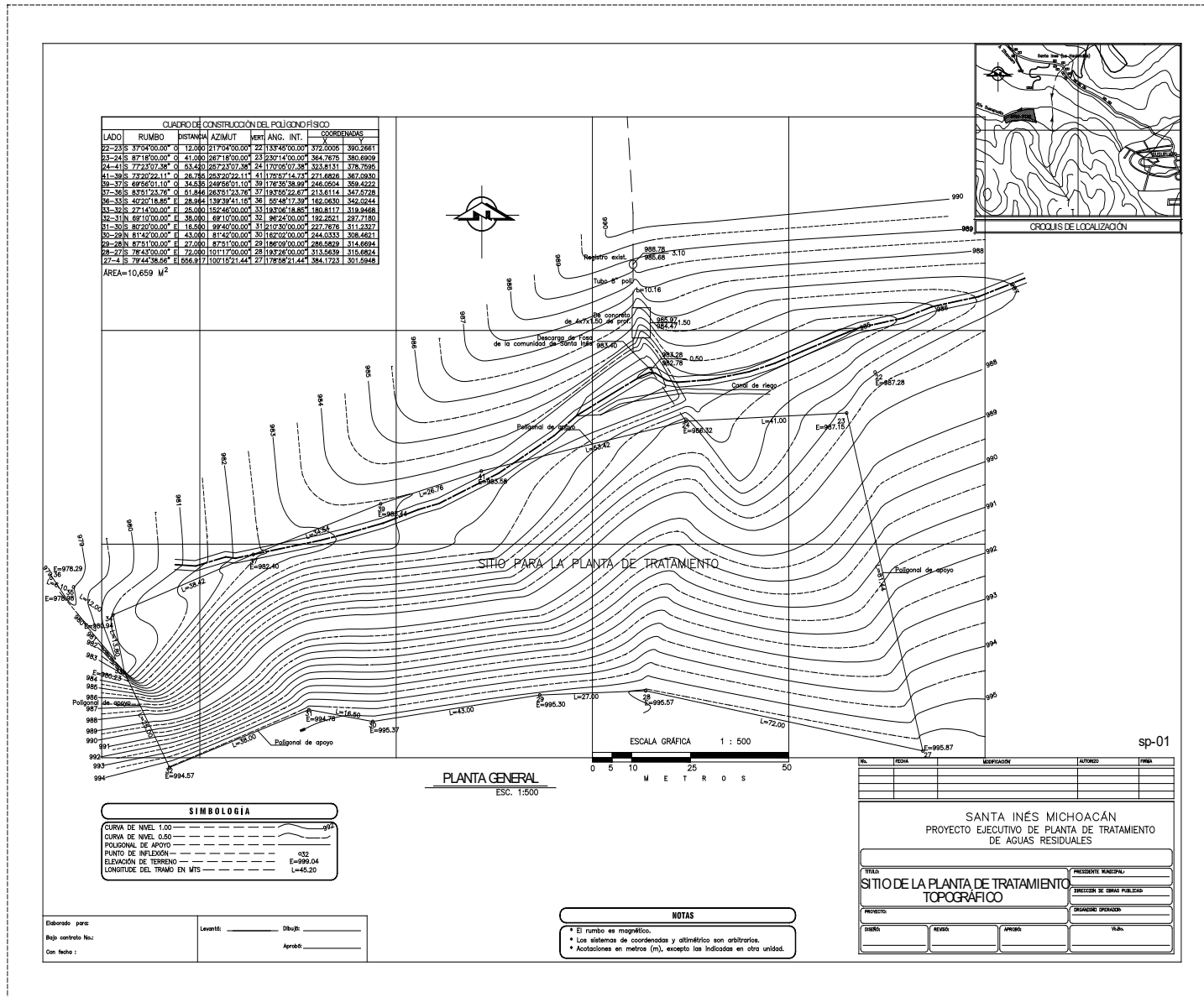
**RAFA, FILTRO BIOLÓGICO, CLARIFICADOR
Y TANQUE DE CONTACTO DE CLORO**

Figura No 8

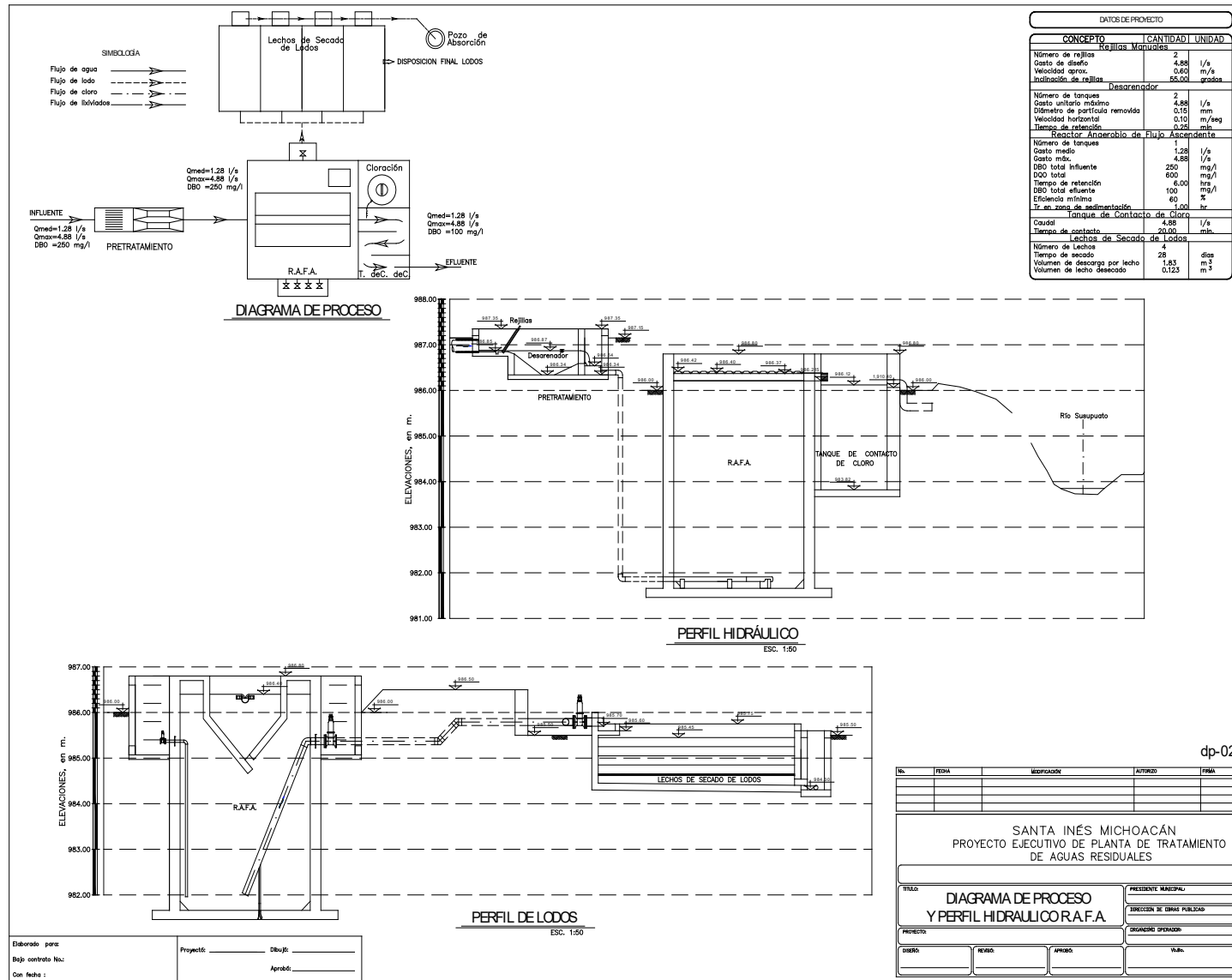
PLANOS



PLANOS

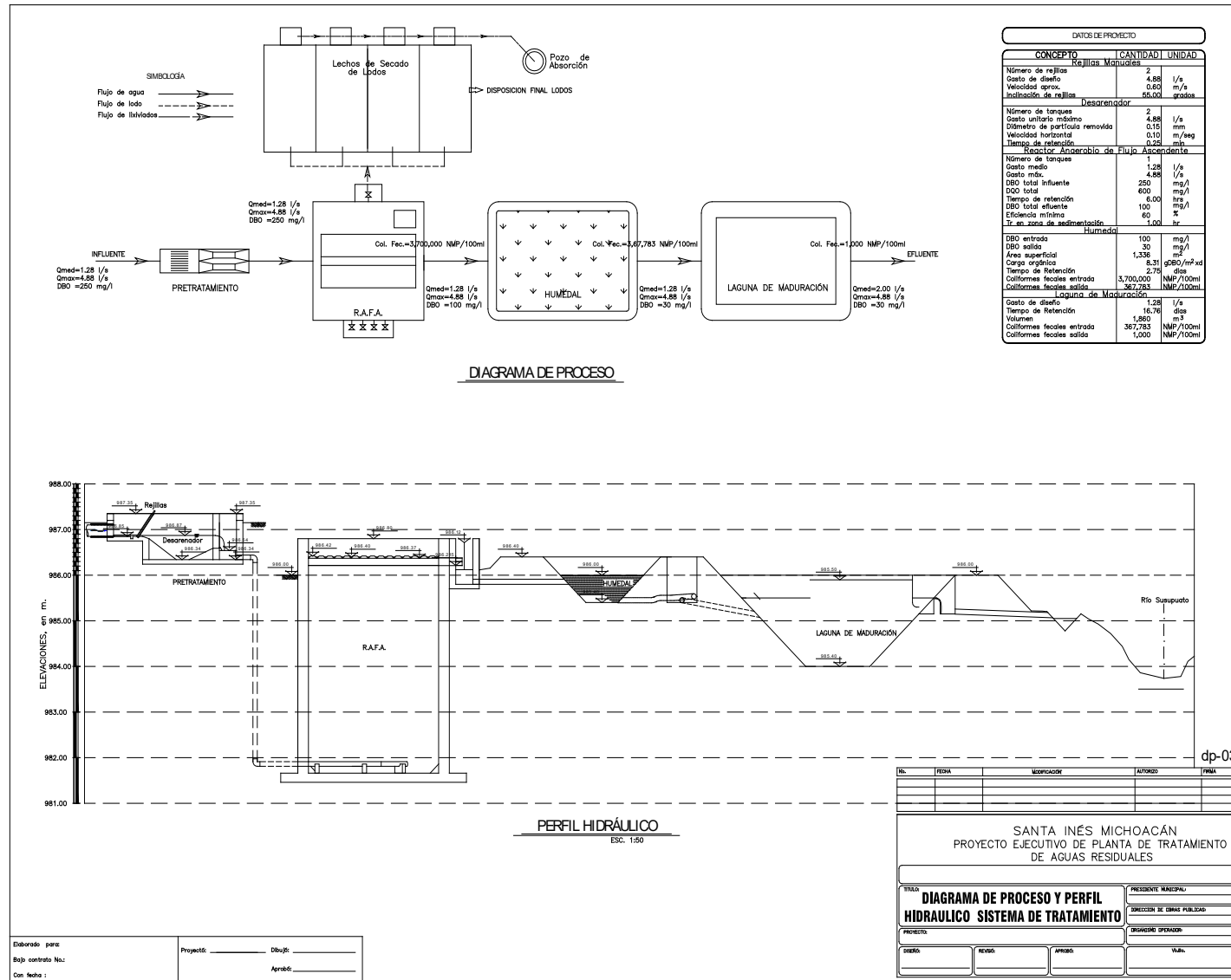


PLANOS

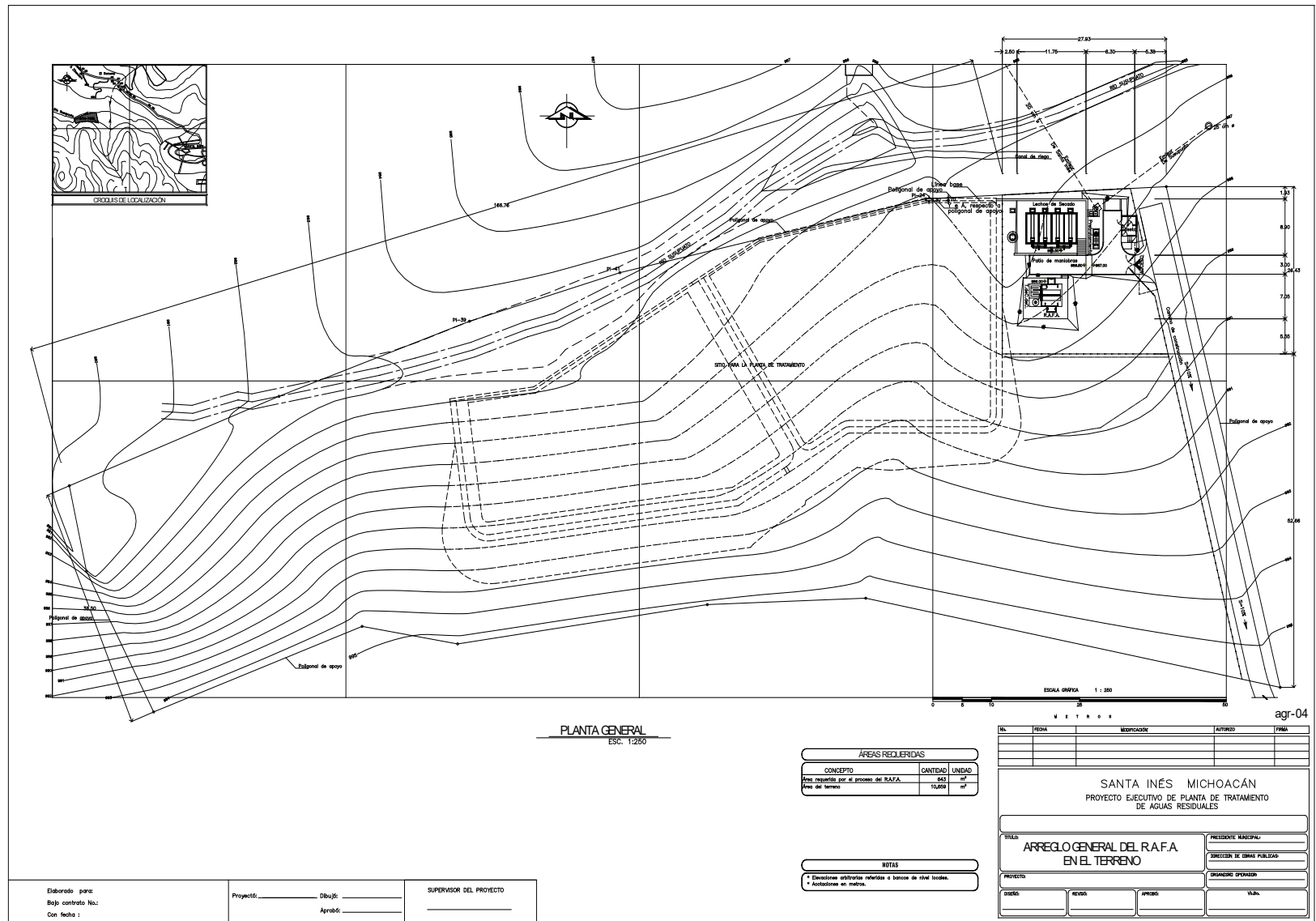


dp-02

PLANOS

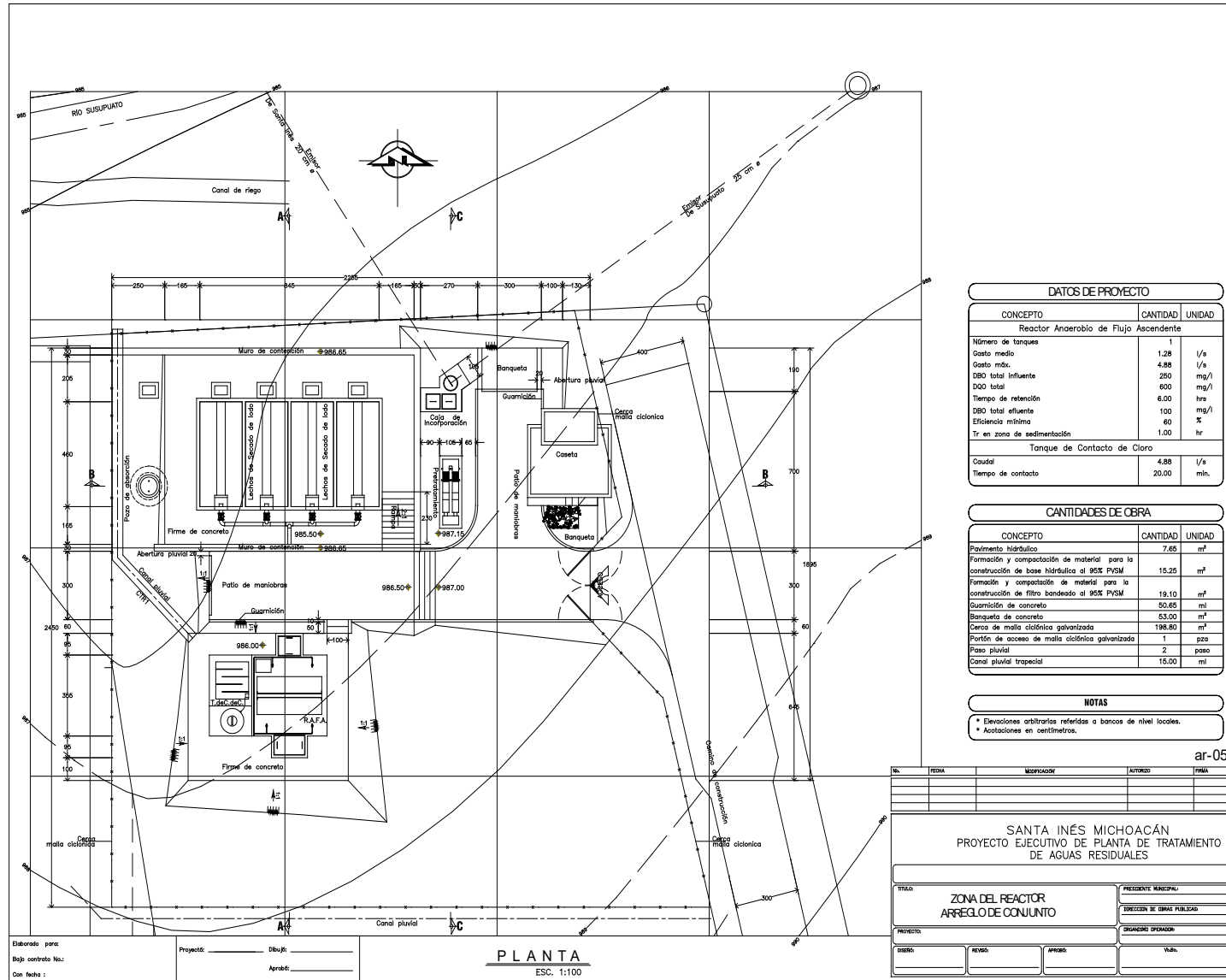


