

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



**Universidad de El Salvador**

*Hacia la libertad por la cultura*

TEMA:

“DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES, PROPUESTA PARA SU DEPURACIÓN, Y ENSAYOS DE VIABILIDAD EN DISCONTINUO PARA CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO CON AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR - FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL, FEBRERO 2014”

PRESENTAN:

LUIS EDUARDO BENÍTEZ HERNÁNDEZ	BB08004
HAROLD JOSÉ PORTILLO CORTEZ	PC08003
NOÉ ISAAC RIVERA PORTILLO	RP06015

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

FEBRERO 2014

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

# AUTORIDADES UNIVERSITARIAS UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

VICERRECTOR ACADÉMICO:

MA. Ana María Glower de Alvarado

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Lic. Salvador Castillo

SECRETARIA GENERAL:

Dra. Ana Leticia Zavaleta de Amaya

# FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO EN FUNCIONES:

Lic. Cristóbal Hernán Ríos Benítez

VICEDECANO EN FUNCIONES:

Lic. Carlos Alexander Díaz

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Jorge Alberto Ortez Hernández

# DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA:  
Ing. Luis Clayton Martínez

COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION:  
Ing. Milagro de María Romero de García

COORDINADOR DE CARRERA ING. CIVIL:  
Ing. Guillermo Moya Turcios

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO AL GRADO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES,  
PROPUESTA PARA SU DEPURACIÓN, Y ENSAYOS DE VIABILIDAD  
EN DISCONTINUO PARA CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO  
CON AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR -  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL, FEBRERO 2014”**

**PRESENTAN:**

**BENITEZ HERNANDEZ, LUIS EDUARDO  
PORTILLO CORTÉZ, HAROLD JOSÉ  
RIVERA PORTILLO, NOÉ ISAAC**

**DOCENTE DIRECTOR:**

**ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2014**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

---

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS  
Docente Director

---

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO GARCÍA  
Coordinador de Proyectos de Graduación

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

---

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO  
Docente Asesor

---

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ  
Docente Asesor

## AGRADECIMIENTOS

Es justo primeramente agradecer a Dios padre por este logro alcanzado en quien confiamos la sabiduría que ha puesto en nuestros caminos para poder concluir un paso más en el cumplimiento de este pequeña meta.

Agradecer el esfuerzo de nuestro padres, hermanos, familiares y amigos con los cuales hemos tenido un apoyo incondicional y nos ha servido de inspiración y fortaleza para seguir adelante, y persistir hasta lograr lo que tanto deseábamos hace un par de años al iniciar esta increíble carrera, muy demandante en todos los aspectos, pero por la cual se ha puesto el corazón para lograr defender nuestro ideales.

Reconocer el trabajo de los docentes abnegados que se han dedicado a formar de la mejor manera. En especial al cuerpo de docentes que le dieron la directriz a ésta tesis de grado.

Agradecer el esfuerzo brindado por la institución ANDA Región Oriental por el apoyo brindado en la investigación, en el asesoramiento y en las visitas técnicas, en especial al Ing. Hugo Santamaría y al Ing. Mauricio Quinteros.

Agradecer a los compañeros que nos acompañaron todos estos años en la conclusión de nuestra carrera, porque ellos también son parte de ella. Hubo que escalar con ellos pero por circunstancias que atañen a la vida no todos podemos concluir en un mismo tiempo, reconociendo que su participación fue de gran importancia para nuestra formación y que esperamos en un futuro cercano también sean celebres de este logro profesional.

Y por último reconocer el esfuerzo que cada uno de los miembros realizó y aportó a este trabajo de investigación.

Y sabiendo que la satisfacción más grande es realizar siempre las cosas de la mejor manera, el obrar con sensatez y humildad será nuestro deber de ahora en adelante como Ingenieros Civiles.

## DEDICATORIA

*“Dedico este sacrificio a nuestro omnipotente Padre celestial.*

*A mi mamá, por su apoyo, sus preceptos y consejos tanto en la vida personal, como en la profesional y en quien encuentro siempre esa fuente de superación y motivación.*

*A mi hermano, porque entre chistes, risas e ideas disparatadas hubieron momentos de conexión agradables.*

*A mi familia por su apoyo y creer en mi persona.*

*Por esas amistades que a pesar de la distancia y compromisos del diario vivir hemos logrado perdurar a través de los años.*

*Y por todas esas personas que indirectamente me dieron el impulso que alguna vez me hizo falta.”*

**Luis Eduardo Benítez**

## DEDICATORIA

Dedico este logro al Rey de los siglos, inmortal, invisible, al único y sabio Dios, sea honor y gloria por los siglos de los siglos. Amén. 1 Tm 1,17 (RVR 1960).

A mis padres por sus ejemplos de sabiduría y respeto a Dios, por su amor y apoyo incondicional en toda mi carrera.

A mis hermanos por su motivación, comprensión y compañerismo en momentos de alegría y tristeza.

A familiares y amigos quienes fueron de motivación y respaldo para comenzar y culminar este proceso de formación profesional.

A los docentes y compañeros que formaron parte de esta etapa de mi vida llena de retos, dificultades pero sobretodo de satisfacción y bendiciones.

Noé Rivera

# DEDICATORIA 3

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Unidades de análisis .....	20
Tabla 2 Parámetros y valores máximos permisibles para descargas a cuerpo receptor .....	36
Tabla 3 Límite de descarga de agua residual a un cuerpo receptor .....	37
Tabla 4 Unidades de gasto - Método Hunter .....	44
Tabla 5 Factores de carga - Método de raíz cuadrada .....	47
Tabla 6 Gasto por artefacto sanitario - Método del factor de simultaneidad .....	47
Tabla 7 Caudal por aparato - Método racional .....	48
Tabla 8 Descargas aproximadas para muebles sanitarios - Método británico .....	49
Tabla 9 Descargas simultáneas para muebles sanitarios .....	49
Tabla 10 Jerarquía de colectores de aguas residuales .....	51
Tabla 11 Pendientes mínimas recomendadas para alcantarillado por gravedad .....	61
Tabla 12 Resumen de baterías sanitarias y laboratorios de la UES FMO .....	88
Tabla 13 Método Hunter y Hunter Modificado .....	90
Tabla 14 Método Factor de Simultaneidad .....	92
Tabla 15 Método Racional o Español .....	94
Tabla 16 Método Británico .....	96
Tabla 17 Método de la Raíz Cuadrada o Alemán .....	98
Tabla 18 Resumen de cálculo de caudal .....	100
Tabla 19 Resultados de estudio de tráfico .....	101
Tabla 20 Estimación de población de saturación .....	102
Tabla 21 Datos de población UES FMO .....	103
Tabla 22 Promedio ponderado por cada método de análisis .....	106
Tabla 23 Cálculo de caudal mediante norma técnica ANDA, y caudales aforados .....	106
Tabla 24 Resumen– Consolidado de cálculo de caudal .....	107
Tabla 25 Matriz comparativa de las alternativas de diseño .....	113
Tabla 26 Volumen de obra .....	115
Tabla 27 Resultados de análisis hidráulico .....	116
Tabla 28 Datos de pozos de visita y perfil hidráulico .....	119
Tabla 29 Límite de contaminación permitida en afluente según NSO .....	121
Tabla 30 Consideraciones de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Centroamérica .....	123
Tabla 31 Comparativa de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Centroamérica .....	128
Tabla 32 Resultado de muestreo de aguas residuales de batería sanitaria al costado de Auditorium 1 .....	131

Tabla 33 Resultados de muestra de agua residual proveniente del área de biología .....	132
Tabla 34 Resultados de muestra de agua residual proveniente de los edificios de medicina .....	133
Tabla 35 Carga contaminante efectiva calculada en el agua residual .....	134
<b>Tabla 36 Valores de precipitación 2000-2005 Estación El Papalón, San Miguel .....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 37 Valores de humedad relativa 2000-2005 para San Miguel (Estación El Papalón) .....</b>	<b>145</b>
Tabla 38 Impactos ambientales esperados por la ejecución del proyecto.....	152
Tabla 39 Caudal Máximo para sub-cuenca con punto de interés Col. Jardines del Río y Carrillo I.....	155
Tabla 40 Alturas Reales, Críticas y Normales-Periodo de retorno: 50 años Col. Jardines del Rio.....	156
Tabla 41 Datos de diseño para el cribado y desarenador .....	160
Tabla 42 Criterios de diseño para la reja gruesa .....	160
Tabla 43 Criterios de diseño para la reja fina.....	161
Tabla 44 Resumen datos de diseño sistema de cribado .....	162
Tabla 45 Resumen datos de diseño sistema de cribado .....	164
Tabla 46 Resultados: Aplicación de la ecuación de la energía en el punto 1 y2.....	165
<b>Tabla 47 Resultados: Aplicación de la ecuación de la energía en el punto 2 y3 .....</b>	<b>165</b>
Tabla 48 Resultado: Aplicación de ecuación de energía en punto 1 y 2 al 50% de obstrucción.....	165
Tabla 49 Diseño del Canal.....	166
Tabla 50 Datos de diseño de desarenador.....	166
Tabla 51 Datos básico para diseño de UASB rectangular .....	170
<b>Tabla 52 Criterios de dimensionamiento de reactor UASB.....</b>	<b>170</b>
<b>Tabla 53 Características del reactor UASB .....</b>	<b>171</b>
Tabla 54 Criterios de diseño de entradas afluente .....	172
Tabla 55 Cantidad típica de lodos producidos por los diferentes tipos de tratamiento.....	175
Tabla 56 Parámetros de diseño del FAFA.....	180
Tabla 57 Remoción estimada de DBO del FAFA .....	181
Tabla 58 Remoción estimada de DBO del sistema completo (UASB+FAFA) .....	181
Tabla 59 Producción de lodos estimada del sistema (UASB + Sedimentador).....	182
Tabla 60 Producción de biogás estimada para el reactor UASB.....	182
Tabla 61 Valores típicos de diseño de torre de aireación .....	244
Tabla 62 Valores típicos de diseño para filtros de carbón activado .....	245
Tabla 63 Tiempo mínimo requerido en alcanzar 15 g DQO L-1 D-1 (CONCENTRACIÓN INICIAL 10g SSV L-1)..	268
Tabla 64 Resumen: Cantidad de estiércol vacuno generado en el campo experimental de agronomía.....	276
Tabla 65 Proporciones de mezcla utilizadas para los diferentes ensayos .....	276
Tabla 66 Valores de porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles [Olaya 2006] .....	277

Tabla 67 Producción acumulada de biogás para codigestión Estiércol + Agua Residual .....	279
Tabla 68 Producción acumulada de biogás para codigestión de Estiércol + Agua Potable .....	281
Tabla 69 Caracterización de los ensayos.....	286
Tabla 70 Resumen de cálculos de rendimiento de los ensayos realizados .....	287

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Relación entre número de Reynolds y coeficiente de arrastre .....	65
Gráfica 2 Velocidad de sedimentación de partículas esféricas discretas .....	66
Gráfica 3 Datos de población UES FMO .....	104
Gráfica 4 Extrapolación de datos de población UES FMO .....	105
Gráfica 5 Concentración y porcentaje de saturación del oxígeno en relación a la temperatura (1 atm) .....	122
Gráfica 6 Variación horaria típica del caudal y concentración del agua residual de origen doméstico .....	130
Gráfica 7 Índice de Calidad de Agua en puntos de control en Río Grande (San Miguel) 2003-2004 .....	146
Gráfica 8 Eficiencia de remoción y tiempos de retención hidráulico .....	173
Gráfica 9 Sustancias utilizadas en las prácticas de laboratorio .....	242
Gráfica 10 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Residual (Reactores R1, R2 y R4) .....	280
Gráfica 11 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Residual (Reactor R3) .....	280
Gráfica 12 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Potable (Reactor R1) .....	282
Gráfica 13 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Potable (Reactores R2, R3 y R4) .....	282
Gráfica 14 Producción de biogás por unidad de Sólido Volátil (SV) introducido .....	284
Gráfica 15 Producción de biogás por unidad de SV introducido. R1, R2 y R4 .....	285
Gráfica 16 Comparación: Producción de biogás. Digestión Estiércol+AR/Estiércol+AP (Reactor R3).....	289

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Esquema de ubicación de las fosas sépticas (30/05/2013) .....	5
Imagen 2 Descarga de los cafetines al lado de zona de estudio, aulas de economía (30/5/2013) .....	8
Imagen 3 Vista satelital de los edificios de medicina y su punto de descarga de aguas residuales .....	9
Imagen 4 Descarga de los laboratorios de medicina sobre quebrada (30/05/2013) .....	10
Imagen 5 Montículo de estiércol de ganado recolectado (30/05/2013) .....	11
Imagen 6 Pozo de absorción de café ubicado al costado sur de edificio de medicina (03/05/2013) .....	13
Imagen 7 Restos de fosa séptica al costado poniente del departamento de biología (03/05/2013) .....	14
Imagen 8 Curva de demanda - Hunter Modificado .....	45
Imagen 9 Curva de demanda - Hunter Modificado .....	45
Imagen 10 Detalle de conexiones domiciliarias .....	52
Imagen 11 Red de colectores. Nomenclatura de alcantarillado .....	53
Imagen 12 Detalle de pozo de visita común .....	54
Imagen 13 Detalle de pozo de visita con caja de sostén .....	54
Imagen 14 Formación de sulfuro de hidrógeno y corrosión de la corona en las alcantarillas .....	58
Imagen 15 Canal de rejillas con bypass .....	64
Imagen 16 Esquema general de tanque sedimentador .....	67
Imagen 17 Sedimentador de flujo vertical .....	68
Imagen 18 Esquema de un clarificador .....	70
Imagen 19 Instalación de un clarificador .....	70
Imagen 20 Bandejas de sedimentación .....	71
Imagen 21 Sedimentador de placas inclinadas .....	72
Imagen 22 Tanque de aireación de lodos activados .....	73
Imagen 23 Filtro biológico de medio filtrante rocoso .....	74
Imagen 24 Filtro biológico con medio filtrante sintético .....	75
Imagen 25 Alternativa 1 - Trazo de red de AR .....	110
Imagen 26 Alternativa 2 - Trazo de red de AR .....	111
Imagen 27 Alternativa 3 - Trazo de red de AR .....	112
Imagen 28 Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Maps .....	136
Imagen 29 Ubicación geográfica del proyecto .....	137
Imagen 30 Terreno en donde se ubicará la PTAR .....	137
Imagen 31 Formaciones geológicas del municipio de San Miguel .....	139
Imagen 32 Tipos de suelo para el municipio de San Miguel .....	143

Imagen 33 Esquema de colindancia de Inmueble con quebradas y río .....	154
Imagen 34 Zona de inundación: Periodos de retorno de 10, 25,50 años (Colonia Jardines del Rio) .....	157
Imagen 35 Río Grande en punto de colindancia con inmueble UES (03/12/2013).....	158
Imagen 36 Análisis de sección transversal del flujo sobre tubería.....	161
Imagen 37 Sección transversal de canal de criba (gruesa + fina).....	162
Imagen 38 Sección transversal de canal de criba (solo fina).....	163
Imagen 39 Colocación de la caja de distribución .....	249
Imagen 40 Ejemplo de campanas abiertas y cerradas .....	250
Imagen 41 Dos sistemas para el muestreo y la purga de lodos de un reactor UASB .....	251
Imagen 42 Montaje del primer ensayo.....	274
Imagen 43 Montaje del segundo ensayo.....	274
Imagen 44 Descripción de los componentes de los ensayos de viabilidad .....	275

## Contenido

<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	7
1.3. Enunciado del problema.....	12
1.4. Justificación .....	13
1.5. Objetivos .....	16
1.6. Delimitación del tema .....	17
1.7. Metodología de la investigación.....	19
<b>CAPÍTULO 2 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>24</b>
2.1. Marco referencial .....	25
2.1.1. Visión actual del saneamiento en El Salvador.....	25
2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL EN LA UES-FMO.....	30
2.2. Marco normativo.....	30
2.2.1. Aspectos reglamentarios y normativa de El Salvador .....	30
2.2.2. Ley del medio ambiente (año 1998, última revisión 11/10/2012) .....	34
2.2.3. Norma salvadoreña. (CONACYT). NSO 13.07.03:02.....	35
2.2.4. Marco normativo centroamericano .....	37
2.3. Marco teórico básico .....	40
2.3.1 Métodos para la determinación del caudal de diseño.....	40
2.3.2 Métodos probabilísticos.....	42
2.3.3 Métodos semi-empíricos.....	46
2.3.4 Métodos empíricos.....	48
2.3.5 Diseño de alcantarillado sanitario.....	50

2.3.6	Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.....	62
2.3.7	Tratamiento preliminar .....	62
2.3.8	Tratamiento primario.....	67
2.3.9	Tratamiento secundario .....	72
2.3.10	Tratamiento terciario.....	81
<b>CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCION DE AGUAS RESIDUALES .....</b>		<b>84</b>
3.1.	Determinación de caudal de aguas residuales.....	85
3.1.1	Análisis de la población objetivo.....	85
3.1.2	Caudal de diseño .....	87
3.2.	Criterios de diseño para sistema de conducción.....	109
3.3.	Evaluación de alternativas .....	110
<b>CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b>		<b>120</b>
4.1	Selección de tecnología de tratamiento: agua residual de tipo doméstico .....	121
4.1.1	Criterios para la selección de los procesos unitarios .....	121
4.2	Características del agua residual .....	129
4.3	Investigación de parámetros medioambientales de la zona.....	135
4.4	Evaluación preliminar de los Impactos ambientales.....	135
4.4.1	Descripción general .....	135
4.4.2	Objetivos del proyecto .....	136
4.4.3	Justificación del proyecto .....	136
4.4.4	Ubicación geográfica.....	136
4.4.5	Construcción.....	138
4.4.6	Población cubierta por el proyecto.....	138
4.4.7	Sitios de tratamiento y/o descarga final .....	138

4.4.8	Funcionamiento .....	138
4.4.9	Mantenimiento .....	138
4.4.10	Medio ambiente físico .....	139
4.4.11	Calidad del cuerpo receptor.....	145
4.4.12	Medio ambiente biológico.....	148
4.4.13	Medio socioeconómico .....	148
4.4.14	Legislación y normas.....	149
4.4.15	Identificación y evaluación de impactos .....	150
4.4.16	Medidas de Prevención, Corrección, Control y/o Compensación .....	152
4.5.	Amenaza de inundación del sitio proyectado para el sistema de tratamiento .....	153
4.6.	Diseño hidráulico: Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	160
4.6.1	Diseño hidráulico de la criba .....	160
4.6.2	Diseño hidráulico del desarenador .....	166
4.6.3	Diseño del reactor UASB.....	170
4.6.4	Diseño del clarificador (Sedimentador) .....	174
4.6.5	Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	180
4.6.6	Diseño de los patios de secado .....	182
4.7.	Diseño estructural: Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	183
4.7.1	Diseño estructural de la criba.....	183
4.7.2	Diseño estructural del desarenador .....	197
4.7.3	Diseño estructural del reactor UASB.....	210
4.7.4	Diseño estructural del sedimentador .....	223
4.7.5	Diseño estructural del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	230
4.7.	Propuesta de evaluación para tratar agua residual del laboratorio de química .....	242

4.8	Operación y mantenimiento: Reactor UASB .....	246
4.9	Arranque del reactor UASB.....	258
<b>CAPITULO 5 ENSAYOS DE VIABILIDAD EN DISCONTINUO PARA CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO CON AGUAS RESIDUALES.....</b>		
		<b>269</b>
5.1	Codigestión de residuos orgánicos.....	270
5.2	Metodología a utilizar para realizar estudios de viabilidad. ....	270
5.3	Objetivos particulares y metodología general de los ensayos en discontinuo. ....	272
5.4	Materiales y métodos .....	272
5.4.1	Diseño experimental y procedimientos .....	272
5.4.2	Diseño de los ensayos.....	275
5.4.3	Codigestión de Estiércol y agua potable. ....	277
5.4.4	Métodos analíticos .....	277
5.4.5	Rendimiento biológico de los ensayos .....	277
5.5	Calculo de índices de producción de biogás.....	283
5.6	Producción de biogás por unidad de SV alimentado .....	284
5.7	Determinación de los parámetros de rendimiento .....	286
5.8	Resultados y discusión .....	288
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		
		<b>290</b>
6.1	Conclusiones.....	291
6.2	Recomendaciones .....	293
	Bibliografía .....	294
	<b>Anexos A.....</b>	<b>297</b>
	<b>Anexos B.....</b>	<b>297</b>
	<b>Anexos C.....</b>	<b>297</b>

**Anexos D .....297**  
**Anexos E.....297**

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

## 1.1. Antecedentes

A inicios del siglo presente, las aguas residuales de la mayoría de las comunidades se vertían directamente a ríos y corrientes mediante alcantarillado unitario. La acumulación de fangos y el desarrollo de olores y condiciones desagradables surgieron como consecuencia de esta práctica. Para solventar estos problemas se introdujo la evacuación separada de las aguas residuales y de las aguas pluviales, y el tratamiento de las aguas residuales.<sup>1</sup>

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos señaló en un estudio de evaluación de los recursos de agua en El Salvador (1998) que debido al estado de contaminación del agua superficial, el abastecimiento de agua se basa en gran manera del agua subterránea. Suficiente abastecimiento de agua subterránea dulce está disponible en la mayor parte del país. Sin embargo, muchos acuíferos de poca profundidad están siendo contaminados debido a la contaminación de la superficie, mientras que las vertientes y pozos dependen de estos para proveer de agua potable.

Además este estudio recomendó que programas nacionales a largo plazo para la construcción de plantas de tratamiento de aguas negras, para eliminar la continua descarga de desperdicios en las aguas nacionales, ayudaran a reducir la cantidad de desperdicios químicos y biológicos que contaminan los ríos, las reservas y aguas subterráneas.

La Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental, ha construido varias obras para el manejo de aguas residuales internas consistentes en fosas sépticas y pozos de absorción; pero debido al crecimiento de la población universitaria y del crecimiento de la infraestructura de la facultad ha tenido que incrementar la capacidad de éstas. El desarrollo de estas obras se ha presentado para satisfacer la demanda de instalaciones sanitarias, sin embargo no forman parte de un plan de desarrollo físico. De estos sistemas de tratamiento de aguas residuales, considerados actualmente como precarios, varios han quedado inutilizables debido a su baja capacidad para tratar las aguas residuales de la facultad.

---

<sup>1</sup> (Metcalf & Eddy, 2008)

A continuación se detalla la infraestructura sanitaria con la que se cuenta en la Facultad Multidisciplinaria Oriental, para los diferentes edificios y actividades que se llevan a cabo.

#### Edificio de la biblioteca

Este sistema está constituido por una fosa y un filtro biológico, la cual se ubica al Oriente del edificio de la biblioteca y sus dimensiones son (2.35 x 7.2) m. Las aguas que son tratadas en este sistema se descargan en una quebrada ubicada al costado de la carretera litoral.<sup>2</sup>

#### Cafetines Ubicados sobre el acceso principal y costado Norte del Auditorio

Las aguas producidas en las actividades propias de los cafetines, son conducidas por medio de una tubería de PVC y se realiza su disposición final de manera superficial al costado Norte de los cafetines y al costado Poniente del área de estudio de Ciencias Económicas. Se pueden observar trampas de grasa destruidas y canaletas que están fuera de uso; lo cual formó parte del sistema anterior para el manejo de aguas residuales.

#### Sanitarios Ubicados al costado Norte y Sur del auditorio

En el entorno de estos sanitarios se presenta una alta concentración de la población estudiantil, por lo que se considera que son las instalaciones de mayor producción de aguas residuales. Estas aguas son conducidas hasta una fosa ubicada al costado Oriente del primer parqueo que se encuentra en la entrada principal la facultad.

#### Edificios y laboratorios de Química

Fosa séptica ubicada al costado Sur de los laboratorios de química.

#### Edificios y laboratorios de Biología y Edificio El Riñón

Actualmente se cuenta con una fosa séptica ubicada al costado Sur de los edificios de Biología y en ellas se depositan las aguas producidas en los edificios y laboratorios de la sección de biología, así como las provenientes del edificio El Riñón.

---

<sup>2</sup> (Fuentes, Merlos, & Paniagua, 2009)

### Cafetines Ubicados al costado Sur de edificios del departamento de Medicina

Se cuenta con una trampa grasas y un pozo de absorción, ambos ubicados al costado Poniente de los cafetines y al costado Sur del edificio I del departamento de Medicina.

### Edificios del departamento de Medicina

Las aguas producidas en las actividades de tipo doméstico y en los laboratorios del departamento de Medicina, son conducidas hasta un sistema de fosa y filtro biológico que se encuentra al costado Sur del edificio II de medicina, seguidamente se conducen hasta su punto de descarga en una quebrada del campo experimental de agronomía. Esta quebrada conduce las aguas hasta descargarlas en río El Jute.

### Sanitarios del departamento de Ciencias Agronómicas

Este sistema está constituido por una fosa séptica que se ubica al costado Norte de las aulas del departamento de Ciencias Agronómicas, en la cual se almacenan los sólidos y posteriormente el agua es dispuesta superficialmente al costado Oriente de la fosa, en el campo experimental del mismo departamento.

A continuación se presenta un croquis con la ubicación de las fosas sépticas existentes.

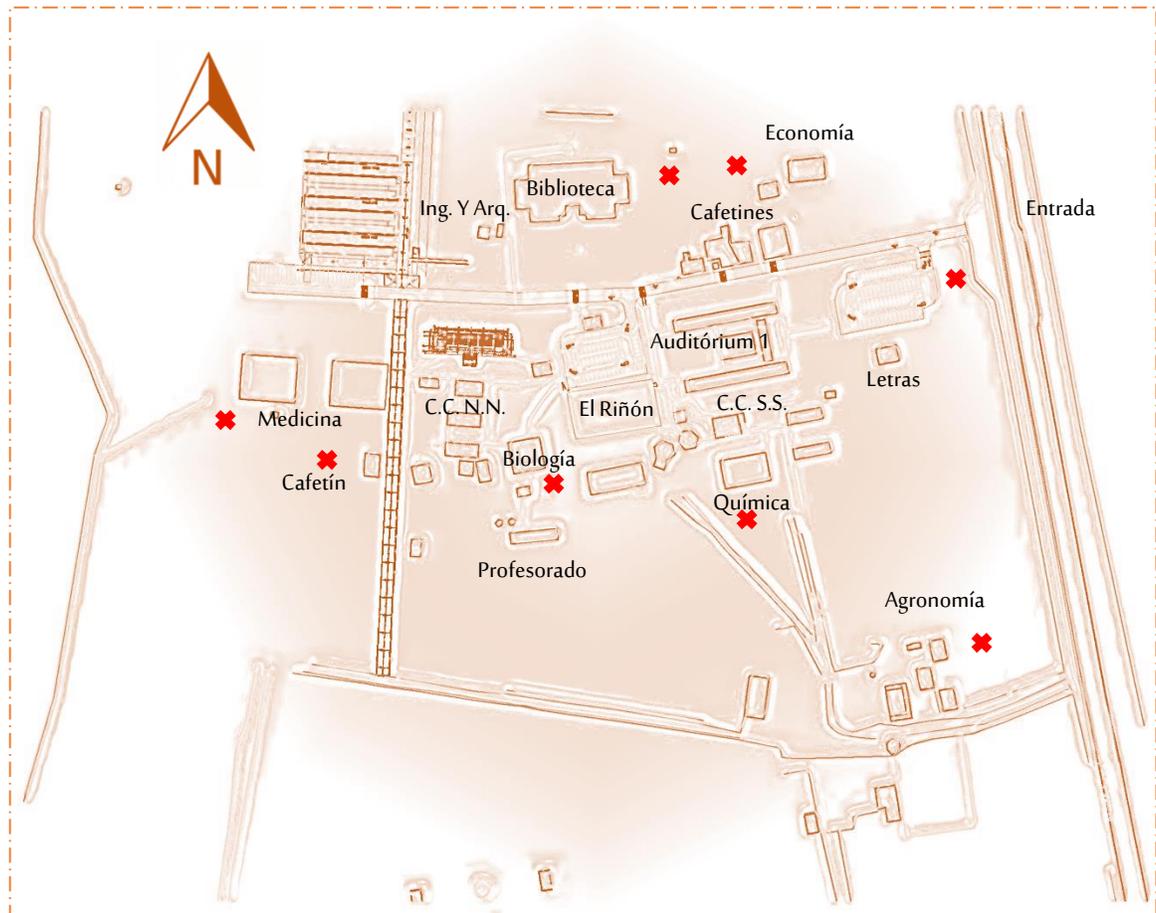


Imagen 1 Esquema de ubicación de las fosas sépticas (30/05/2013)

Se han desarrollado trabajos de grado de la carrera de Ingeniería Civil con el interés de diseñar una red de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento para las aguas residuales producidas en las instalaciones de la facultad, los cuales buscan satisfacer las necesidades sanitarias, medioambientales y de desarrollo físico de la universidad.

Uno de los trabajos de graduación de los que se hace mención se nombra *“Propuesta para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la facultad multidisciplinaria de oriente de la universidad de el salvador”*, presentado en el año 2003 y posteriormente en el año 2009, se presentó el trabajo de graduación *“Propuesta para el tratamiento de las aguas residuales de la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de el salvador”*.

Por otro lado, el manejo de los residuos ganaderos generados en el campo experimental de agronomía se desarrolla sin seguir un plan o lineamiento que forme parte de un estudio adecuado de estos residuos y del volumen de producción generado.