PLANOS

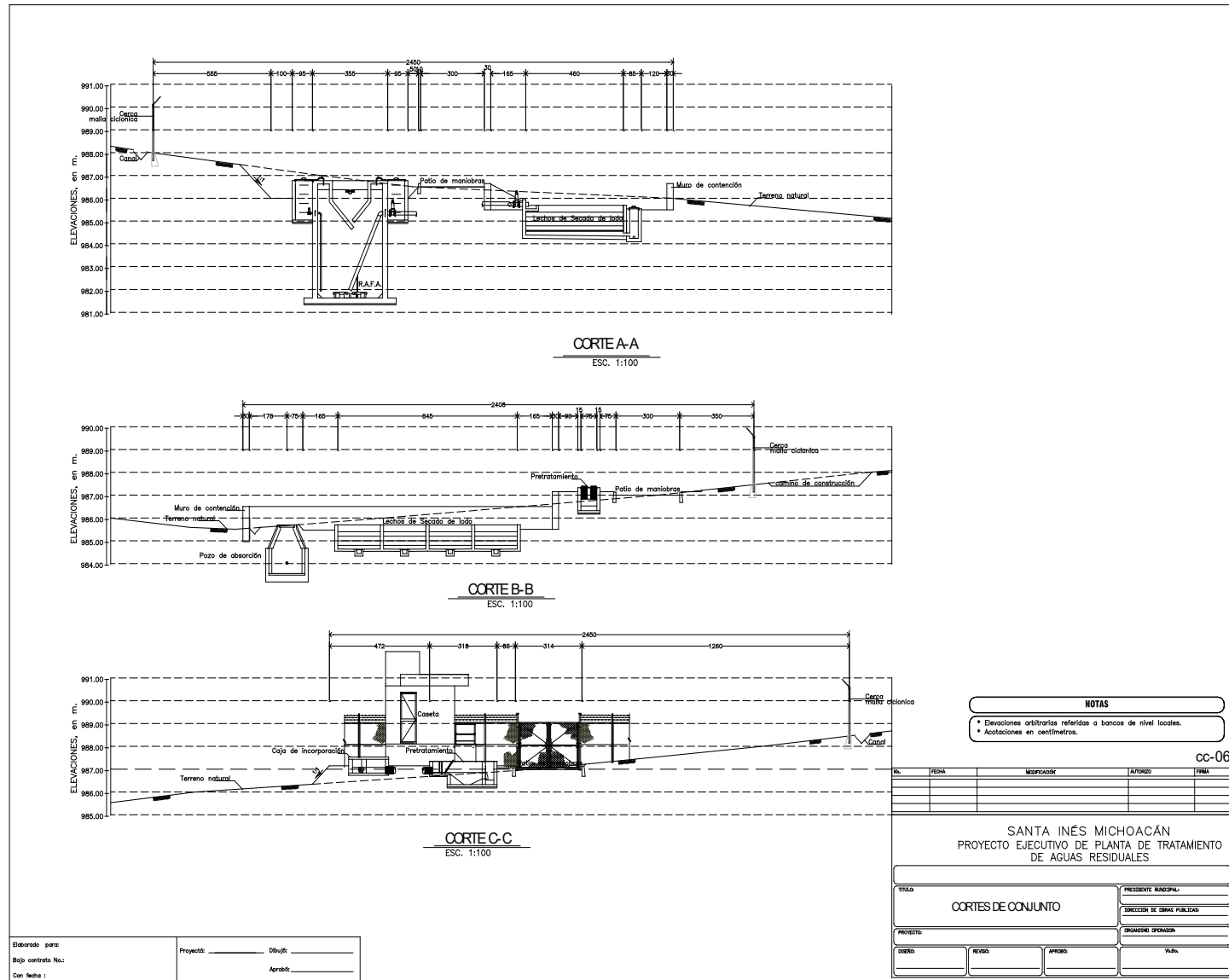


e

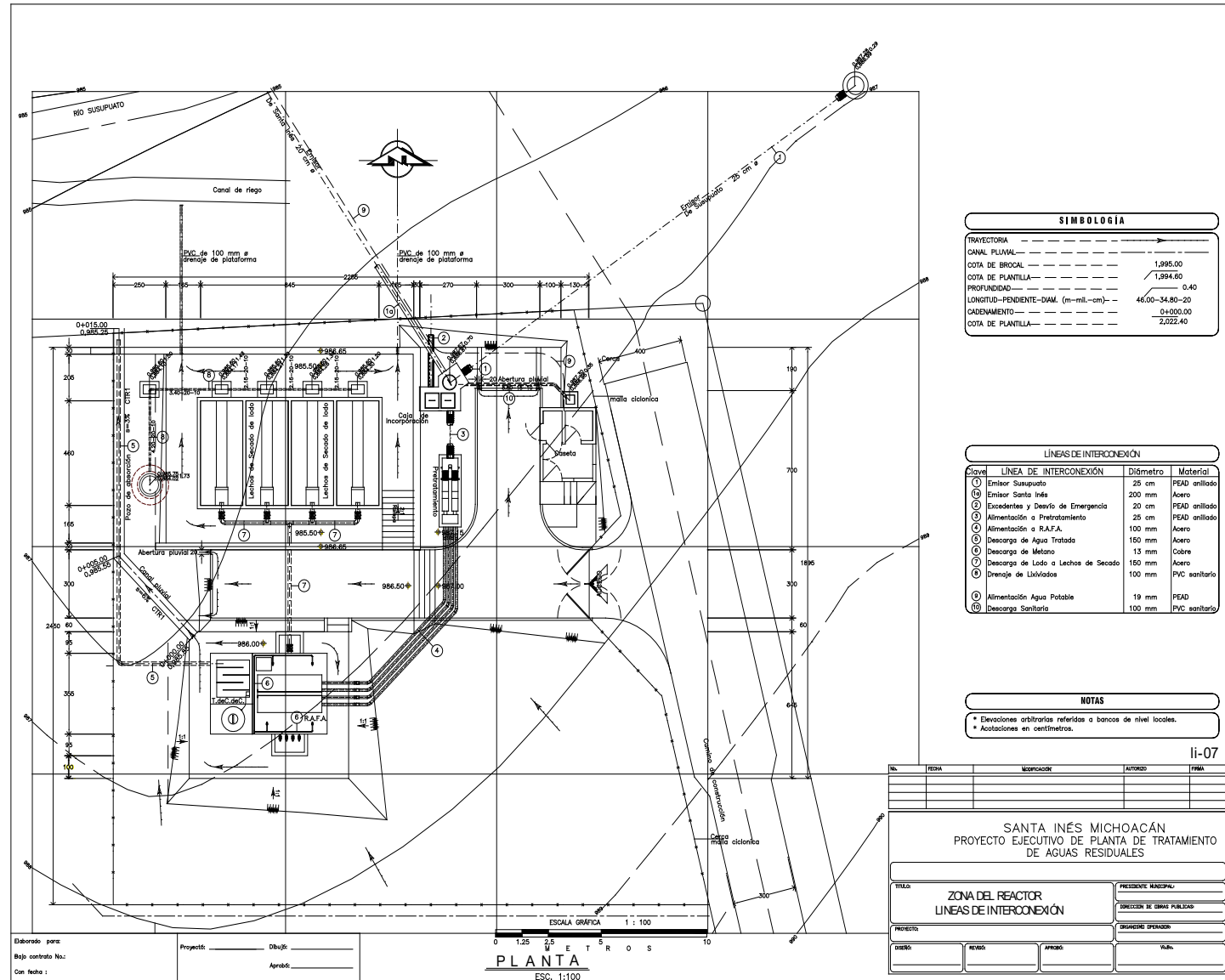
PLANOS

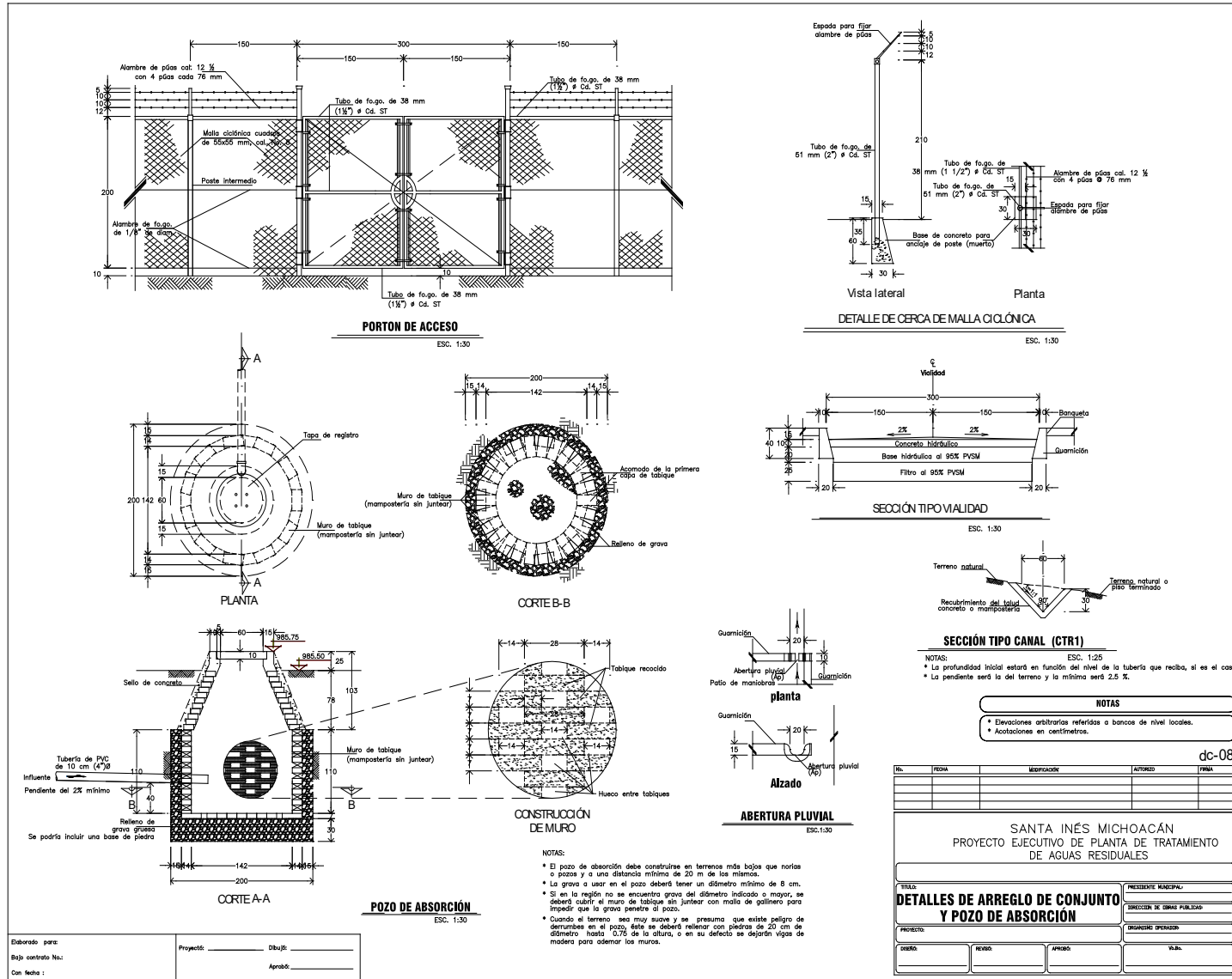


PLANOS

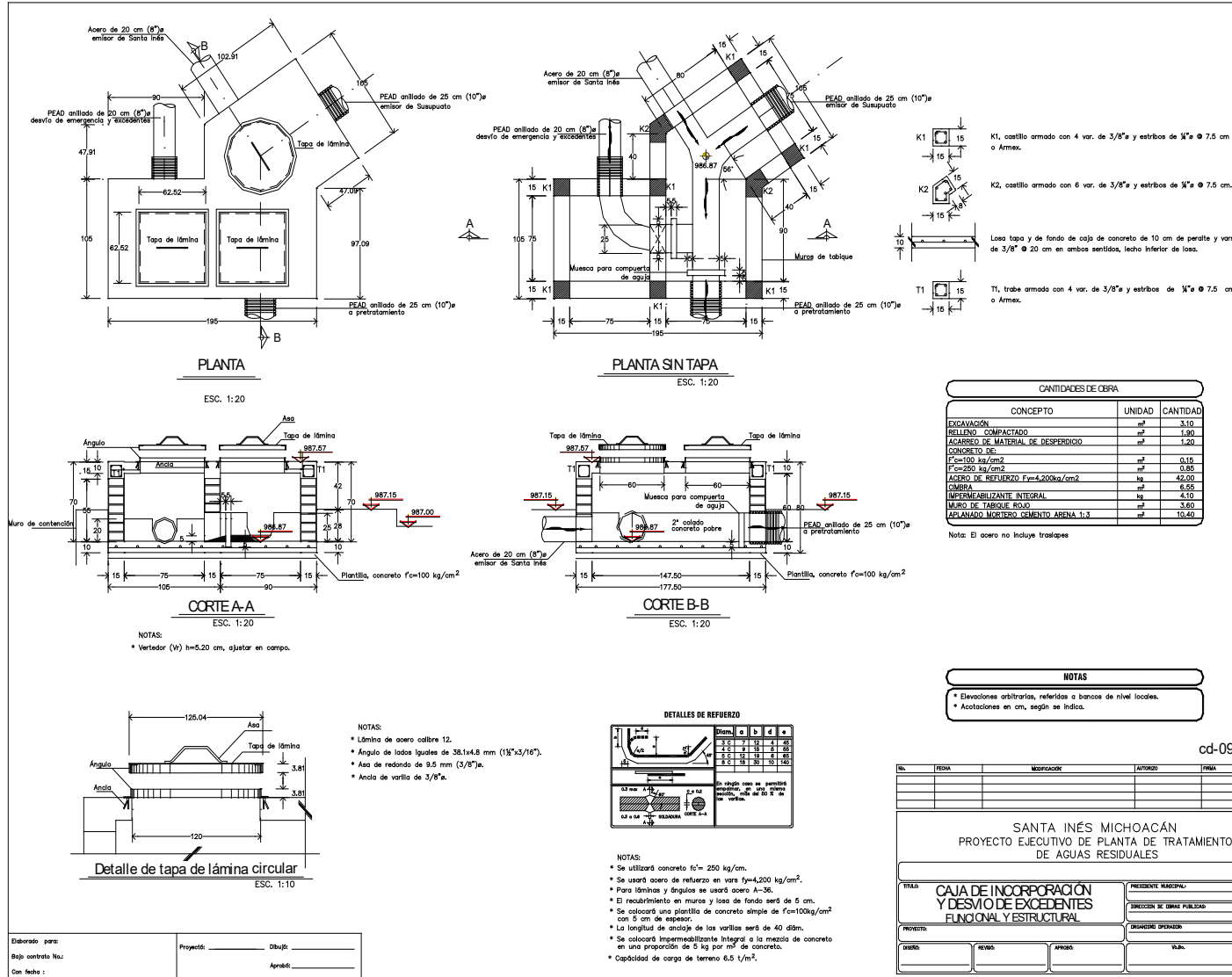


PLANOS

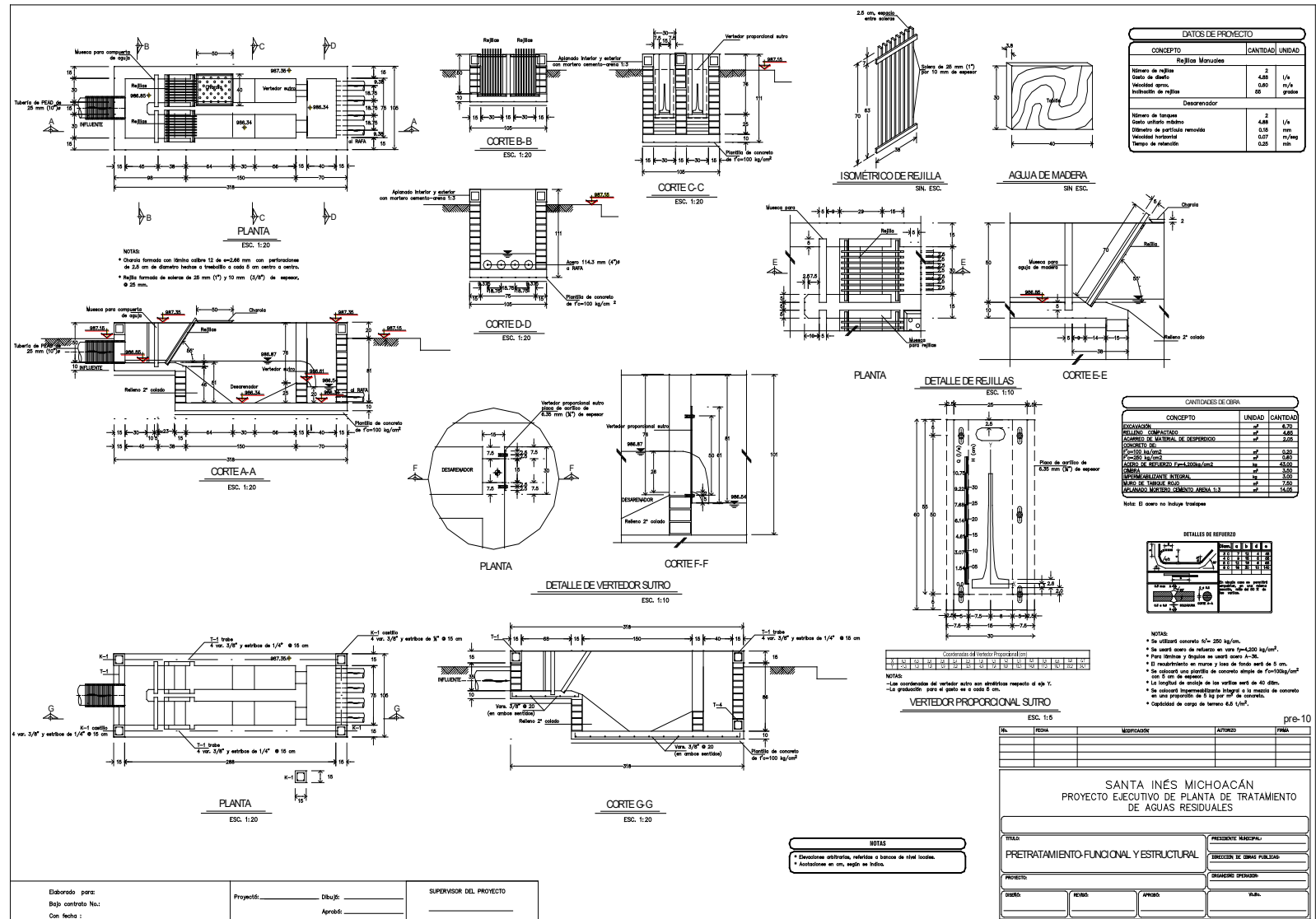




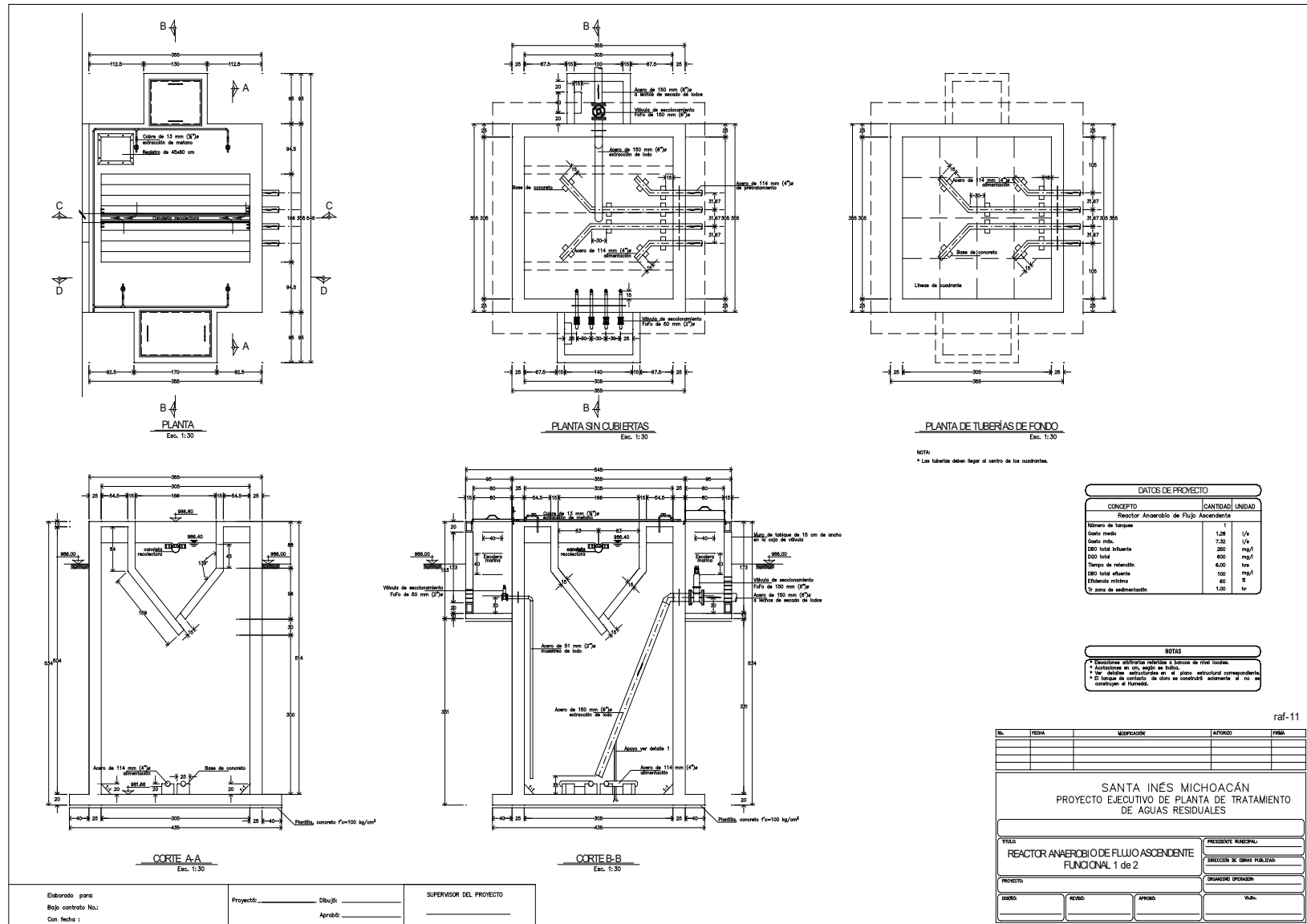
PLANOS