Como parte del manejo de residuos ganaderos que actualmente se lleva a cabo, es posible distinguir las actividades siguientes:

*Las deyecciones de ganado vacuno se recogen al costado Poniente de los corrales de ordeño, posteriormente son distribuidas en el campo experimental de agronomía, con el fin de utilizarlo como fertilizante y para aumentar la materia orgánica de los suelos en los que se desarrollan actividades agrícolas. En el caso de las deyecciones de ganado porcino, se disponen al costado Sur de los corrales de engorde.*

*Los residuos líquidos que forman parte de las actividades de limpieza son conducidos por canaletas hasta puntos de disposición final en la superficie de terrenos aledaños.*

La necesidad de una infraestructura sanitaria adecuada para la Facultad Multidisciplinaria Oriental es de carácter urgente, y más aún, cuando se carece de un plan de desarrollo físico que satisfaga el incremento de la población universitaria.

El presente trabajo forma parte de un proceso de investigación continuo, por tanto se estudiarán las propuestas precedentes, con lo cual se propondrá un diseño que tome en cuenta a la mayoría de factores que afectan al proceso de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico, además se evaluará un sistema de tratamiento biológico para las deyecciones ganaderas que se originan en el campo experimental del departamento de Ciencias Agronómicas.

## 1.2. Planteamiento del problema

Actualmente existe una población universitaria de 7,289 personas, entre ellos se encuentran estudiantes, docentes, personal administrativo y de mantenimiento.

Desde el inicio de las actividades educativas de la Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental hasta la fecha se ha experimentado un crecimiento que se puede caracterizar por un aumento constante de la demanda, aunque según los registros para el año de 1,998 hubo un alza que sobresalía sobre la curva de crecimiento normal de la población estudiantil, considerando este dato como un evento aislado debido a causas externas, y por lo que dentro de 20 años no se descarta que la población supere las 12,000 personas, demandando con ello instalaciones físicas que satisfagan dicho aumento. Esto provoca simultáneamente un alza en la producción de aguas residuales y desechos sólidos.

Estos procesos son normales en toda actividad humana, más sin embargo, deben de ir acompañados de un plan de desarrollo físico; lo que implica el acceso a los servicios básicos; uno de los cuales es la red de alcantarillado sanitario. Es en ésta etapa en que la Facultad Multidisciplinaria Oriental presenta uno de sus mayores inconvenientes, ya que la inexistencia de una red de alcantarillado sanitario ha provocado una evolución desordenada de la infraestructura y de los sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales.

Las instalaciones para coleccionar las aguas residuales generadas, no forman parte de un sistema de alcantarillado sanitario centralizado, y en la mayoría de los casos los colectores hacen sus descargas superficialmente en el suelo y en puntos cercanos a los edificios. Las descargas de este tipo, generan problemas ambientales como la emanación de olores desagradables, los que en ocasiones afectan distintas actividades que se desarrollan en este centro de estudios.

La imagen No 2 muestra un punto de descarga de aguas residuales provenientes de los cafetines ubicados al costado Norte del auditorio N° 1, y su cercanía con un área de estudio para la población universitaria.



Imagen 2 Descarga de los cafetines al lado de zona de estudio, aulas de economía (30/5/2013)

El tratamiento de las aguas residuales que se generan, se realiza de manera individual (fosa-pozo de absorción) cerca de los edificios y en la mayoría de los casos, estos tratamientos han excedido su capacidad o han dejado de funcionar. Las razones son variadas y las alternativas que hasta este momento se han desarrollado son de carácter paliativo y temporal.

Las actividades de laboratorios, producen aguas residuales de tipo especial, debido a que se utilizan gran variedad de reactivos o sustancias químicas, que entran en contacto con el agua y propician una mayor contaminación, esto ocurre debido a que no existe un sistema de tratamiento adecuado para la misma.

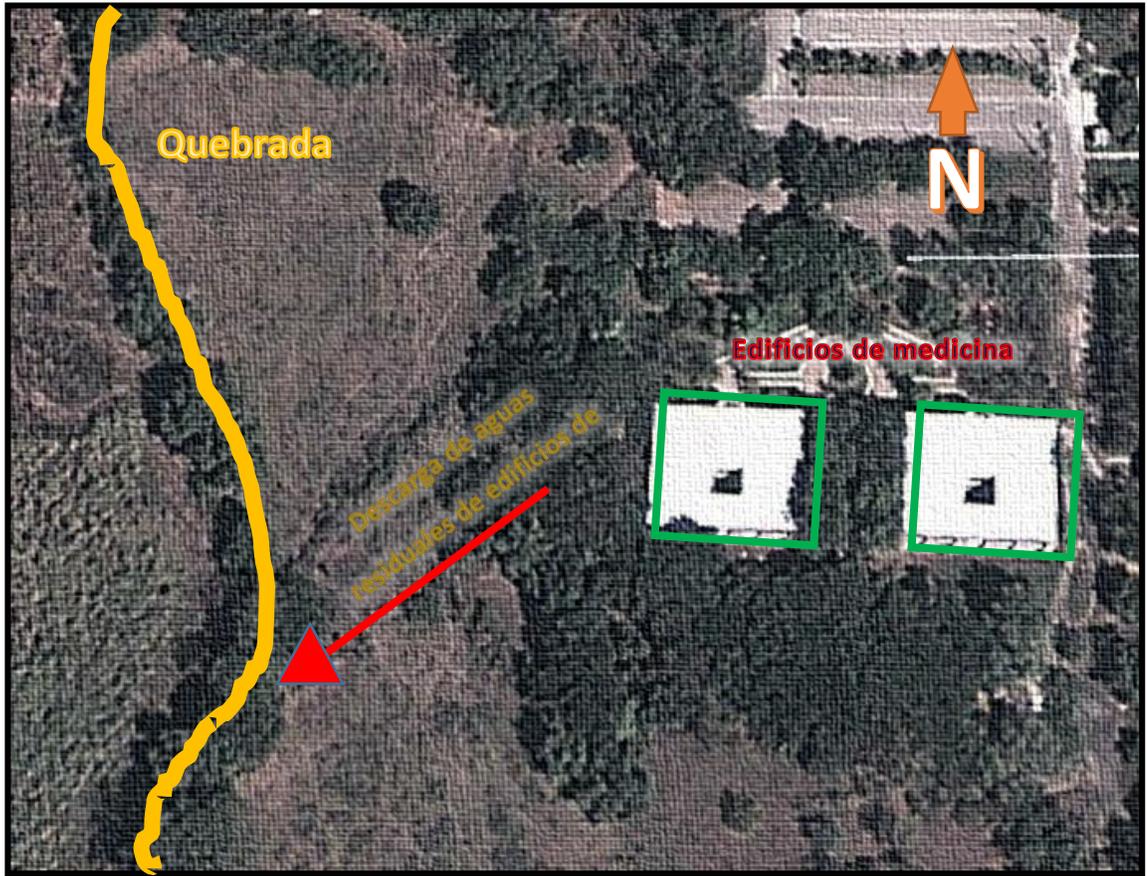


Imagen 3 Vista satelital de los edificios de medicina y su punto de descarga de aguas residuales



Imagen 4 Descarga de los laboratorios de medicina sobre quebrada (30/05/2013)

Por otra parte, el manejo de los residuos de origen ganadero en el campo experimental de Ciencias Agronómicas no forma parte de un plan adecuado a las características de los residuos producidos ni de su posible aprovechamiento. Para este tipo de residuos no se presenta tratamiento alguno con el cual se pueda proponer un proceso de disposición final que no contamine al medio.



Imagen 5 Montículo de estiércol de ganado recolectado (30/05/2013)

### 1.3. Enunciado del problema

¿Cuáles serán las características de diseño apropiadas para el sistema de conducción de aguas residuales para la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental?

¿Cuál será el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico más adecuado para la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental; y que componentes formarán parte de éste sistema?

¿Cuál será la eficiencia, a partir de ensayos de laboratorio, de la implementación de un sistema de tratamiento biológico para el tratamiento de residuos ganaderos procedentes del sector de agronomía para la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental?

## 1.4. Justificación

La Universidad de El Salvador por ser una institución que promueve la investigación y que tiene compromisos medioambientales debe estar encaminada a un desarrollo físico que incluyan buenas prácticas de saneamiento.

El tratamiento adecuado de las aguas residuales garantizará que su deposición en un cuerpo receptor o su reutilización se realice de forma segura para evitar el deterioro de los recursos naturales y la proliferación de enfermedades de origen hídrico, manteniendo un ambiente más saludable dentro de la facultad, eliminando las variaciones químico-biológicas perjudiciales al ecosistema, y garantizando un ambiente libre de malos olores y de vectores.

La siguiente fotografía muestra la precariedad de los sistemas existentes, encontrándose estos a su máxima capacidad.



Imagen 6 Pozo de absorción de cafetín ubicado al costado sur de edificio de medicina (03/05/2013)

Un sistema de conducción y de tratamiento de aguas residuales es de suma importancia en estos momentos ya que aguas crudas de los cafetines son descargadas en la cercanía de aulas de estudio

que provocan malestar a la población estudiantil; se descargan aguas de los laboratorios de medicina con alto contenido de químicos sobre las quebradas, en las cuales se pudo observar que especies de ganado utilizan el efluente para beber; las fosas sépticas en cualquier momento van a colapsar y va a ser necesario la construcción de otros receptores de aguas negras; los suelos y posiblemente el manto freático ya no podrán controlar las variaciones en su composición debido a los altos volúmenes de deyecciones ganaderas y a las aguas residuales descargadas sobre los suelos, por lo que podrían tenerse suelos infértiles y aguas de deplorable calidad.



Imagen 7 Restos de fosa séptica al costado poniente del departamento de biología (03/05/2013)

La importancia de este estudio radica en la necesidad de crear un sistema único que recolecte las aguas residuales de tipo doméstico y las conduzca a un posterior tratamiento para evitar de esta manera las repercusiones en el bienestar de la población universitaria y en el medio natural.

La relevancia del tratamiento de aguas residuales va más allá del mal estar que pueda estar ocasionando el sistema actual de disposición de aguas residuales a la comunidad universitaria, sino que es vital para el desarrollo sostenible del medioambiente, la sociedad y cualquier actividad

que se lleve a cabo en el interior y en las afueras de la universidad. Los beneficios de un sistema de tratamiento de aguas residuales no se limitan tan solo al lugar de donde provienen las aguas a tratar sino que se extienden a una región mayor donde las aguas residuales tratadas son descargadas o reutilizadas.

El tratamiento de las aguas residuales que se producen en la UES-FMO debe de iniciarse lo más pronto posible ya que a diario se contamina el suelo, cuerpos receptores de agua y en general el medio ambiente que rodea las instalaciones de este centro de estudios.

Los aportes académicos de este proyecto se enfocan a que la comunidad universitaria pueda tener una oportunidad de desarrollar investigaciones sobre las características, comportamiento y tratamiento de aguas residuales al poseer un sistema para el tratamiento de las mismas dentro de la Universidad. Este documento estará disponible al público en general y por lo tanto será de utilidad para estudiantes de otras instituciones que pretendan conocer sobre las aguas residuales de tipo doméstico y además conocer un caso práctico donde se aplican criterios, normativas, conocimientos, etc., que tienen relación con el tema.

## 1.5. Objetivos

### **Objetivo General**

Diseño del sistema de conducción de aguas residuales, elaboración de propuesta para su depuración, y determinación de índices de rendimiento para la codigestión de estiércol bovino con aguas residuales mediante ensayos de viabilidad en discontinuo, todos estos desechos generados en las actividades de la Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental.

### **Objetivos Específicos**

Diseño del sistema de conducción de aguas residuales, para un periodo de 22 años, en función de las expectativas de desarrollo físico de la Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de tipo doméstico, para un periodo de 22 años, para la Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Elaboración de ensayos de viabilidad en discontinuo utilizando como sustratos aguas residuales de origen doméstico y el estiércol de origen vacuno y porcino generado en el campo experimental de agronomía de la Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Elaboración de la evaluación preliminar del impacto ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental.

## 1.6. Delimitación del tema

### **Alcances/Metas**

Elaborar el diseño hidráulico y los planos para el sistema de conducción de aguas residuales para la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Elaborar el diseño hidráulico, estructural y los planos para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico para la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Determinar índices de rendimiento y potencial de producción de biogás de la codigestión de aguas residuales de tipo doméstico con estiércol de origen vacuno y porcino generado en el campo experimental de agronomía de la Universidad de El Salvador - Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Presentar un reporte que contenga la evaluación preliminar del impacto ambiental que genera el proyecto en la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental.

## **Limitaciones**

Las aguas generadas por los laboratorios de química, biología y medicina, por ser vertidos de origen industrial (alta concentración de químicos), se excluyeron del sistema de tratamiento de aguas domésticas.

El número de ensayos de calidad de agua se limitó al muestreo de 3 puntos representativos, por un total de 3 pruebas.

Los resultados de ensayos de laboratorio se limitaron a la precisión de las herramientas y equipos utilizados.

La determinación de algunos parámetros en los ensayos de viabilidad se hizo de forma teórica, calculándolos en base a resultados de investigaciones similares.

La discusión de resultados de los ensayos de viabilidad se limitó a la comparación de los resultados obtenidos con los obtenidos en investigaciones equivalentes.

## 1.7. Metodología de la investigación

### **Tipo de investigación:**

*Investigación descriptiva; Investigación aplicada (de campo)*

Es descriptiva porque consiste en realizar un esquema específico de las condiciones ambientales actuales en cuanto al manejo de las aguas residuales provenientes del recinto universitario, y también relaciona un conjunto de variables para el diagnóstico de la problemática.

Es aplicada porque trata de resolver la problemática de la contaminación de las aguas residuales a través de la aplicación del conocimiento en el diseño de una solución.

Y es de campo porque el diagnóstico de las instalaciones sanitarias actuales, el estudio de las aguas residuales, los ensayos de viabilidad y el estudio de las condiciones físicas del sitio se desarrollan mediante la experimentación y reconocimiento visual de la problemática.

### **Unidad de análisis**

Son objeto de estudio las aguas residuales de tipo doméstico que se originan en la UES-FMO, la población de la UES-FMO, la ubicación y las condiciones ambientales del sitio donde se proyecta el sistema de conducción y de tratamiento de aguas residuales, el relieve de la zona de estudio, el estiércol bovino generado en el campo experimental de agronomía. Las variables, sus definiciones y su forma de medición se resumen en la tabla 1.

Tabla 1 Unidades de análisis

No	Objeto de estudio	Variable	Unidad	Definición	Medición
1	Aguas Residuales	Caudal de aguas residuales	m <sup>3</sup> /s	Volumen total de aguas residuales generado en las instalaciones la UES-FMO	Métodos estadísticos, aforos, Norma Técnica ANDA
		Calidad del agua residual	Unidades de concentración	Evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual.	Temperatura, SST, Sólidos sedimentables, Turbidez, Aceites y grasas, DQO, DBO, pH, Coliformes fecales
2	Población estudiantil	Curva de crecimiento de la población universitaria	# de asistentes a la UES FMO	Estudio del comportamiento de la demanda de estudiantes de la UES FMO	Métodos estadísticos
		Estudio de tráfico	%máx. de personas en horas pico	Porcentaje de permanencia de los estudiantes dentro de las instalaciones universitarias durante un día regular	Estudios de tráfico
3	Ubicación del proyecto	Relieve	msnm	Topografía del terreno	Estación Total Sokia 50RX
4	Condiciones ambientales de la zona	Temperatura	° C	Temperatura ambiente de la zona	Datos SNET
		Precipitación	mm	Precipitación máxima	Datos SNET
5	Tecnología de tratamiento a implementar	Aplicabilidad a la región	Puntaje	Selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico	Número mayor de puntos
6	Índices de rendimiento de codigestión de estiércol + AR	Volumen de estiércol generado	Lt	Cantidad de estiércol generado en el campo experimental de agronomía en un día.	Trabajo de campo
		Producción de biogás	ml	Biogás producido en los ensayos de viabilidad	Gasómetros graduados, método del desplazamiento
		Sólidos volátiles	SV	Cantidad de sólidos volátiles presentes en las mezclas de los ensayos	Valor teórico

## **Procesamiento de datos**

Se realizó una proyección de la población futura mediante un análisis por regresión y por métodos probabilísticos, se calculó el caudal de aguas residuales de acuerdo a las normas técnicas de ANDA para un período mínimo de 22 años y se comparó con aforos realizados en investigaciones previas.

Para la red de aguas negras se presentaron tres propuestas diferentes y se realizó un análisis de alternativas para determinar la más conveniente en términos de volúmenes de obra y cumplimiento de criterios mínimos exigidos por la norma técnica. Se determinó el punto de descarga a partir de los datos topográficos existentes y del sitio donde se propone la ubicación del sistema de tratamiento.

El análisis de los caudales y del perfil de la línea de conducción para el diseño de la red se elaboró utilizando software especializado.

Se elaboraron planos para el sistema de conducción.

Se hicieron muestreos de aguas residuales en ubicaciones estratégicas, las cuales se remitieron al laboratorio de calidad de agua de ANDA para determinar las características físicas, químicas y biológicas del afluente.

A partir del análisis de la carga contaminante se determinó los procesos unitarios necesarios para el proceso de tratamiento y disposición final de las aguas. En la selección de los procesos unitarios se tomó como base los componentes propuestos en estudios anteriores y se evaluó si se realizaría la modificación de sus componentes o si simplemente se realizaría un redimensionamiento.

Se efectuó el diseño estructural de los componentes que lo requieran dentro del sistema.

Se elaboraron planos para el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Se investigó para cada proceso unitario del sistema de tratamiento su forma de operación y el mantenimiento requerido para su funcionamiento.

Se elaboró el diagnóstico ambiental de la zona y se hizo la identificación de los posibles impactos ambientales del proyecto de forma concisa y teórica.

Se cuantificó el volumen de estiércol producido en el campo experimental de agronomía y se determinaron las proporciones de mezclas para los ensayos de viabilidad. Se hizo un cálculo teórico de la cantidad de sólidos volátiles que se introducen a cada uno de los reactores en los ensayos respectivos y luego de poner en marcha el experimento se midió diariamente la producción de biogás para cada ensayo.

## Discusión de resultados

El resultado del diseño del sistema de conducción de aguas residuales será aceptable si cumple con las normas técnica ANDA.

Será de conformidad el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico si:

El dimensionamiento hidráulico es adecuado al caudal proyectado.

Si los procesos unitarios de tratamiento cumple con los parámetros mínimos establecidos en la norma salvadoreña obligatoria de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) NSO 13.07.03:02, sobre las agua residuales descargadas a un cuerpo receptor.

El diseño estructural es de conformidad con el informe 350 de ACI (American Concrete Institute) Environmental Engineering Concrete Structures, ACI 318 y Método PCA para diseño de estructuras de concreto para contener líquidos.

Los indicadores más útiles para la evaluación de del rendimiento biológico son la carga orgánica (kg de mezcla introducida) y la formación específica de biogás. Se usan típicamente en procesos continuos, pero son aplicables también en este caso. Los parámetros de rendimiento se calculan a partir de las mediciones del biogás, y son:

- Producción de biogás por unidad de materia (gramos) introducida
- Producción de biogás por unidad de solido volátil (SV) alimentado
- Producción de biogás por unidad de volumen de reactor utilizado
- Producción media de biogás por unidad de volumen de reactor utilizado y día
- Riqueza del biogás en CH<sub>4</sub> durante la etapa estable de la producción

# CAPÍTULO 2

## MARCO CONCEPTUAL

## 2.1. Marco referencial

### 2.1.1. Visión actual del saneamiento en El Salvador

En los países en desarrollo, las principales enfermedades de origen medioambiental son las enfermedades diarreicas, las infecciones de las vías respiratorias inferiores, los traumatismos involuntarios y la malaria; de hecho, en niñas y niños menores de cinco años, un tercio de las enfermedades son causadas por factores ambientales como la insalubridad del agua y la contaminación del aire.

#### **Sistemas obsoletos de alcantarillado sanitario**

La red de alcantarillado sanitario en nuestro país se ha enfocado específicamente en el área urbana de los municipios, y no ha crecido al mismo ritmo de la red de abastecimiento de agua potable, presentándose el problema de mayores coberturas de agua potable sin sistemas colectores de aguas residuales, por lo que podemos encontrar ciudades donde las aguas grises, y en algunos casos aguas negras, corren a ras de suelo o por las cunetas de aguas lluvias hacia la quebrada de invierno o cuerpo receptor más cercano.

A nivel nacional la cantidad de población que posee alcantarillado sanitario es del 49%, comparado con un 78% que posee sistema de acueducto, lo que provoca un déficit en alcantarillado del 28%, porcentaje que en su mayoría está siendo evacuado como escorrentía superficial.

Para dar algún manejo a esta situación se optó por la exigencia de sistemas de fosas sépticas y pozo de absorción, sin embargo, la falta de limpieza periódica de las fosas sépticas y la construcción de pozos de absorción sin conocer las características de permeabilidad del suelo, ha llevado al rebalse de los sistemas y al escurrimiento sobre el suelo de los caudales de aguas residuales.

El desarrollo del alcantarillado sanitario en el país está ligado al avance de las instituciones nacionales como el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y posteriormente la ANDA. Las primeras obras de alcantarillado sanitario se construyeron en 1940, con el auspicio y asesoramiento del Servicio Interamericano de Salud Pública, que incluyó la construcción de una planta de tratamiento de aguas negras en el municipio de Santa Tecla.

A partir de esta experiencia, existió un período aproximado de 25 años durante el cual no se le brindó atención al problema de recolección y tratamiento de las aguas residuales, en parte porque en dicha época, el grado de contaminación de los recursos hídricos no era muy significativo.

En 1950 se estableció la Dirección General de Obras Hidráulicas en el MOP, asignándole recursos para la construcción de alcantarillados sanitarios con los cuales se ejecutaron obras en forma sistemática que beneficiaron a buen porcentaje de la población urbana y parte de la rural, con un margen aproximado de proyección de cinco a ocho años para cubrir necesidades futuras. En 1961 fue creada la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

La red de alcantarillado sanitario y aguas lluvias del país data de los años 60, encontrándose en funcionamiento tuberías de diámetros insuficientes para manejar los caudales del crecimiento poblacional de los últimos 50 años, lo que provoca el colapso de las tuberías debido a que muchos sistemas de aguas negras aún poseen tuberías de concreto, que junto con los movimientos telúricos causan fisuras, derrames y hundimientos del terreno.

Otro aspecto importante es la falta de planificación del desarrollo del país, tanto la urbana como la propia de los sistemas de alcantarillado sanitario.

La falta de planificación urbana provoca que muchos proyectos urbanísticos y comerciales no tengan factibilidad de conexión a sistemas existentes, por lo que se opta por la construcción de sistemas de tratamiento individuales que son olvidados, y quedan en desuso descargando directamente a los cuerpos receptores.

La falta de planificación de sistemas de alcantarillado está relacionada no solo con la política pública de años anteriores de ampliar la cobertura de abastecimiento sin ampliar la cobertura de alcantarillado sino, también, con la falta de financiamiento para ampliación de la red principal, reparaciones y sustitución de sistemas obsoletos.

Se tiene, además, el problema de los sistemas combinados de aguas lluvias y aguas negras, es decir, que está diseñado para que evacúe aguas residuales en verano, pero en invierno se le suma el caudal de aguas lluvias y realiza una evacuación combinada. Estos sistemas no son funcionales al momento de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, en donde los caudales a tratar son los determinantes del costo económico del sistema a proponer.

De igual forma, la falta de separación de caudales industriales y caudales domésticos complica la implementación de los sistemas de tratamiento debido a que se mezclan aguas con poca materia orgánica pero con altos componentes de metales pesados, alta temperatura y pH ácidos o alcalinos, teniendo como resultado el colapso de los sistemas de tratamiento.

## **FALTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES**

### **Manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas**

Históricamente, en El Salvador, las aguas residuales domésticas de las ciudades han sido evacuadas desde las viviendas por medio de sistemas de tuberías al interior de las mismas, que se conectan a sistemas de tuberías ubicadas en las calles de las ciudades y las conducen hacia sitios de descarga, ya sea quebradas, ríos o lagunas, sin ningún tratamiento previo.

Esta práctica ha convertido a la mayoría de nuestros ríos y quebradas en verdaderas cloacas, como lo demuestran estudios de monitoreo de calidad de agua y fuentes de contaminación.

Actualmente no existe un dato exacto sobre el volumen total de aguas residuales que se genera diariamente pero, en el año 2011, la ANDA1 reportó en los sistemas de agua potable un consumo de 219.5 millones de metros cúbicos; teniendo en consideración que dicha institución abastece aproximadamente al 63.3% de la población, se deduce que el consumo total a nivel nacional para ese año fue de 347 millones de metros cúbicos. Si se considera que un 80% de esta llega a los cuerpos receptores como agua residual, se estima que se generan 278 millones de metros cúbicos de aguas residuales al año aproximadamente, que equivalen al agua que contienen casi 15 mil piscinas olímpicas o llenar el Estadio Cuscatlán de agua 120 veces. Una estrategia integral de saneamiento necesita responder a estas nuevas circunstancias.

### **Manejo inadecuado de las aguas residuales industriales**

A la fecha no se tiene registro exacto sobre caudales totales de aguas residuales industriales descargados a sistemas de alcantarillado sanitario o cuerpos receptores a nivel nacional. No obstante, en un estudio realizado por el MARN se determinó que en el río Las Cañas el 37% de las descargas de aguas residuales son de tipo especial y el 63% de las descargas son aguas residuales domésticas.

Estos porcentajes son distintos para ciudades con diferentes niveles de desarrollo; además, las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas también dependen mucho del tipo de desarrollo industrial y comercial de cada ciudad, lo que sí se conoce es que el porcentaje de agua residual con respecto al agua residual doméstica se incrementa con el tamaño y desarrollo de la ciudad.

En todo caso, es importante avanzar en el diagnóstico de cada subcuenca, ya que a mayor porcentaje de aguas residuales especiales y. dependiendo de la composición de esta, los procesos de tratamiento y depuración resultan más complejos y costosos.

#### **Limitada cobertura de tratamiento y depuración de las aguas residuales.**

Se llama tratamiento de las aguas residuales al conjunto de medidas o procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan con el propósito de eliminar del agua residual los elementos que afectan su calidad, hasta reducir dichas concentraciones a niveles que permitan una disposición o descarga de bajo impacto sobre el cuerpo receptor.

Para establecer la calidad de las aguas residuales existen parámetros de medición como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que es un indicador de la concentración de materia orgánica en el agua, el número de bacterias coliformes fecales por cada 100 ml, que es un indicador para determinar si existe contaminación con excreta humana, entre otros.

Toda descarga de aguas residuales debería contar con un sistema de tratamiento y depuración que remueva o disminuya los contaminantes del agua hasta niveles que sean tolerables por el cuerpo receptor, por lo que dichos sistemas de tratamiento deben tener niveles de eficiencia controlados, a efecto de asegurar que la calidad de agua a descargar cumple con los límites de contaminación permitidos por las normas respectivas.

En El Salvador, más del 95% de las aguas residuales domésticas se descargan a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento, y muchas de las aguas residuales que salen de los escasos sistemas de tratamiento de aguas residuales no cumplen con los límites de contaminación permitidos por la normativa vigente, ello está causando graves impactos a los cuerpos de agua que reciben dichas descargas.

Según los resultados del estudio "Medidas de Control de la Contaminación de los ríos Tomayate y Las Cañas" (MARN, 2011), el río Las Cañas recibe un total de 19 descargas de aguas residuales; únicamente tres de ellas contaban con sistemas de tratamiento previo a ser descargados a dicho río, pero ninguna de dichas descargas cumplía con los límites de calidad de agua establecidos por la normativa vigente. Como consecuencia, este estudio determinó que existe una carga contaminante de más de 28 mil kgDBO5/día para este río y el máximo permitido es 680 kgDBO5/día, el cual se convierte en el afluente que más contaminación aporta al Acelhuate, considerado el río más contaminado del país.

Asimismo, se ha estimado que en actualidad existen 11 puntos de descarga de aguas residuales, todas procedentes del área urbana de San Miguel, que son vertidas sobre el Rio Grande sin antes darle ningún tipo de tratamiento.<sup>3</sup>

Según datos del Boletín Estadístico de ANDA del año 2010, dicha institución administra un total de 74 sistemas de alcantarillado sanitario a nivel nacional, con un estimado de más de medio millón de conexiones domiciliarias, únicamente un 3.5% recibe cobertura de tratamiento.

Existe un número considerable de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas administradas por municipalidades y comunidades organizadas a nivel urbano y rural, además de un considerable número de plantas operadas por empresas privadas que brindan el servicio de tratamiento y depuración de aguas residuales en zonas residenciales, muchas de las cuales están a la espera de que ANDA u otra institución del Estado se responsabilice de su adecuada operación; mientras tanto, son operadas por empresas privadas u organizaciones comunitarias que cobran un servicio pero, con frecuencia, tienen dificultades para exigir el pago, lo cual les dificulta una adecuada operación y mantenimiento.

En general, todas las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen un común denominador: operan en condiciones de bajos niveles de eficiencia y con problemas de sostenibilidad debido al círculo vicioso de "no pago" por parte de los usuarios y "no cobro" por parte de los operadores. Este círculo vicioso persiste debido a que no se ha implementado un modelo de gestión que incluya la recuperación del costo de servicio de recolección, tratamiento y depuración de las aguas residuales

---

<sup>3</sup> (Reyes Quinteros, 2013)

y, por otra parte, a una constante resistencia de los usuarios a asumir un incremento en la factura del administrador del sistema de agua, la cual actualmente no incluye costos de tratamiento de las aguas residuales.