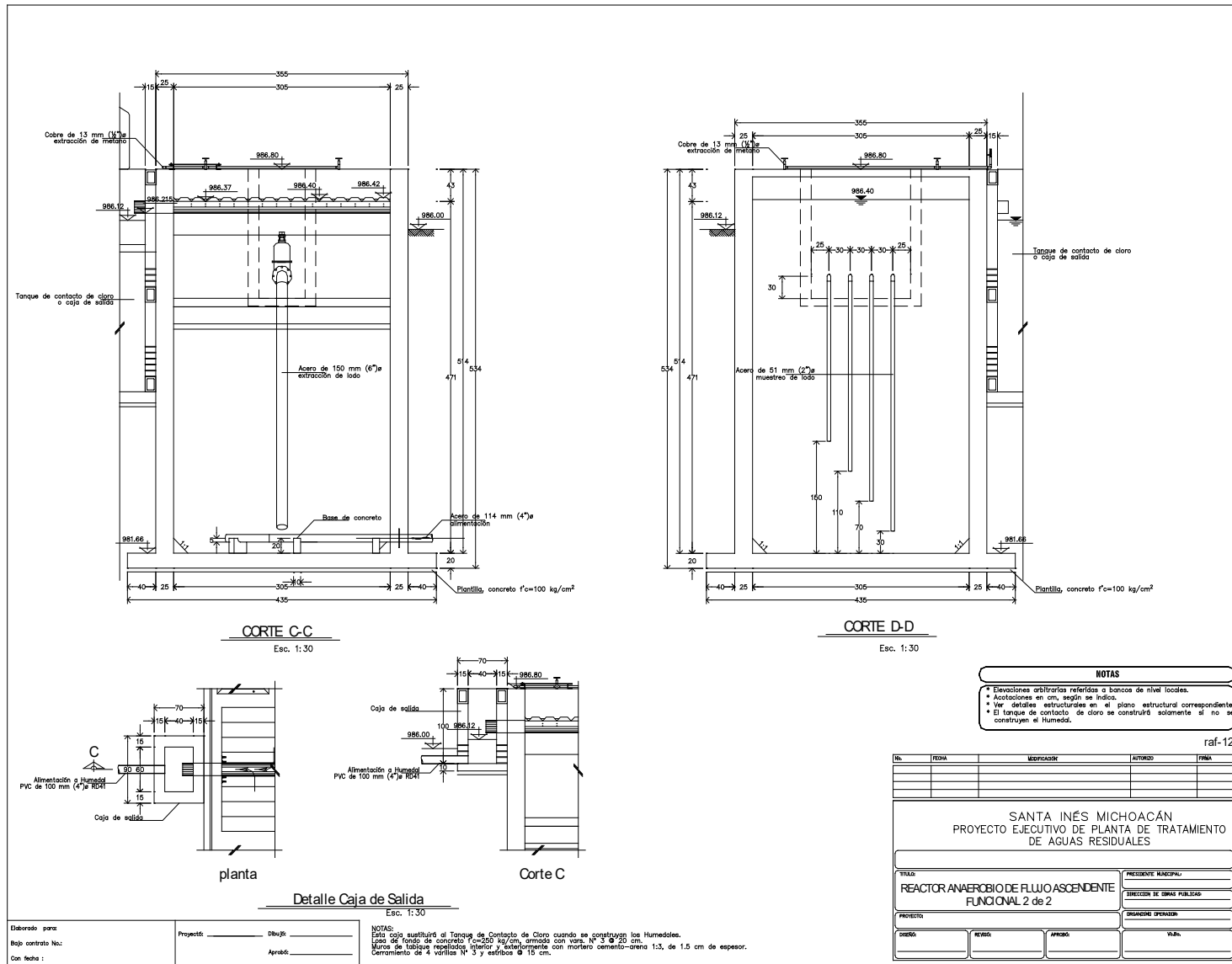
PLANOS



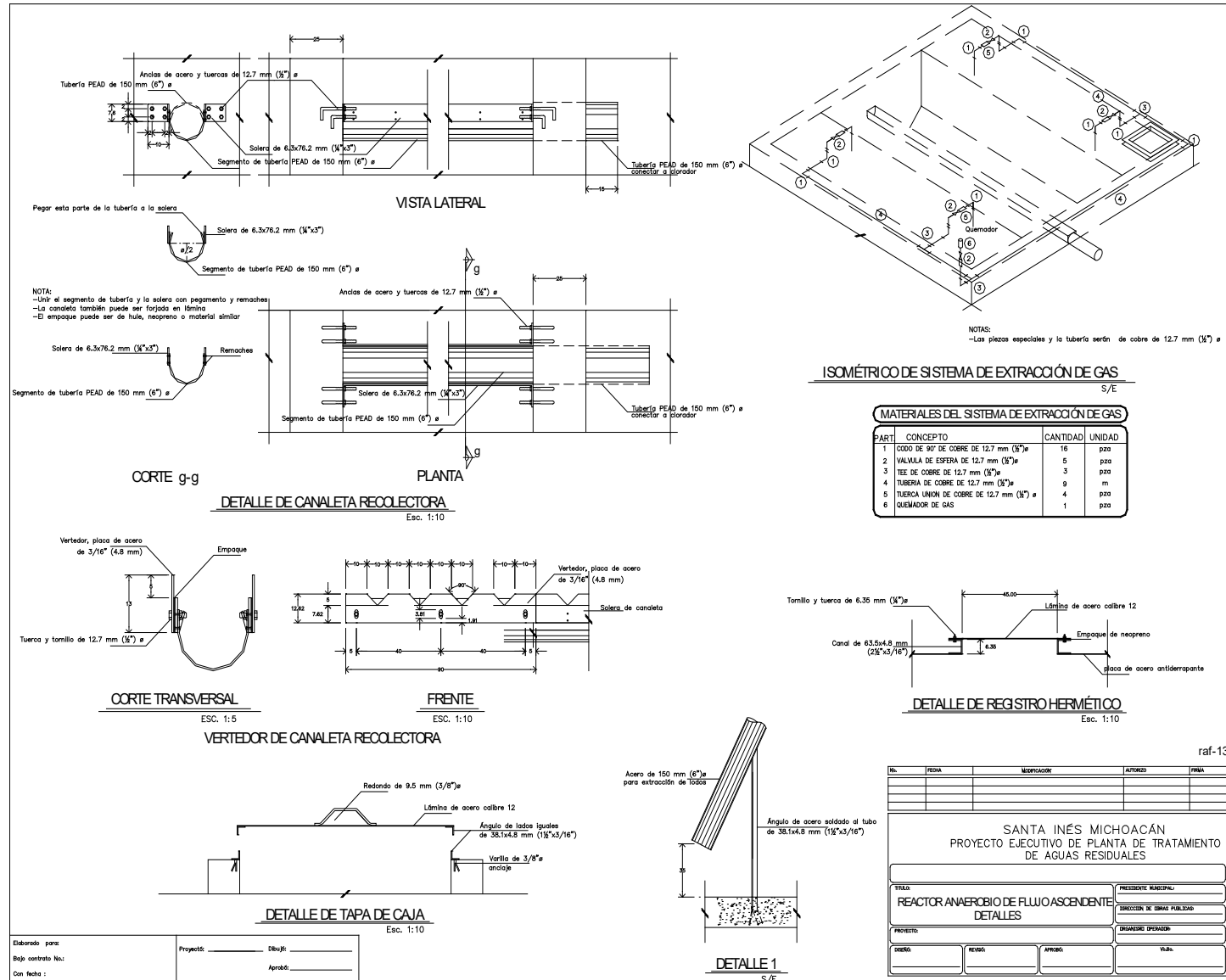
PLANOS



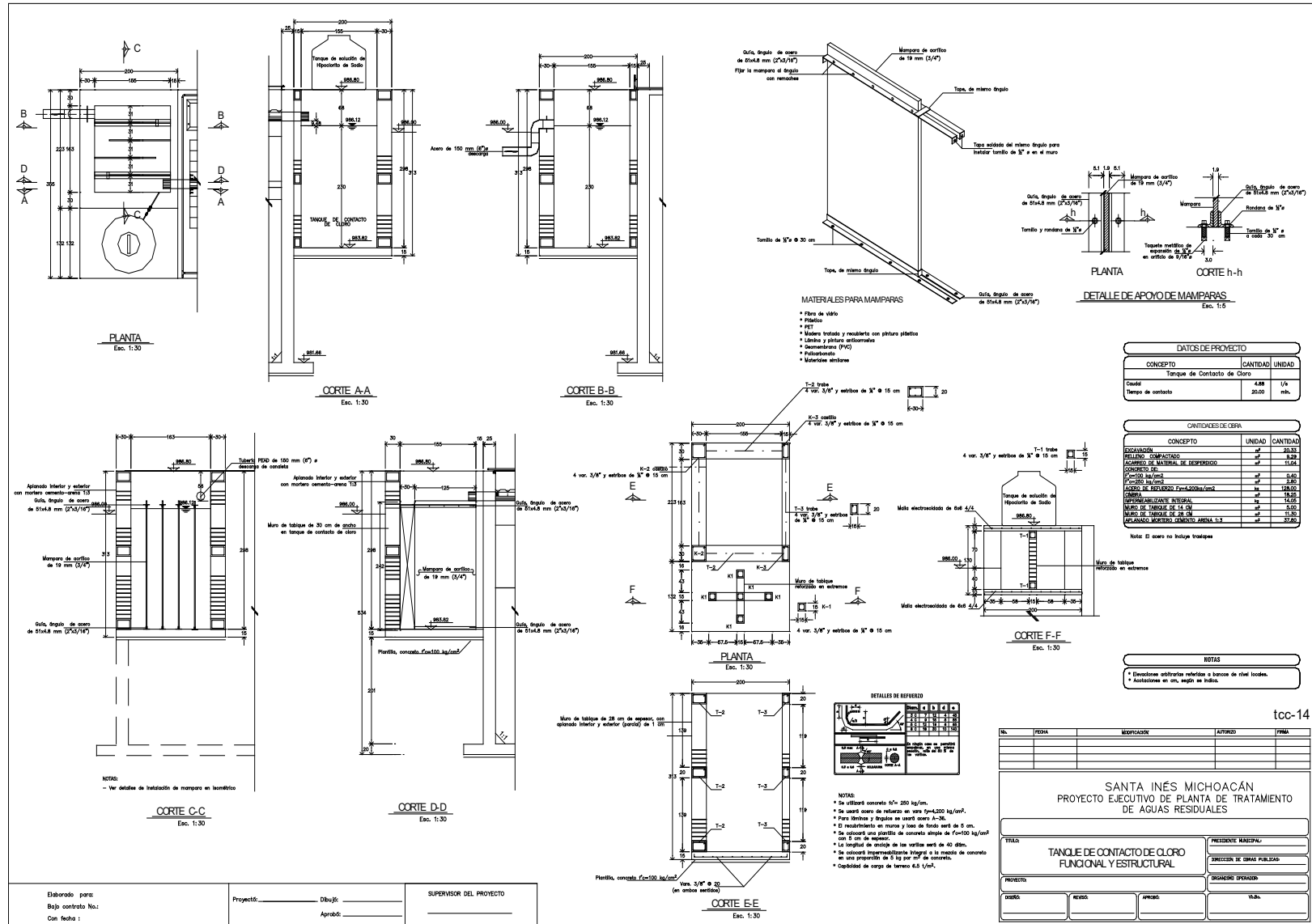
PLANOS



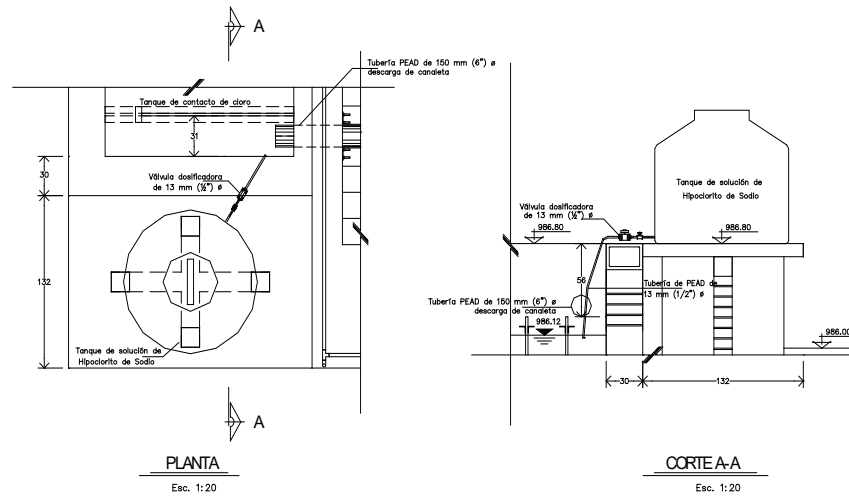
PLANOS



PLANOS

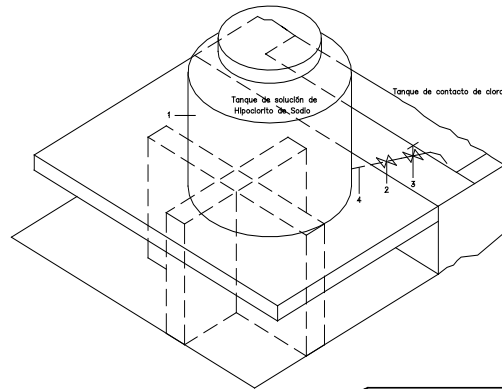


PLANOS



DOSIFICACION DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 13%					
GASTO	DOSE	VOLUMEN PARA 7 DIAS DE OPER.		GASTO PARA CALIBRAR LA VALVULA DE DOSIFICACION	GASTO DE SOLUCION DE HIPOCLORITO
l/s	mg/l	HIPOCLORITO	CONTENEDOR	litros	litros
5.00	5.0	117.28	700	70.0	100.8
4.88		114.44			
4.00		93.80			
3.00		70.35			
2.00		46.90			
1.28		30.02			
1.00		23.45			

CANTIDADES DE OBRA DEL SISTEMA DE DESINFECCION			
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Tanque de contacto de 700 lts para la solución de hipoclorito.	pza	1
2	Válvula de esfera de 13 mm (1/2") de diámetro.	pza	1
3	Válvula dosificadora de 13 mm (1/2") de diámetro.	pza	1
4	Tubería de PEAD de 13 mm (1/2") de diámetro.	m	1.20



NOTAS

- * Elevaciones arbitrarias referidas a bancos de nivel locales.
- * Acotaciones en cm, según se indica.
- * Ver detalles estructurales en el plano estructural correspondiente.

Elaborado para: _____ Proyecto: _____ Dibujo: _____
 Bajo contrato No.: _____ Aprobado: _____
 Con fecha: _____