### **2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL EN LA UES-FMO**

En la Universidad de El Salvador FMO las aguas residuales son vertidas a un sistema de tratamiento poco ortodoxo y sin un mayor control del tipo de desechos a depositar, y luego son drenados hacia el suelo o son objeto de descargas superficiales que ocasiona mal olor, proliferación de vectores y por consiguiente un mal aspecto de las instalaciones.

De igual manera, en estos sistemas se incluyen las aguas con contenido de químicos altamente perjudiciales para el subsuelo, y por consiguiente las aguas freáticas se ven afectadas.

La población estudiantil continua en aumento pero los sistemas de tratamiento siguen siendo los mismos, que ocasionalmente en período de lluvias llegan a colapsar debido al incremento del nivel de aguas subterráneas.

Actualmente se debe de buscar las medidas adecuadas para prevenir la contaminación en pro de la sanidad ambiental de la UES FMO.

## **2.2. Marco normativo**

### **2.2.1. Aspectos reglamentarios y normativa de El Salvador**

A continuación se presentan algunos artículos que pertenecen a las diferentes leyes, reglamentos, normas, decretos, etc. Que tienen como objetivo principal velar por mejorar la calidad de vida de la sociedad proveyendo la regulación pertinente a las aguas residuales y el tratamiento de las mismas.

## **Decreto Ejecutivo N 50 Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección, año 1987**

El presente Decreto entró en vigencia en octubre de 1987; y trata sobre LA CALIDAD DEL AGUA, EL CONTROL DE VERTIDOS Y LAS ZONAS DE PROTECCION, con el objetivo de evitar, controlar o reducir la contaminación de los recursos hídricos. Se presentan a continuación algunos artículos concernientes a la depuración y tratamiento de aguas.

### **Normas sobre depuración y tratamiento de aguas**

**Art. 35.** Solamente se podrán efectuar descargas de residuos sólidos, líquidos o gaseosos, cuando de conformidad a los objetivos de calidad no se perjudiquen las condiciones físico – químicas y biológicas del medio acuático receptor.

**Art. 36.** Cuando las condiciones impuestas en una autorización de vertidos impliquen la operación de un sistema de tratamiento, el usuario estará obligado a controlar los efluentes en la forma que establezca la autoridad competente y a conservar esta información en un registro que podrá ser inspeccionado por la misma, cuando así lo requiera.

**Art. 37.** Los procesos de depuración o tratamiento a que estarán sujetos los vertidos en general., deberán ser los técnicamente necesarios para lograr los objetivos de calidad.

**Art. 38.** Para la determinación del tratamiento a que se deberá someter un vertido, se fijaran las condiciones particulares para cada descarga. Estas condiciones se fomentaran en los niveles de calidad que se establecen en la forma prevista en el Art. 6.

**Art. 40.** Los métodos de muestreo y análisis de laboratorio para comprobar que los responsables de las descargas se ajustaran a las normas a que se refiere el Art. 38 de este reglamento según los métodos estándares universales, adoptados oficialmente por los laboratorios nacionales del país.

**Art. 42.** La Autoridad Competente promoverá la constitución de empresas depuradoras para que se encarguen de la depuración de vertidos procedentes de terceros previo contrato con los mismos en que especifiquen las condiciones del trabajo a realizar.

En caso que un usuario, autorizado o no, contrate a una empresa depuradora de vertidos, esta última será responsable ante la Autoridad Competente de las condiciones en que se verifique la depuración.

### **De las aguas negras o aguas residuales domesticas**

**Art. 59.** El control de la contaminación producida por los residuos líquidos domésticos estará sujeto a la disposición de la legislación vigente sobre los usos de abastecimiento de agua potable, doméstico, comercial e industrial, en aquellos núcleos de población que cuentan con redes de alcantarillado sanitario administrado por ANDA y organismos afines.

**Art. 60.** Las entidades, personas naturales o jurídicas encargadas de la explotación de una red de alcantarillado sanitario, deberán tomar las medidas necesarias para disminuir los riesgos de deterioro de la red o del cuerpo de agua en la que se descargue.

La Autoridad Competente establecerá los tratamientos a que se deberán someter las aguas negras provenientes de las redes de alcantarillado sanitario con vistas a lograr determinados niveles de calidad.

**Art. 61.** Las entidades, personas naturales o jurídicas encargadas de la explotación de una red de alcantarillado sanitario, están obligados a sujetarse a las normas sobre control de vertidos a sistemas de alcantarillado sanitario que dicten ANDA, MSPAS.

### **Decreto Ejecutivo N 39 Reglamento especial de aguas residuales, año 2000**

El Reglamento Especial de Aguas Residuales tiene por objeto velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenibles del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación.

#### **Tratamiento de las aguas residuales**

**Art. 7.** Toda persona natural o jurídica, pública o privada, titular de una obra, proyecto o actividad responsable de producir o administrar aguas residuales y de su vertido a su medio receptor, en lo sucesivo denominadas titular, deberá instalar y operar sistemas de tratamiento para que sus aguas residuales cumplan con las disposiciones de la legislación pertinentes y este reglamento.

**Art. 8.** En cuanto a la disposición de lodos provenientes de sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinaria y especial, estará sujeta a lo dispuesto en el programa de manejo o adecuación ambiental correspondiente y a la legislación pertinente.

### **Validez de los análisis**

**Art. 11.** En base al Art. 23 de la ley del medio ambiente y con el fin de que los análisis incluidos en los informes requeridos en el permiso ambiental sean válidos, deberán provenir de laboratorios legalmente acreditados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), tales laboratorios son aquellos con lo que se pueden demostrar que la caracterización del vertido cumple con las normas técnicas de calidad ambiental establecidas.

### **Aguas residuales de tipo ordinario**

**Art. 13.** Durante el análisis de las características físico - químicas y microbiológicas de las aguas residuales de tipo ordinaria deberá ser determinado, esencialmente, los valores de los siguientes componentes:

- a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- b) Potencial de Hidrogeno. (PH).
- c) Grasas y Aceites (G y A)
- d) Sólidos Sedimentables.
- e) Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- f) Coliformes Totales (CT)
- g) Cloruros (Cl)

### **Aguas residuales del tipo especial**

**Art. 15.-** En los análisis de las características físico – químicas y microbiológicas de las aguas residuales de tipo especial vertidas a un medio receptor, deberán ser determinados esencialmente los valores de los siguientes componentes e indicadores:

- a) Demanda bioquímica de Oxigena (DBO'5)
- b) Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- c) Potencial de Hidrogeno (PH)
- d) Grasas y Aceites (G y A)
- e) Sólidos Sedimentables (Ssed)
- f) Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- g) Temperatura (T)

## 2.2.2. Ley del medio ambiente (año 1998, última revisión 11/10/2012)

En esta ley se presentan los lineamientos que pretenden generar las acciones necesarias para proteger el medio ambiente de El Salvador. Se presentan algunos artículos que forman parte de la ley del medio ambiente y que están relacionados al objeto de estudio de este trabajo.

### **Objeto de la ley**

Art. 1.- La presente ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refieren a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en general; y asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en esta materia

### **Formulario ambiental**

Art. 22.- El titular de toda actividad, obra o proyecto que requiera de permiso ambiental para su realización o funcionamiento, ampliación, rehabilitación o reconversión deberá presentar al Ministerio el formulario ambiental que esta requiera con la información que se solicite. El Ministerio categorizará la actividad, obra o proyecto, de acuerdo a su envergadura y a la naturaleza del impacto potencial.

### **Protección del recurso hídrico**

Art. 49.- El Ministerio será responsable de supervisar la disponibilidad y la calidad del agua.

Un reglamento especial contendrá las normas técnicas para tal efecto, tomando en consideración los siguientes criterios básicos:

- a) Garantizar, con la participación de los usuarios, la disponibilidad, cantidad y calidad del agua para el consumo humano y otros usos, mediante los estudios y las directrices necesarias;
- b) Procurar que los habitantes, utilicen prácticas correctas en el uso y disposición del recurso hídrico;
- c) Asegurar que la calidad del agua se mantenga dentro de los niveles establecidos en las normas técnicas de calidad ambiental;

- d) Garantizar que todos los vertidos de sustancias contaminantes, sean tratados previamente por parte de quien los ocasionare; y
- e) Vigilar que en toda actividad de reutilización de aguas residuales, se cuente con el Permiso

### **Gestión y uso de las aguas y ecosistemas acuáticos**

Art. 70. - El Ministerio, elaborará y propondrá al Presidente de la República para su aprobación los reglamentos necesarios para la gestión, uso, protección y manejo de las aguas y ecosistemas tomando en cuenta la legislación vigente y los criterios siguientes:

- a) Su manejo se realizará en condiciones que prioricen el consumo humano, guardando un equilibrio con los demás recursos naturales;
  - b) Los ecosistemas acuáticos deben ser manejados tomando en cuenta las interrelaciones de sus elementos y el equilibrio con otros;
  - c) Se promoverán acciones para asegurar que el equilibrio del ciclo hidrológico no sufra alteraciones negativas para la productividad, el equilibrio de los ecosistemas, la conservación del medio ambiente, la calidad de vida y para mantener el régimen climático;
  - d) Asegurar la cantidad y calidad del agua, mediante un sistema que regule sus diferentes usos;
  - e) Se establecerán las medidas para la protección del recurso hídrico de los efectos de la contaminación; y
  - f) Todo concesionario de un recurso hídrico para su explotación será responsable de su preservación.
- e) Vigilar que en toda actividad de reutilización de aguas residuales, se cuente con el Permiso Ambiental correspondiente, de acuerdo a lo establecido en esta Ley.

### **2.2.3. Norma salvadoreña. (CONACYT). NSO 13.07.03:02.**

#### **Evaluación de parámetros medioambientales**

##### **Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor**

Esta norma fue editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT; y establece las características y valores físicos-químicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que se deben presentar en el agua residual para rescatar los cuerpos receptores. Los niveles máximos

permisibles de los parámetros de esta norma deberán ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos. Para alcanzar dichos niveles no será permitida la dilución.

Tabla 2 Parámetros y valores máximos permisibles para descargas a cuerpo receptor

Parámetro	Valores Máximos Permisible	
Aluminio(Al)	mg/l	5
Arsénico (As)	mg/l	0.1
Bario total (Ba)	mg/l	5
Berilio (Be)	mg/l	0.5
Boro (B)	mg/l	1.5
Cadmio (Cd)	mg/l	0.1
Cianuro total (CN)	mg/l	0.5
Cinc (Zn)	mg/l	5
Cobalto (Co)	mg/l	0.05
Cobre (Cu)	mg/l	1
Coniformes fecales	NMP	2000
Coniformes totales	NMP	10000
Color		
Compuestos fenolitos sintéticos.	mg/l	0.5
Cromo hexavalente (Cr <sup>6+</sup> )	mg/l	0.1
Cromo total (Cr)	mg/l	1
Detergentes (SAAM)	mg/l	10
Fluoruros (F)	mg/l	5
Fósforo total (P)	mg/l	15
Organofluorina	mg/l	0.1
Fosfamina	mg/l	0.1
Benzimidazol	mg/l	0.1
Piretroide	mg/l	0.1
Bipiredelos	mg/l	0.1
Penoxi	mg/l	0.1
Triazina	mg/l	0.1
Fosfónico	mg/l	0.1
Hierro total (Fe)	mg/l	10
Litio (Li)	mg/l	2
Manganeso total (Mn)	mg/l	2
Materiales flotantes	mg/l	Ausentes.
Mercurio (Mg)	mg/l	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/l	0.1
Níquel (Ni)	mg/l	0.2
Nitrógeno total (N)	mg/l	50
Organoclorados	mg/l	0.05
Organofosforados y carbamatos	mg/l	0.1
Ph	Unidades	5.5 - 9.0
Plata (Ag)	mg/l	0.2
Plomo (Pb)	mg/l	0.2
Selenio (Se)	mg/l	0.05
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/l	1000
Sustancias radiactivas	-	0
Temperatura	°C	20 – 35 °C
Turbidez (Turbiedad)	NTU	
Vanadio (V)	mg/l	1

Tabla 3 Límite de descarga de agua residual a un cuerpo receptor

Actividad	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Sólidos sedimentables (mL/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
<b>Aguas residuales de tipo ordinario</b>	100	60	1	60	20

Esta norma está sujeta a permanente revisión con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias modernas.

Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), velar por el cumplimiento de esta norma obligatoria.

#### 2.2.4. Marco normativo centroamericano

En Centroamérica se han desarrollado lineamientos por cada uno de los países que integran esta región en relación a las aguas residuales, más sin embargo se puede apreciar una debilidad en las instituciones y en el marco legal del sector. Algunas de las manifestaciones en relación a la debilidad antes mencionada son: Pocas plantas de tratamiento, falta de planes de construcción de plantas, debilidad de operadores de sistemas, falta de monitoreo y seguimiento de los sistemas.

Los aspectos que debe de cubrir las normas o reglamentos de los países Centroamericanos deben de estar enfocados a descarga a alcantarillado sanitario, descarga a cuerpos receptores y re-uso de aguas residuales.

A continuación se presenta parte de la normativa existente en el ámbito centroamericano relacionada a las aguas residuales.

#### **Reglamento de reúso y vertido de aguas residuales. Decreto ejecutivo 26042-S-MINAE, (19/junio/1997) (COSTA RICA)**

El presente Reglamento tiene por objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales. Será aplicable en todo el territorio nacional para el manejo de las aguas residuales, que independiente de su origen sean vertidas o reusadas.

En este reglamento se establece los lineamientos en relación a:

- a. Los parámetros de análisis obligatorios
- b. Muestreo, análisis y reportes operacionales
- c. Límites para el vertido de aguas residuales
- d. Reúso de aguas residuales
- e. Prohibiciones
- f. Sanciones

**Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006 Guatemala, 5 de Mayo de 2006 (GUATEMALA)**

OBJETO. El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

APLICACIÓN. El presente Reglamento debe aplicarse a:

- a) Los entes generadores de aguas residuales;
- b) Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- c) Las personas que produzcan aguas residuales para reúso;
- d) Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de Lodos.

**COMENTARIOS AL MARCO NORMATIVO POR EQUIPO DE TRABAJO:**

El marco normativo presentado anteriormente y otros lineamientos de distintas instituciones que no se presentan, proveen la base legal para desarrollar proyectos de alcantarillado sanitario y

tratamiento de aguas residuales con el objeto de proveer de estos servicios básicos a las comunidades de El Salvador y en general de procurar la protección del medio ambiente.

Con respecto a la infraestructura que constituye cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en El Salvador, no existe una normativa u organización encargada de proveer lineamientos en relación a la selección, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los elementos que mejor se adapten a las condiciones físicas, meteorológicas, medioambientales, económicas y sociales del país. Como consecuencia de lo mencionado anteriormente en el país se han construido muchas plantas de tratamiento que funcionan inadecuadamente o en ocasiones han sido abandonadas debido a distintos factores que se presentan, sobre todo en la operación y mantenimiento de las mismas.

El Salvador ha desarrollado sus normativas con la diferencia respecto a las naciones centroamericanas vecinas de no tener un enfoque de importancia en el reuso o reutilización de las aguas residuales.

## 2.3. Marco teórico básico

### 2.3.1 Métodos para la determinación del caudal de diseño

La demanda de agua en un edificio depende de la clase y cantidad de accesorios, así como de la probabilidad de su operación simultánea. Por conveniencia y variación de aplicación, los diferentes accesorios se alimentan con gastos distintos.

Los diferentes tipos de muebles sanitarios no se usan uniformemente durante el día. En el hogar, los muebles de baño están en uso frecuente cuando los ocupantes se levantan por la mañana; y justo antes de retirarse a descansar por la noche.

El hecho de que la operación de los muebles es intermitente y que el tiempo total que están en operación real es bastante pequeño en comparación con el tiempo en que no están operando, significa que es innecesario excepto en sistemas muy pequeños diseñar para el gasto máximo potencial, esto es, el gasto que sería causado por todos los muebles al operar simultáneamente. Esto es afortunado ya que si fuera necesario diseñar para este gasto potencial, los diámetros de los tubos serían mayores de lo que en realidad se instalan y el consumo de agua sería excesivo.

Existen varios métodos para calcular el gasto de diseño de los componentes del sistema de distribución de agua en un edificio entre ellos: Métodos probabilísticos, Método semi-empíricos y Métodos empíricos.

#### **Métodos probabilísticos**

Una de las primeras aplicaciones de la teoría de la probabilidad para la determinación de gastos de diseño en instalaciones hidráulicas y sanitarias para edificios, fue hecha por el Dr. Roy B. Hunter de la oficina Nacional de Estándares de EEUU, Habiendo aparecido la primera exposición del método en 1924. Este es el más racional de los tres métodos mencionados, ya que toma en cuenta factores que afectan el gasto de diseño y que son ignorados por los otros métodos.

En la aplicación de la teoría de probabilidad al problema de determinar los gastos de diseño, Hunter asumió que la operación de los principales muebles sanitarios que constituyen el sistema de la instalación hidráulica, podrían considerarse como eventos puramente aleatorios, Hunter

determinó las frecuencias de uso de los principales muebles y aparatos sanitarios que producen el gasto de la instalación hidráulica de un edificio habitacional, basando sus valores de las frecuencias en registros obtenidos en edificios de departamentos, durante el periodo de máximo consumo (periodo de punta). También determinó valores característicos de los gastos promedio de uso de agua en diferentes muebles sanitarios y el tiempo de una operación sencilla de cada uno de ellos. (Hunter R. , 1940)

El desarrollo teórico se aplica solo a grandes grupos de muebles y aparatos sanitarios, tales como: edificios de departamentos, oficinas, etc. La razón de esto es que aunque el gasto de diseño tiene cierta probabilidad de no ser excedido, no obstante puede excederse en raras ocasiones. En un sistema que incluya solo unos cuantos accesorios, si se ha diseñado de acuerdo con la teoría de la probabilidad, el gasto adicional impuesto sobre el por un accesorio adicional que el dado por la teoría de probabilidad podría sobrecargar el sistema lo suficiente para causar inconvenientes e incluso interferir con la operación del sistema de drenaje. Por otra parte si se está tratando con un sistema grande, una sobrecarga de uno de los accesorios sería raro que se notara.

Considérese el sistema de distribución de agua de un edificio de departamentos. En tales edificios, los accesorios de la instalación estarán sujetos a congestionamientos a cierta hora del día. Los muebles y aparatos instalados son una gran cantidad de inodoros, regaderas, lavabos, fregaderos, etc. El problema consiste en determinar que gastos de diseño debe asignarse a las varias tuberías de la instalación hidráulica y sanitaria para que el sistema proporcione un servicio satisfactorio. Hunter definió servicio satisfactorio aquel en el que las interrupciones del servicio debido a factores controlables como el diámetro y disposición de las tuberías no son frecuentes y es de suficiente corta duración como para no ocasionar inconvenientes en el uso de los muebles y aparatos sanitarios o una condición de insalubridad en la instalación.

Es decir, se asumirá que el sistema brindará servicio satisfactorio o estará adecuadamente diseñado, si las tuberías en el sistema se han dimensionado de manera que abastezcan satisfactoriamente el gasto demandado por una cantidad "r" de un total de "n" accesorios del edificio, de modo tal que no más de "r" accesorios serán probablemente encontrados en uso simultáneo más de 1% del tiempo. El valor de 1% referido, fue elegido arbitrariamente por Hunter

en su aplicación original de la teoría de probabilidad, al problema de diseño de gastos en las instalaciones hidráulicas, y se ha usado desde 1940 con buenos resultados.

### **Métodos semi-empíricos**

Estos métodos, aunque se basan en la experiencia, tienen cierto sustento teórico, que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas.

### **Métodos empíricos**

En los métodos empíricos, para una cantidad dada de muebles en el sistema, se toma una decisión acerca del número de muebles que pueden asumirse en operación simultánea. En varios países, un grupo de investigadores con experiencia en el diseño de sistemas de hidráulicos, han elaborado tablas de “probable demanda simultanea” entre estos métodos se tiene el desarrollado por Dawson y Bowman de la universidad de Wisconsin. (Dawson, 1933)

En teoría, los métodos empíricos podrían considerarse los mejores para el cálculo de pequeños sistemas hidráulicos.

## 2.3.2 Métodos probabilísticos

### **Método Hunter**

Para el dimensionamiento de las tuberías se tiene en cuenta que todos los aparatos instalados no funcionan simultáneamente; por esta razón se deben distinguir varios tipos de caudal.

El método pretende evaluar el caudal máximo probable y se basa en el concepto de que únicamente unos pocos aparatos, de todos los que están conectados al sistema, entrarán en operación simultánea en un instante dado. El efecto de cada aparato que forma parte de un grupo numeroso de elementos similares, depende de:

Caudal del aparato, o sea la tasa de flujo que deja pasar el servicio ( $q$ ).

Frecuencia de uso: tiempo entre usos sucesivos ( $T$ ).

Duración de uso: tiempo que el agua fluye para atender la demanda del aparato ( $t$ ).

El método es aplicable a grandes grupos de elementos, ya que la carga de diseño es tal que tiene cierta probabilidad de no ser excedida (aunque lo puede ser en pocas ocasiones).

Según Hunter, se tiene en funcionamiento satisfactorio cuando las tuberías están proporcionadas para suministrar la carga de demanda para el número  $m$  del total de  $n$  aparatos del edificio, de tal forma que no más de  $m$  serán encontrados en uso simultáneo por más del 1% del tiempo.

Si se considera que en una instalación de  $n$  aparatos, un número  $m$  de éstos se encuentre en funcionamiento simultáneo por más del 1% del tiempo, se puede expresar así:

$$P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_{m-1} + P_m = 0,99$$

$P$  es la probabilidad de no encontrar ningún aparato funcionando. Los términos faltantes de la serie son:

$$P = \sum_{r=m+1}^{r=n} \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \leq 0,01$$

Que corresponde a la forma dada en las tablas de distribución binomial de probabilidades, excepto que la expresión  $(1-p)$  reemplaza al término  $q$  de las tablas.

El caudal de diseño se determina de acuerdo con:

$$Q_{\text{diseño}} = m \times q$$

Donde  $q$  es el caudal promedio que utiliza uno de los aparatos supuestos. Hunter se ideó la forma de aplicar el método a sistemas con aparatos de diferente clase asignando el peso o influencia de un aparato con respecto a los demás; entonces, el número que identifica un aparato será una relación del número de válvulas de fluxómetro que producen un caudal determinado al número de aparatos de otro tipo que producen el mismo caudal.

$$Unidades \text{ para un aparato} = \frac{Número \text{ de Fluxómetros}}{No. \text{ de aparatos de otro tipo}} \times Unidades \text{ asignadas al fluxómetro}$$

Los valores aceptados por la mayoría de códigos para los diferentes aparatos se muestran en la tabla No 4.

Tabla 4 Unidades de gasto - Método Hunter

Aparato o Grupo	Tipo de uso	Tipo de suministro	Unidades de aparato		Total
			Agua Caliente	Agua Fría	
Sanitario	Público	Fluxómetro		10	10
Sanitario		Tanque		5	5
Orinal Pedestal		Fluxómetro 1"		10	10
Orinal Pared		Fluxómetro 3/4"		5	5
Lavamanos			1.5	1.5	2
Tina			3	3	4
Regadera ducha		Mezclador	3	3	4
Lavaplatos		Mezclador	3	3	4
Sanitario		Privado	Fluxómetro		6
Sanitario	Tanque			3	3
Lavamanos	Mezclador		0.75	0.75	1
Tina	Mezclador		1.5	1.5	2
Regadera ducha	Mezclador		1.5	1.5	2
Grupo de Baño	Sanitario Flux		2.25	6.75	8
Grupo de Baño	Sanitario Tanque		2.25	4.5	6
Lavaplatos	Mezclador		1.5	1.5	2
Lavadora			2.25	2.25	3

### Método Hunter modificado

Este método se deriva del anterior; y la obtención de las unidades de consumo se realiza de forma idéntica; la modificación se da en la lectura del caudal máximo probable, que se halla de las figuras 4 y 5; donde se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usa el método original.

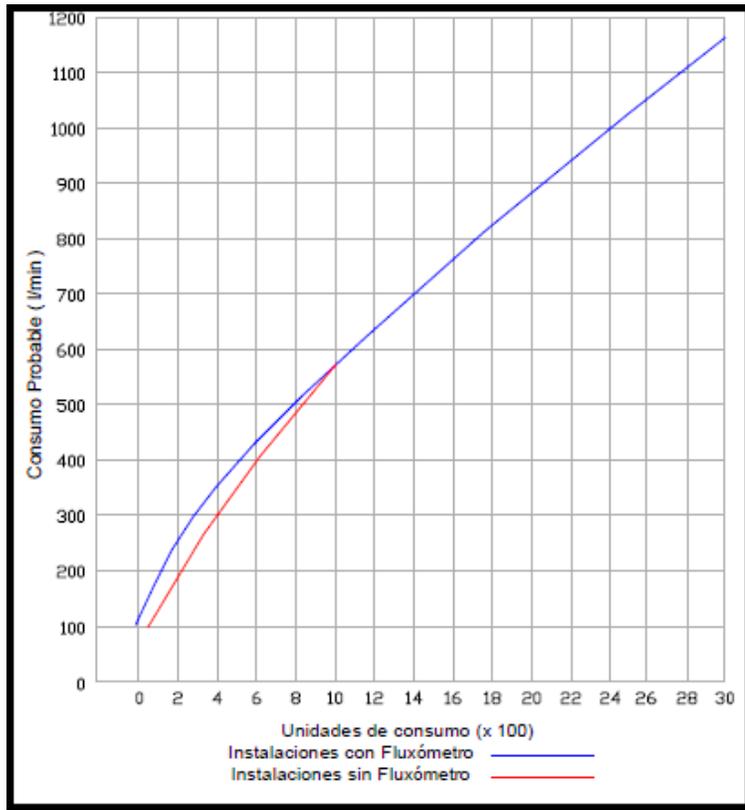


Imagen 8 Curva de demanda - Hunter Modificado

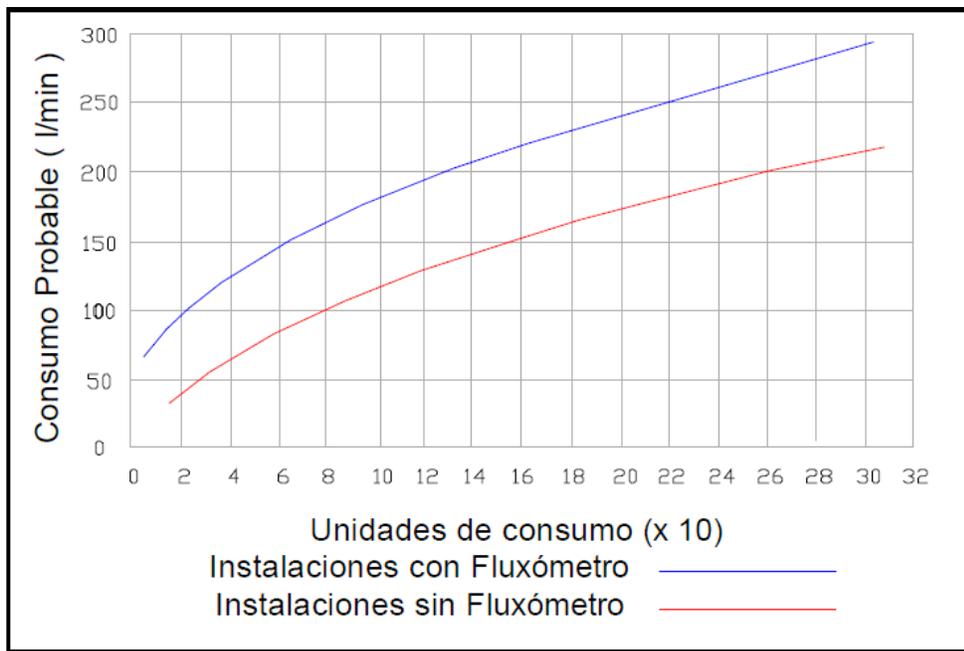


Imagen 9 Curva de demanda - Hunter Modificado

### 2.3.3 Métodos semi-empíricos

#### **Método Alemán de la raíz cuadrada**

Este método toma como unidad de gasto, la descarga de una llave de 3/8" (0.25 lps) bajo ciertas condiciones, y asigna un "factor de carga" unitario a dicho gasto.

Para cualquier otro mueble que tenga un gasto diferente, un factor de carga es establecido tomando una relación entre el gasto de éste y el "gasto unitario" (llave de 3/8") y elevando al cuadrado el resultado.

Así, el factor de carga para cada tipo de mueble en el edificio es multiplicado por el número de muebles servidos por la tubería en cuestión, el resultado es sumado, y finalmente es obtenida la raíz cuadrada. El resultado es multiplicado por el gasto unitario de una llave de 3/8" para obtener el gasto de abastecimiento al edificio, cualquiera que éste sea. La obtención de la raíz cuadrada considera, de una manera arbitraria, el hecho que los muebles no trabajan simultáneamente.

La metodología es como sigue:

Considere una unidad de flujo o gasto, la cual es tomada normalmente como la de una llave de 3/8".

Este gasto se asume que es de 0.25 l/s (4 g.p.m); esta unidad de gasto se denota con  $q_1$ , y el factor de carga  $f_1$  para la llave es tomado como unitario.