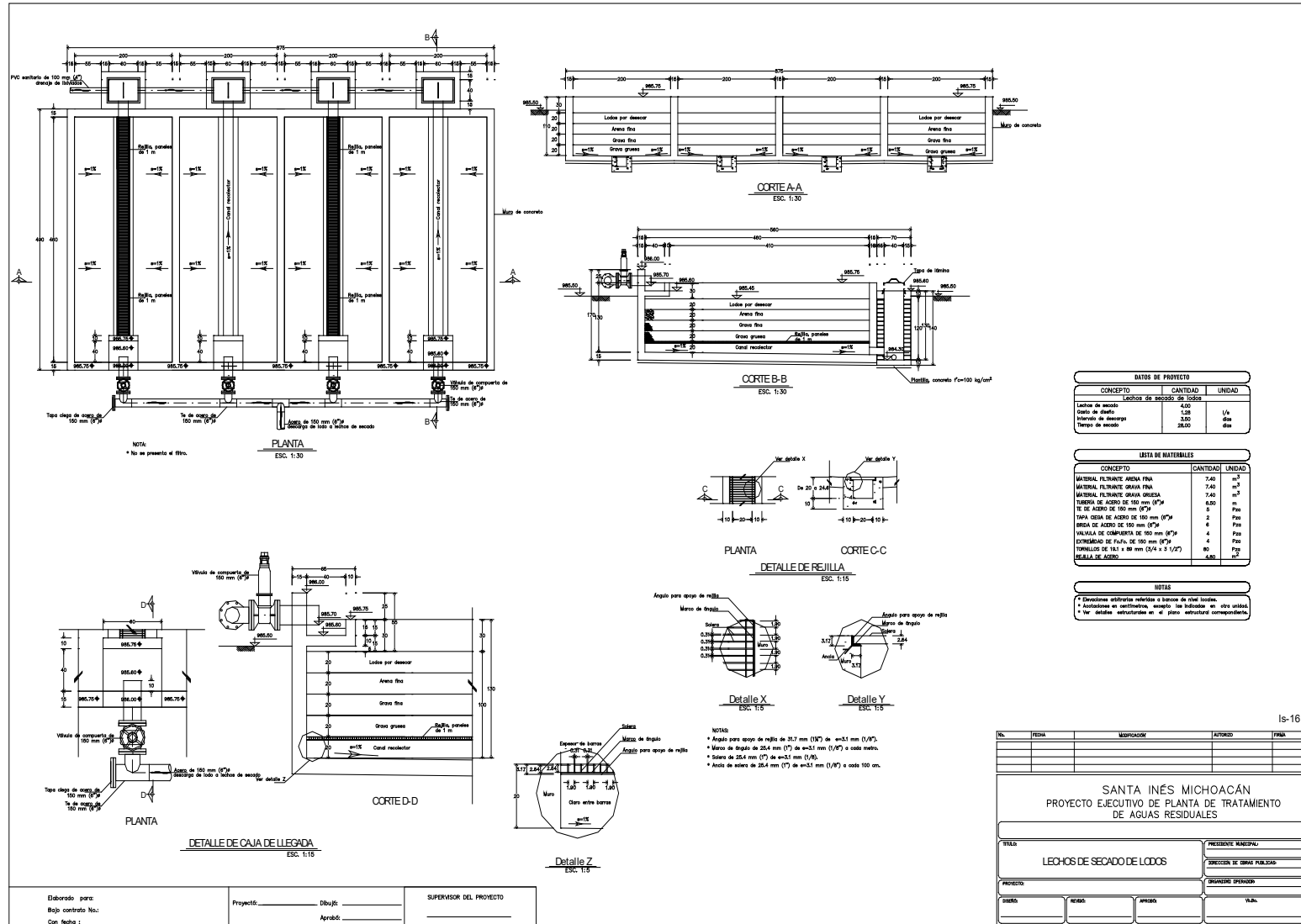
sc-15

No.	FECHA	MODIFICACION	AUTORIZADO	FIRMA

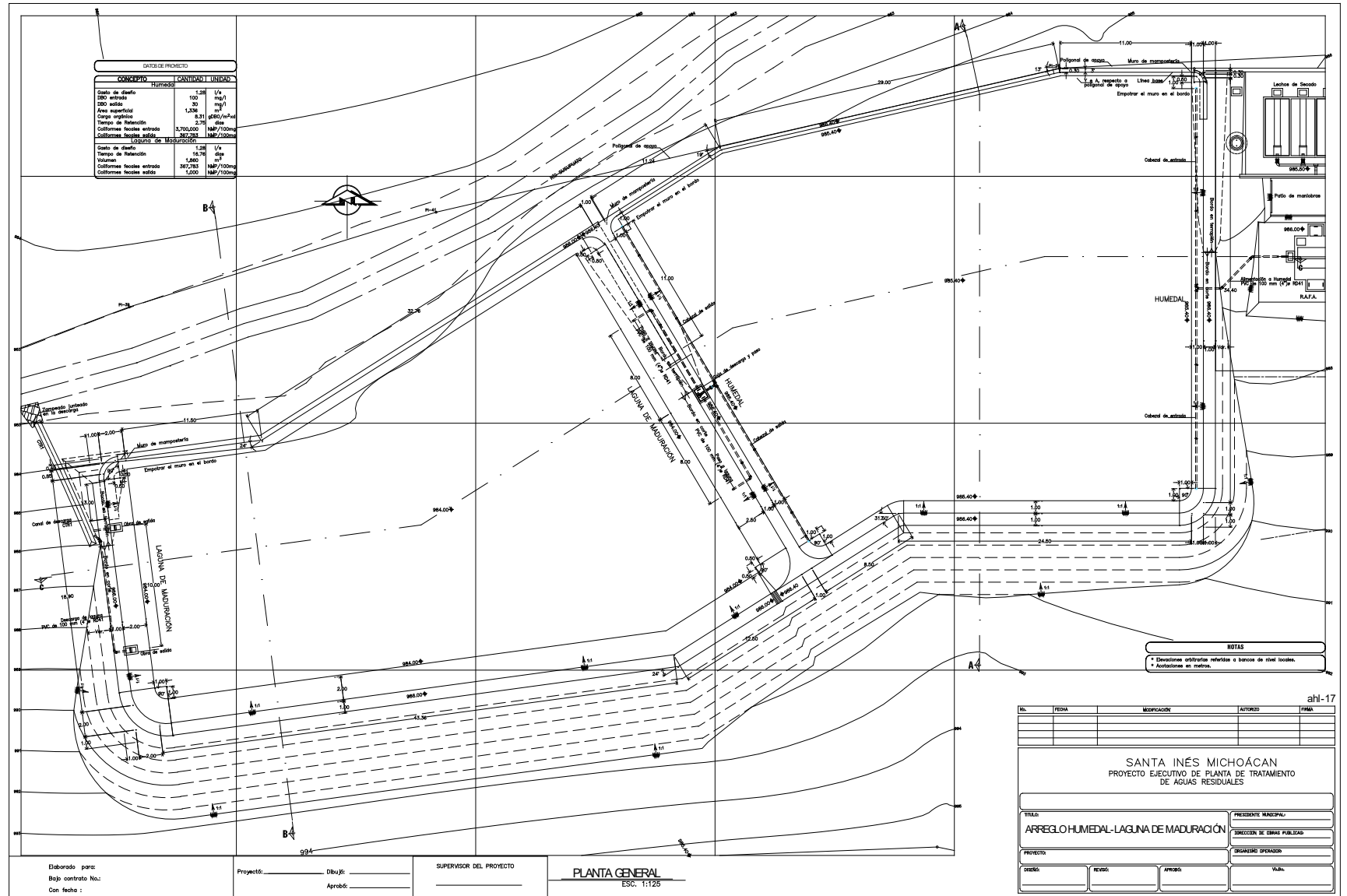
SANTA INÉS MICHOACÁN
 PROYECTO EJECUTIVO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TÍTULO			PRESENTE MUNICIPAL	
SISTEMA DE CLORACIÓN				
PROYECTO			DIRECCION DE OBRAS PUBLICAS	
DISEÑO			DIRECCION OPERACION	

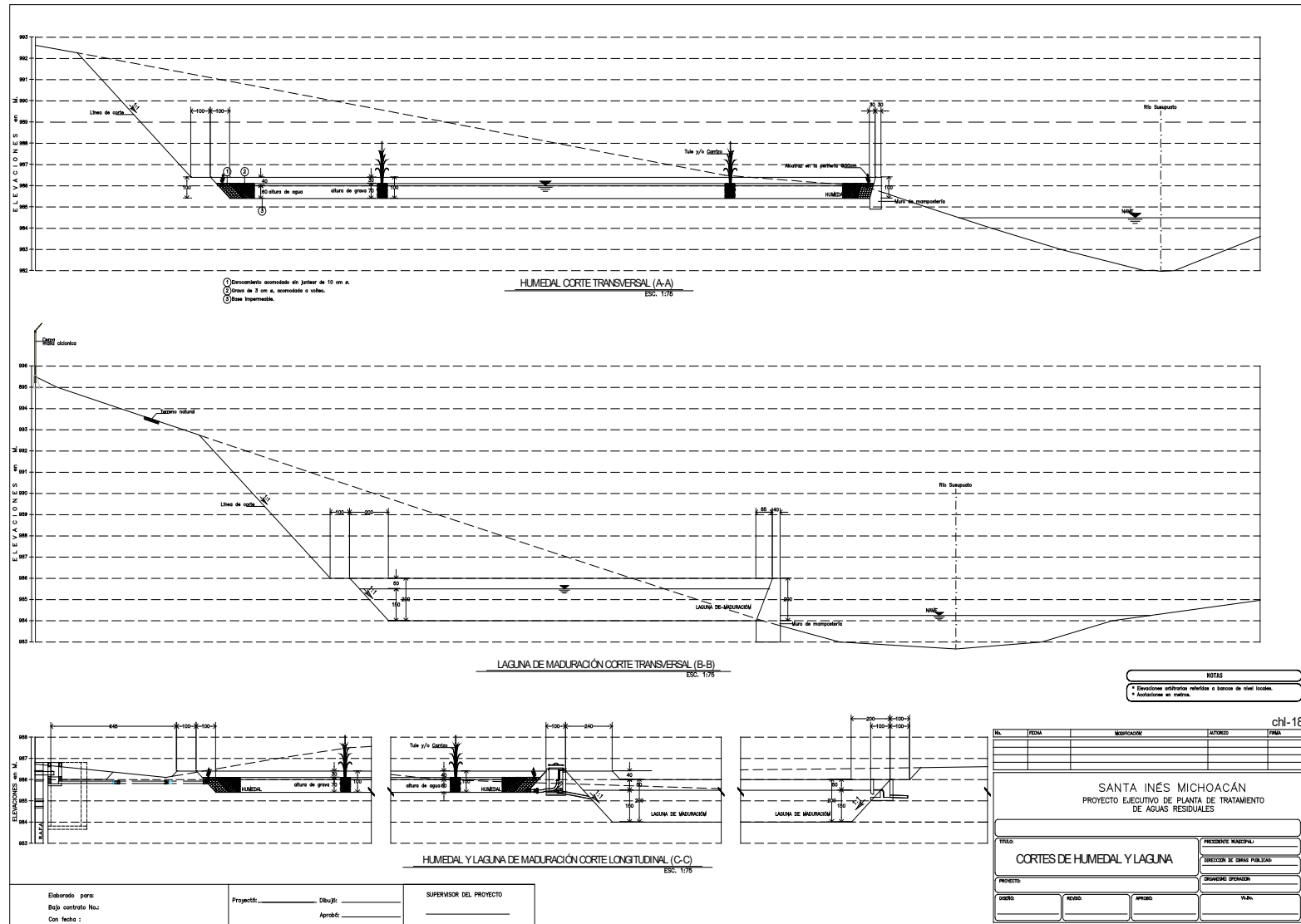
PLANOS



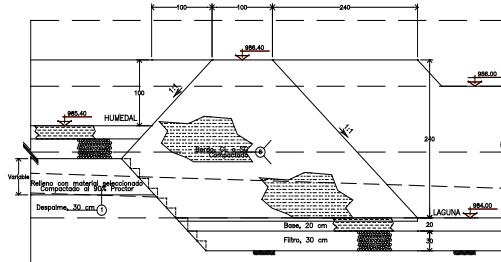
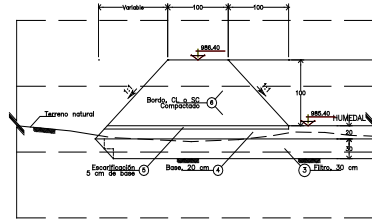
PLANOS



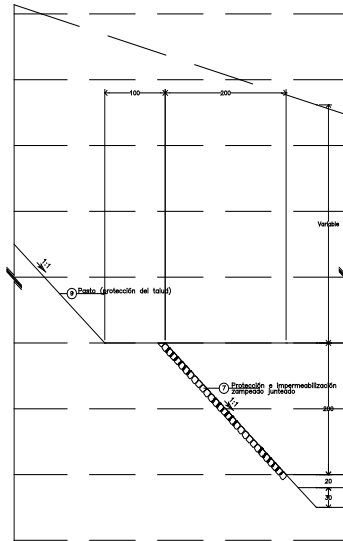
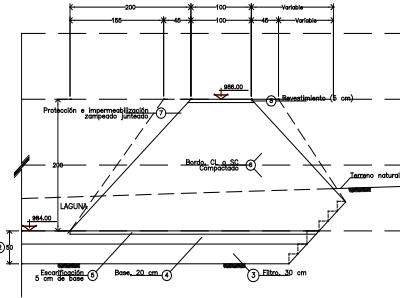
PLANOS