Ahora, considere que se tienen  $n_1$  llaves de este diámetro abastecidas por una tubería, cuya carga o gasto de diseño quiere ser determinada. Si se asume que  $n_1$  de estos muebles pueden operar simultáneamente en cualquier instante de observación, la carga de diseño será:

$$Q = q_1 \sqrt{f_1 n_1}$$

Ahora, a manera de ilustración, se puede considerar que tenemos también  $n_2$  llaves de 3/4" abastecidas por la misma línea. Se considera que una llave de 3/4" tiene una demanda de 0.75 l/s en la tubería de abastecimiento, esto es, consume un gasto tres veces mayor que la llave de 3/8". El factor de carga  $f_2$  para la llave de 3/4" será  $3^2 = 9$ .

Generalizando, para cualquier clase de muebles que son usados de manera intermitente en el sistema, tenemos como fórmula para la carga de diseño, la siguiente:

$$Q = q_1 \sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2 + \dots + f_i n_i}$$

Donde;

Q = carga o gasto de diseño, en lps.                      f1, f2, fn = factor de carga.

n1, n2, ni = número de muebles sanitarios por clase.

Tabla 5 Factores de carga - Método de raíz cuadrada

Diámetro (pulg)	Caudal (Lts/seg)	Factor
3/8"	0.25	1
1/2"	0.50	4
3/4"	0.75	9

### Método del factor de simultaneidad

Para la obtención del caudal máximo probable (Qp) se hace preciso establecer los caudales de los aparatos instalados, sumarlos y, posteriormente, afectar los resultados por un coeficiente de

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}}$$

simultaneidad K1.

Esta fórmula es la establecida por la Norma Francesa NP 41-204 para toda clase de edificios. Los caudales mínimos recomendados se muestran en la tabla 6:

Tabla 6 Gasto por artefacto sanitario - Método del factor de simultaneidad

APARATO	Qmin (lt/seg)
Calentador Eléctrico	0.30
Ducha	0.20
Inodoro de Tanque	0.15
Inodoro de Fluxómetro	0.95
Lavamanos	0.20
Lavadero	0.20-0.30
Lavaplatos	0.25 - 0.30
Lavadora	0.20-0.30
Llave Externa	0.25

$$Q_P = K_1 \times q_{m\acute{a}x}$$

Entonces Qp será:

### Método racional o Español

En éste método se establecen los caudales de los aparatos instalados, se suman y se afectan los resultados por el coeficiente de simultaneidad K1, pero en éste caso n será el número de aparatos instalados en una vivienda;

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{(n - 1)}}$$

Tabla 7 Caudal por aparato - Método racional

APARATO	Q (Lt/seg)	P (Kg/cm2)	P (mca)
Lavabo	0.10	0.35	3.50
Sanitario con depósito	0.10	0.35	3.50
Ducha	0.20	1.00	10.00
Lavadero	0.20	0.35	3.50
Lavadora	0.20		
Lavaplatos	0.20		
Llave Exterior	0.25		
Fregadero	0.20	0.35	3.50
Bidet	0.10	0.35	3.50
Bañera	0.30	1.00	10.00
Fluxmetros	0.95 - 2.00	1.00	10.00

#### 2.3.4 Métodos empíricos

##### Método Británico

Este método establece, con base en el criterio de un grupo de personas especializadas en el diseño de sistemas hidráulicos, tablas de "Probables Demandas Simultáneas", correspondientes a diversas cargas potenciales. La tabla No 8 muestra las demandas para distintos muebles sanitarios; después, considerando el sistema de distribución hidráulico, se suman las demandas de todos los

muebles sanitarios que puede servir una línea de tubería en el sistema, para luego ingresar a la tabla No 9 con el número de litros por minuto que se calcularon; se lee la demanda máxima probable simultánea en litros por minuto, y se procede a diseñar.

Tabla 8 Descargas aproximadas para muebles sanitarios - Método británico

<b>MUEBLES SANITARIOS</b>	<b>DESCARGA (l.p.m.)</b>
Baño privado	18.93
Baño público	30.28
Lavadero	15.14
Lavamanos	7.57
Ducha	7.57
Regadera de 4"	15.14
Regadera de 6"	30.28
Válvulas de fluxómetro*	57.00

Tabla 9 Descargas simultáneas para muebles sanitarios

<b>GASTO TOTAL (l/m)</b>	<b>DEMANDA PROBABLE (l/m)</b>	<b>GASTO TOTAL (l/m)</b>	<b>DEMANDA PROBABLE (l/m)</b>
Hasta 12	100% del máximo posible	318.0	147.6
53.0	49.2	405.0	159.0
60.6	54.9	465.6	170.3
68.1	60.6	537.5	181.7
75.7	66.2	617.0	196.8
87.1	71.9	711.7	212.0
98.4	77.6	817.6	230.9
113.6	85.2	938.8	246.1
132.5	90.8	1082.8	268.8
151.4	98.4	1245.4	291.5
174.1	106.0	1430.9	321.8
200.6	113.6	1646.6	359.6
230.9	121.1	1892.7	393.7
268.8	128.7	Más de 1892.7	20% del máximo posible
306.6	140.1		

## 2.3.5 Diseño de alcantarillado sanitario

### **Conceptos básicos**

El diseño de un sistema de alcantarillado en general incluye los siguientes pasos: investigaciones preliminares, estudio detallado, el propio diseño y preparación de los planos finales.

### Nomenclatura

Los diversos tipos de alcantarillas en un sistema típico de recogida de aguas residuales se describen en la Tabla No 10 y se ilustran en la imagen 10.

### Accesorios

**Pozos de visita.** Los pozos de visita son el accesorio más conocido de un sistema de recolección de aguas residuales.

A pesar de que se han construido en ladrillo y construidos in-situ, la práctica actual es utilizar elementos prefabricados de hormigón.

El pozo de visita estándar y pozo con caja de sostén son las configuraciones típicas. Los pozos con caja de sostén se utilizan cuando las tuberías de entrada y salida difieren en elevación por más de 0.6 m. Esto protege a los trabajadores que deben entrar de ser inadvertidamente mojados por una descarga mientras trabajan. También reduce la volatilización de compuestos odoríferos.

La tapa de registro es siempre redonda para evitar que se caiga en el pozo de registro. La práctica actual es utilizar una tapa de hierro fundido o dúctil. La tapa no debe ser perforada por los flujos entrantes de agua de lluvia. Esto también minimiza el escape de olores.

Cuando existe potencial de que la tapa sea sumergida, la cubierta debe estar provista de una junta y permite que se atornille hacia abajo. Alternativamente, si el pozo de visita no está construido sobre una carretera, el nivel de tapa debe de estar sobre el nivel de la escorrentía.

Tabla 10 Jerarquía de colectores de aguas residuales

Nombre	Descripción
Colectores terciarios	Los colectores terciarios forman el primer elemento del sistema de recolección de aguas residuales. Recogen las aguas residuales de edificios y los transmiten a un colector principal.
Colectores secundarios	El colector secundario conduce las aguas residuales a colectores troncales.
Línea de impelencia	Este término se utiliza para describir un tubo a presión que se utiliza para conducir las aguas residuales.
Colector troncal o primario	Los colectores troncales son las alcantarillas de gran diámetro que se utilizan para conducir las aguas residuales.
Interceptor	Los interceptores son alcantarillas de gran diámetro que se utilizan para interceptar un número de alcantarillas principales o colectores troncales y transmitir el efluente hacia instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