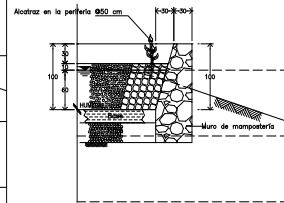
PLANOS



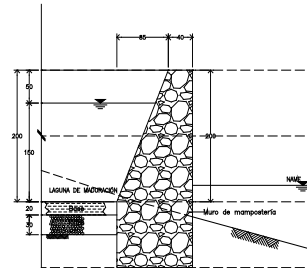
CARACTERÍSTICAS DE BORDOS DE HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN DE HUMEDAL
ESC. 1:40



HUMEDAL O LAGUNA FORMADO EN CORTE DE LADERA
ESC. 1:40



MURO DE HUMEDAL
ESC. 1:40



MURO DE LAGUNA DE MADURACIÓN
ESC. 1:40

PROCESO CONSTRUCTIVO

Las lagunas se formarán básicamente cortando el terreno natural, con muros de mampostería o por un método de taludes, formados con materiales de banco clasificados según el SUCS como CL o SC, en el fondo de las lagunas se tendrá una base de materiales aluviales.

1. FONDO DE LAS LAGUNAS Y DESPLANTE DE LOS BORDOS
1.1. Corte de base de 20 cm de espesor.
1.2. Corte de base de 30 cm de espesor.

1.3. Sobre el terreno natural compactado colocar el material de filtro en dos capas de 15 cm cada una. El material deberá estar limpio y formado con partículas que varíen de 1" a 3", el filtro se deberá acomodar con rodillo vibrante.

1.4. Sobre el filtro colocar la capa de base, que estará formada con una mezcla 85-20 en volumen de grava gruesa y fina y compactarla al 90 % de su peso volumétrico seco máximo, obteniendo el grado Proctor estándar. Para aumentar la resistencia y disminuir la permeabilidad se deberá colocar un 5% en peso de cemento (2 bolsas por m² de material).

1.5. FORMACIÓN DE ESPACIOS
Las bordas tendrán taludes 1:1, ancho de corona de 1 m y altura de 1 m y 2 m, deberá construirse con un sobrecosto mínimo de 0.40 m en ambos lados, para que al afilar los taludes el material esté debidamente compactado en toda la superficie.

1.6. Escarificar 0.05 m en la capa de base para desplantar los bordes.

1.7. Construir los bordes colocando capas de 0.20 m de espesor compactadas con un rodillo patín de cabeza hasta alcanzar el 90 % de su peso volumétrico seco máximo, obteniendo el grado Proctor estándar. Ajustar material superior a la óptima hasta un valor del 22%. Se deberá utilizar material de banco que corresponda a una clasificación de arcilla suelta o arena gruesa según el SUCS, CL o SC, este gramo con un contenido de arcilla del orden del 40 %.

1.8. Para proteger e incrementar la impermeabilidad de los taludes, sobre estos se colocará el zapicado juntado con mortero cemento-arena. 1:3. Induciendo un impermeabilizante o bien con la capa de concreto de 1.00 x 1.20 x 0.08 m, o bien con geomembrana. Todo el concreto que se utilice en las lagunas deberá contener impermeabilizante integral.

1.9. Para proteger la corona se colocará una capa final de revestimiento de 5 cm de espesor.

NOTAS

- * Desviaciones arbitrarias referidas a bancos de nivel locales.
- * Acatolaciones en metros.

mb-19

Nº.	FECHA	MODIFICACION	AUTORES	FINA

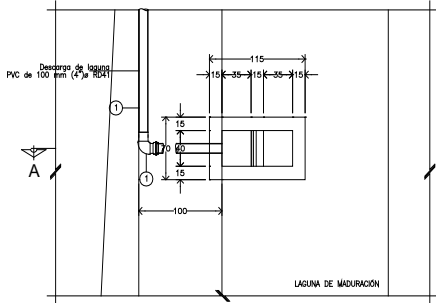
SANTA INÉS MICHOACÁN PROYECTO EJECUTIVO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TÍTULO		PRESIDENTE MUNICIPAL	
Muros y Bordes Tipo		DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS	
PROYECTO		DIRECCIÓN OPERATIVA	
USUARIO	REVISOR	APROBADO	FECHA

CANTIDADES DE OBRA		
CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
Desmonte	4,386	m ²
Desplante	1,316	m ²
Corte de terreno hasta la corona de los bordes	5,891	m ²
Excavación para formar taludes en los bordes	4,447	m ²
Capa base	498	m ²
Capa de filtro	716	m ²
Arquilla arenosa CL o arena arcillosa CS para formar los bordes	156	m ³
Revestimiento	10	m ²
Piedra para formar los muros del Humedal y la Laguna de Maduración	237	m ³
Chapa de impermeabilización (zapicado juntado)	437	m ²

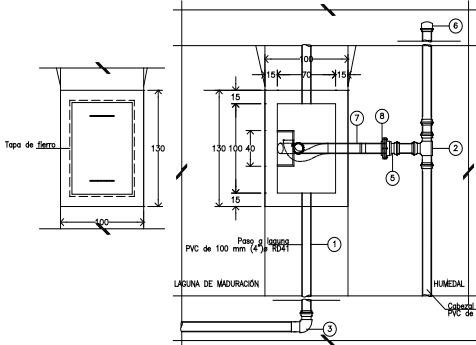
Elaborado para:	Proyecto:	Dibujó:
Bajo contrato No.:		
Con fecha:		Aprobó:

PLANOS



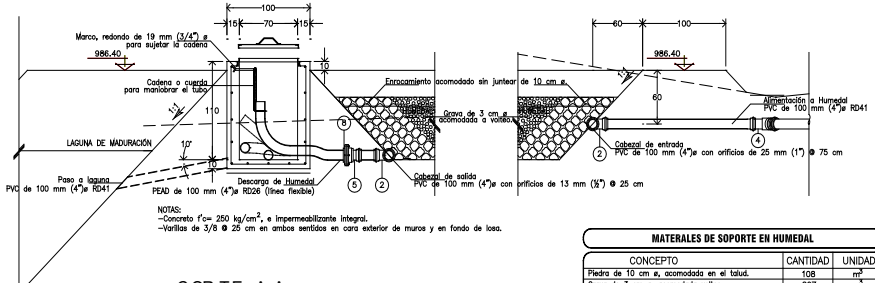
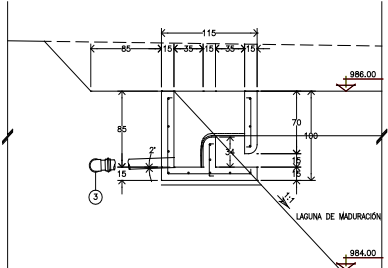
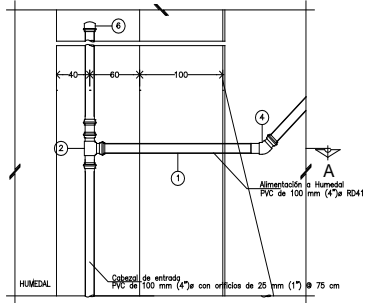
ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DE LAGUNA DE MADURACIÓN

Esc. 1:30



ALIMENTACIÓN Y DESCARGA DE HUMEDAD

Esc. 1:30



CORTE A-A

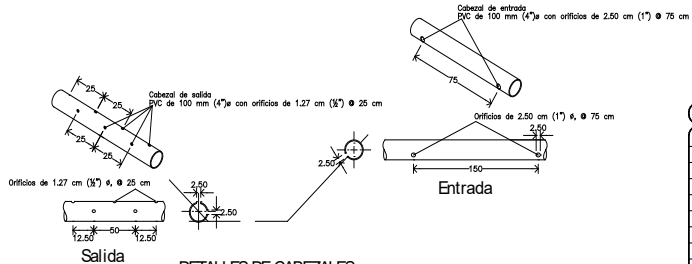
Esc. 1:30

MATERIALES DE SOPORTE EN HUMEDAD		
CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
Piedra de 10 cm s, acomodada en el talud.	108	m ³
Grava de 3 cm s, acomodada volteo.	867	m ³
Plantas emergentes (corrizo o tule).	1,339	m ²

NOTAS:

* Elevaciones arbitrarias referidas a bancos de nivel locales.
* Acotaciones en cm, según se indica.

apd-20



DETALLES DE CABEZALES

Esc. 1:3

CANTIDADES DE TUBERIA Y PIEZAS ESPECIALES			
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
(1)	Tubería de PVC de 100 mm (4"), RD41.	m	71.25
(2)	Te de PVC de 100 mm (4").	pza	2
(3)	Codo de 90° de PVC de 100 mm (4").	pza	3
(4)	Codo de 45° de PVC de 100 mm (4").	pza	3
(5)	Extremidad campana de PVC de 100 mm (4").	pza	1
(6)	Tapón campana de PVC de 100 mm (4").	pza	4
(7)	Tubería de PEAD de 100 mm (4"), RD26.	m	2.20
(8)	Brida de PEAD (tipo socket end) de 100 mm (4").	pza	1

Nº	FECHA	MODIFICACION	AUTORIZADO	FINIDA

SANTA INÉS MICHOACÁN

PROYECTO EJECUTIVO DE PLANTA DE TRATAMIENTO

DE AGUAS RESIDUALES

TÍTULO: OBRAS DE ALIMENTACIÓN, PASO Y DESCARGA		PRESIDENTE MUNICIPAL: _____
PROYECTO: _____		DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS: _____
DISEÑO: _____		ORGANISMO OPERACION: _____
REVISÓ: _____	APROBÓ: _____	V.O.B.: _____