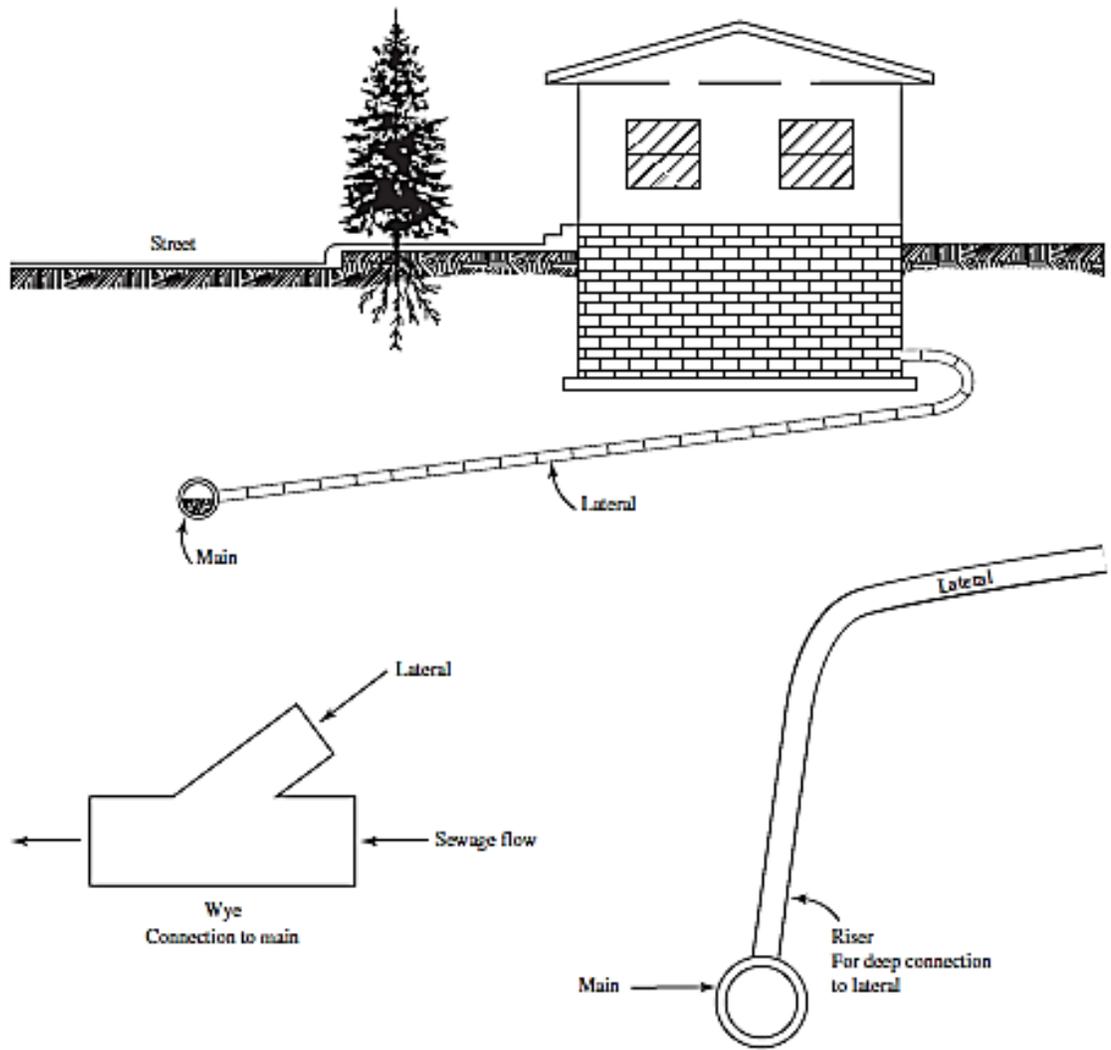


Imagen 10 Detalle de conexiones domiciliarias

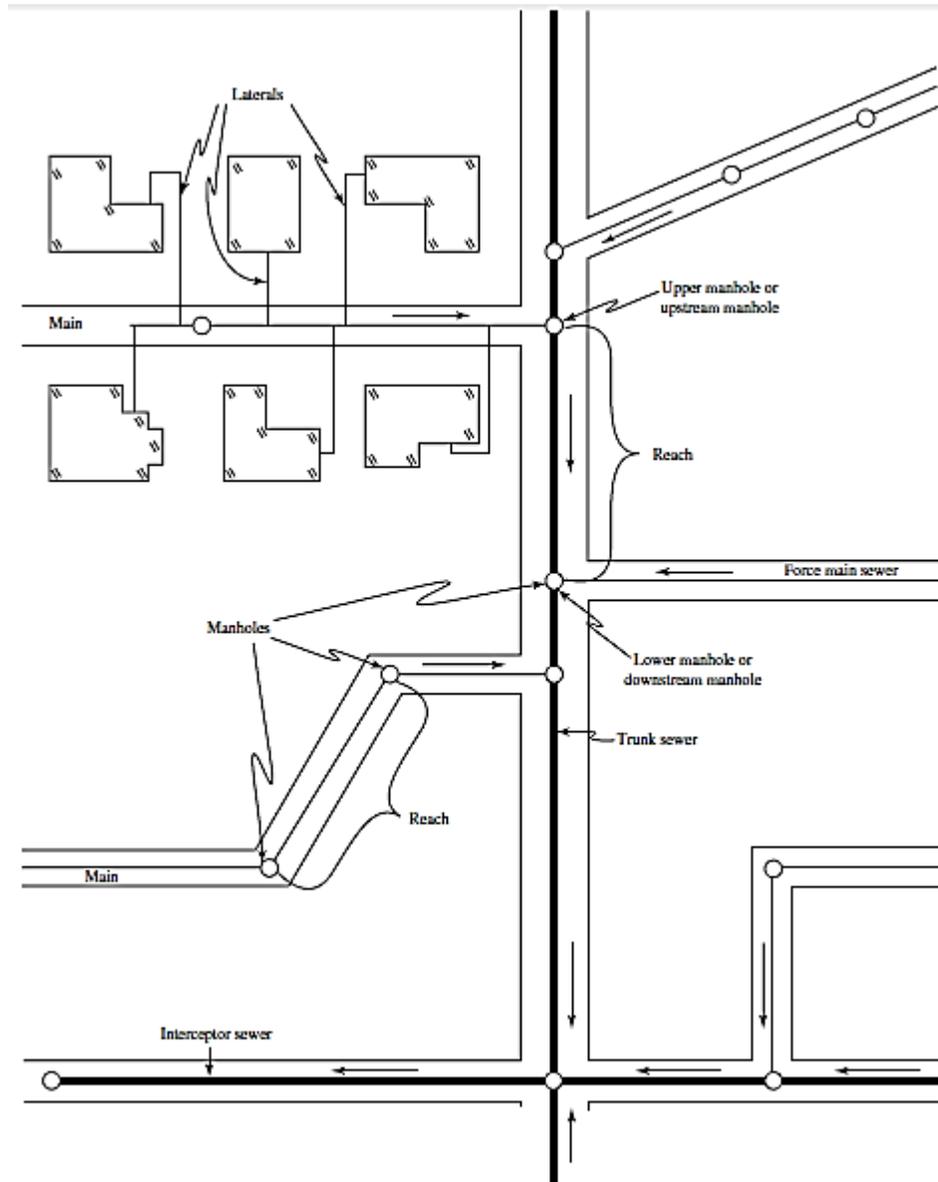


Imagen 11 Red de colectores. Nomenclatura de alcantarillado

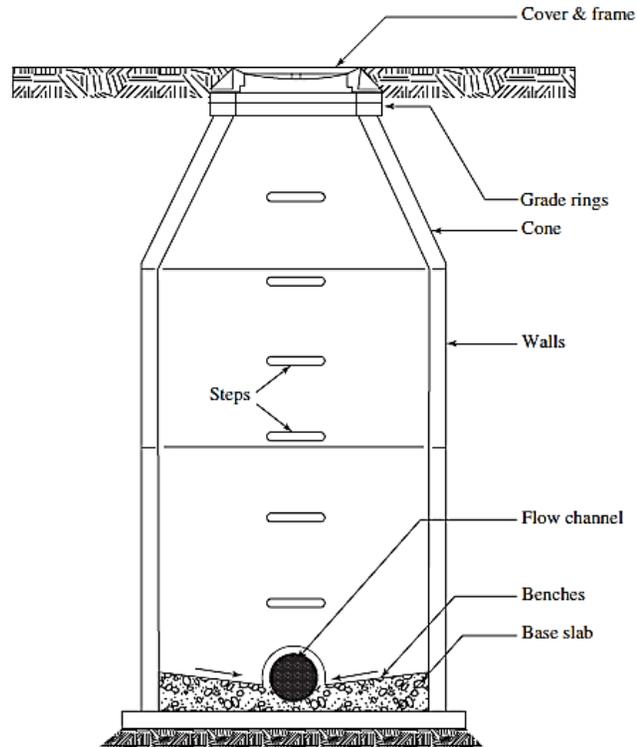


Imagen 12 Detalle de pozo de visita común

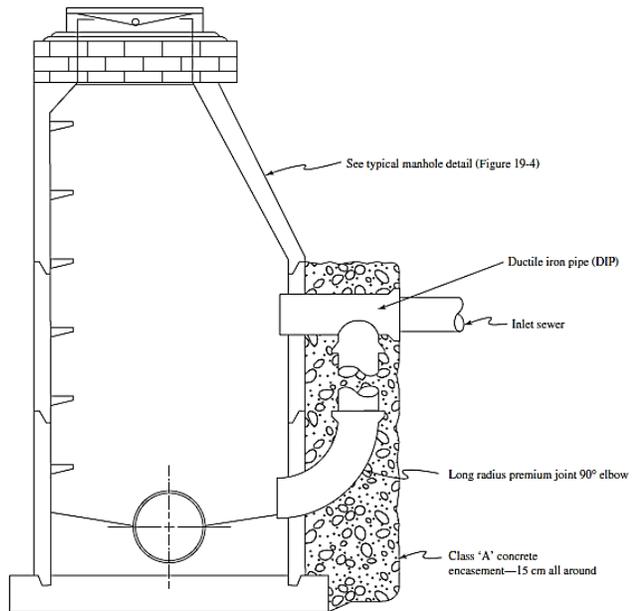


Imagen 13 Detalle de pozo de visita con caja de sostén

**Estaciones elevadoras y de bombeo.** Varias condiciones dan lugar a la necesidad de bombeo de aguas residuales en un sistema de recolección por gravedad.

Estas condiciones, aunque no se limitan a los siguientes casos, incluyen:

Terreno plano. Los tramos largos de tuberías para llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales pueden resultar en alcantarillas que son muy profundas. En algún momento, ya sea el ángulo de reposo del suelo limita la excavación perpendicular a la alcantarilla por falta de espacio disponible o el coste de la excavación adicional lo restringe.

Terreno montañoso. Cuando las colinas presentan un obstáculo que no puede ser eludido por flujo por gravedad, el agua residual puede ser bombeada por encima del obstáculo.

Obstáculos. Rocas de fondo, por ejemplo, puede limitar la profundidad de la alcantarilla.

El agua subterránea. Cuando la profundidad de la alcantarilla se coloca por debajo del nivel de las aguas subterráneas, puede ser deseable elevar el flujo del alcantarillado por bombeo. Esta condición se encuentra a menudo cuando se proporciona alcantarillado en propiedades ubicadas enfrente de lagos.

En estos casos, el agua residual puede ser llevada a punto más alto mediante el bombeo. Por lo tanto, estas estaciones de bombeo se denominan estaciones de elevadoras. Estaciones de bombeo convencionales similares a las utilizadas para el bombeo de agua de potable se construyen cuando los caudales son altos o para pretratamiento.

## **Actividades de prediseño**

### Investigación preliminar

Las investigaciones preliminares incluyen la recopilación de datos, tales como la demografía, las estimaciones de producción de aguas residuales, y los mapas. También incluye un reconocimiento bajo tierra para localizar obstáculos tales como alcantarillas existentes, cañerías de agua, líneas de gas, líneas eléctricas y telefónicas, y características similares. Una revisión ambiental se llevará a cabo para identificar la posible contaminación del suelo de los lugares de eliminación de residuos abandonados y estaciones de servicio. Investigaciones geológicas e hidrológicas también pueden ser apropiadas.

## Topografía y Cartografía

Con el fin de preparar los planos de construcción, el siguiente trabajo de investigación debe llevarse a cabo:

Ubicación de calles, derechos de vías, sótanos y sus elevaciones (generalmente estimados para las residencias), ubicación de elementos naturales como arroyos y zanjas y construcción de perfiles de elevación. Además, los puntos de referencia deben establecerse para su uso durante la construcción.

Para la disposición del sistema de alcantarillado, la escala del mapa utilizado es del orden de 1:1.000 a 1:3.000. Para los planos de construcción, la escala del mapa es del orden de 1:480 a 1:600 . Cuando hay un relieve significativo, los contornos se muestran en intervalos que van desde 250 mm a 3 m.

Las elevaciones de las intersecciones de calles, cambios bruscos en la calidad, la construcción de fundaciones y estructuras existentes (alcantarillado, estaciones de bombeo, etc.) que la nueva construcción debe conectarse con los incluidos en el mapa. Para los proyectos que abarcan más de una o dos calles, a menudo se utiliza la fotogrametría aérea.

### **Diseño del sistema de alcantarillado por gravedad**

El diseño de la red de alcantarillado es un proceso iterativo basado en la capacidad requerida del sistema para los caudales esperados. Se selecciona un diámetro de prueba para la red de tuberías, y se realiza un análisis hidráulico para el rango esperado de condiciones.

Los siguientes son los puntos principales que se deben abordar en el diseño de la red:

- Estimación de los caudales de aguas residuales.
- La selección de materiales de tuberías.
- Criterios de diseño.
- Diseño hidráulico.
- Diseño del sistema de recolección.

### Estimación de Caudales de aguas residuales

Los caudales de aguas residuales requeridos al inicio de la vida de servicio y en la vida de diseño son el caudal promedio diario, caudal hora pico, y la infiltración máxima permitida.

### Selección del material para tubería

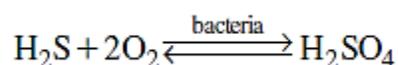
El material para alcantarillado primario con diámetros pequeños o medianos es el cloruro de polivinilo (PVC). Para mayores diámetros de tubería, tubería de hierro dúctil (DIP), polietileno de alta densidad (HDPE), o tubería de concreto reforzado (RCP) podrían ser especificados.

### ***CORROSIÓN EN LA CORONA DE LA TUBERÍA***

La corrosión de la corona de una alcantarilla es el resultado de las reacciones bioquímicas en las aguas residuales y en la humedad condensada en la corona de la alcantarilla. Con tramos de alcantarillado largos y poca transferencia de oxígeno del aire en el alcantarillado, o cuando las aguas residuales se asienta durante largos períodos (por ejemplo, en las zonas residenciales con poco o ningún flujo durante la noche), el alcantarillado se convierte en un medio anóxico o anaeróbico. En estas condiciones, el sulfato en las aguas residuales se reduce a sulfuro. A niveles normales de pH en las aguas residuales domésticas, el sulfuro se convierte en sulfuro de hidrógeno.

En las alcantarillas mal ventiladas, se acumula humedad en las paredes y la corona. El sulfuro de hidrógeno se disuelve en esta humedad. Como tal, no hace ningún daño.

Las bacterias capaces de oxidar el sulfuro de hidrógeno, en particular los del género Thiobacillus, siempre están presentes en las aguas residuales. En caudales elevados, estas bacterias son llevadas a las paredes y a la corona donde se adhieren después de que los altos flujos retroceden. Estas bacterias oxidan el sulfuro de hidrógeno en ácido sulfúrico mediante la siguiente reacción (Sawyer et al, 2003.):



Este fuerte ácido ataca materiales tales como hormigón, hierro o acero. La corona corroída falla bajo las condiciones de carga de la tierra sobre ésta. Estos procesos se resumen en la imagen No 14.

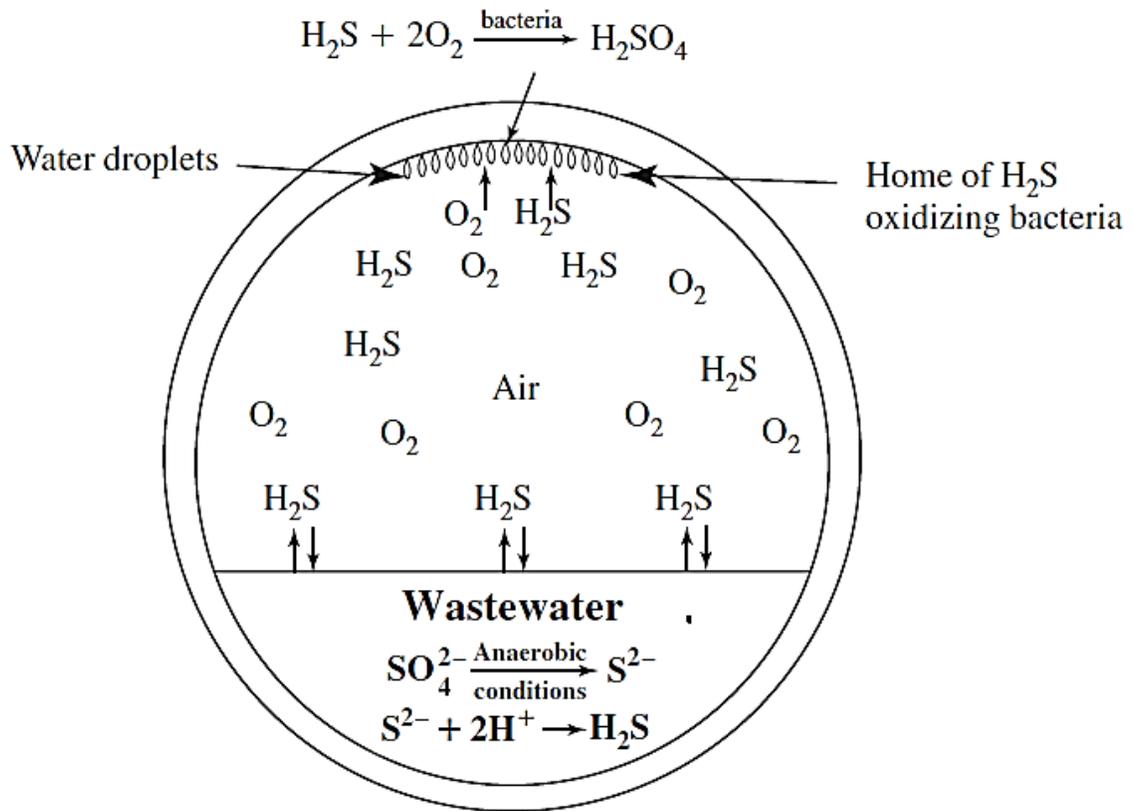


Imagen 14 Formación de sulfuro de hidrógeno y corrosión de la corona en las alcantarillas

Donde las temperaturas de aguas residuales son altas, los tiempos de detención de la alcantarilla son largos, y las concentraciones de sulfato en las aguas residuales son altos, esto es un problema particularmente grave que debe ser considerado en la selección de los materiales de las tuberías. Debido a que no son susceptibles a la corrosión de la corona, las tuberías VCP y PVC son frecuentemente elegidas para estas aplicaciones.

Cuando diámetros muy grandes requieren el uso de tuberías de concreto reforzado, estas deben ser revestidas con material resistente a la corrosión.

#### Criterios de diseño

**Ubicación.** En la construcción de nuevas zonas residenciales, la alcantarilla se sitúa normalmente en un lado de la calzada en el derecho de vía. Las conexiones de edificios a la red de alcantarillado, en el lado opuesto de la calle, pueden ser hechas mediante perforaciones debajo de la calle. En las

comunidades establecidas (o donde los códigos locales lo requieren), puede encontrarse en callejones detrás de la residencia o en la calle.

Las alcantarillas deben estar a una profundidad tal que puedan recibir el flujo contribuido por gravedad.

La profundidad máxima de alcantarillado es de aproximadamente 8 a 9 m. Cuando la profundidad excede de 8 a 9 m, se proporciona una estación de bombeo. En circunstancias excepcionales, el alcantarillado puede llegar a un límite práctico de construcción de 10 a 12 m de profundidad antes de construir una estación de bombeo.

Las alcantarillas se establecerán, al menos, a 3 m en sentido horizontal (de borde a borde) de las tuberías de agua existentes o propuestas. Las alcantarillas que cruzan la red de agua se propondrán a una distancia vertical mínima de 0.45 m entre el exterior de la tubería de agua potable y el exterior de la red de alcantarillado. Es preferible que la tubería de agua potable se encuentre por encima de la alcantarilla. En los empalmes, la tubería de agua potable se situará lo más lejos de la red de alcantarillado como sea posible. El alcantarillado deberá ser diseñado y construido igual que la tubería de agua potable, y se realizará una prueba de presión a 1035 kPa para asegurar impermeabilidad.

**Tamaño de la tubería.** Ningún alcantarillado público por gravedad, de transporte de aguas residuales, será menor de 200 mm de diámetro (GLUMRB, 2004). Este tamaño ha sido seleccionado para minimizar la obstrucción por algún material extraño entrante en la red de alcantarillado.

Algunos ingenieros diseñan tuberías de alcantarillado a caudal medio lleno de la capacidad de diseño para proporcionar un factor de seguridad. Esta práctica se ve favorecida cuando el diseño de los colectores secundarios tiene el potencial de ser extendidos, para acomodar el crecimiento. No se justifica para los colectores primarios o interceptores (Steel y McGhee, 1979).

**Pendiente.** Todas las alcantarillas deberán estar diseñadas y construidas para dar velocidades medias, a caudal lleno, de no menos de 0.6 m/s en base a la fórmula de Manning.

Las pendientes se calculan comúnmente usando la cota de fondo de la tubería. Pendientes mayores son deseables para mantener velocidades de auto limpieza en todas las velocidades de flujo, para la construcción, o para controlar gases de alcantarilla. A velocidad media de 0.3 m/s suele ser suficiente para evitar la deposición de los sólidos orgánicos de aguas residuales.

Para evitar la deposición de materia mineral, se requiere una velocidad media de 0.75 m/s. Las pendientes que dan lugar a velocidades medias de 0.5 m/s son utilizadas, pero éstas requieren una limpieza frecuente (Metcalf y Eddy, 1981).

Las tuberías de 1.2 m y mayores deben estar diseñadas y construidos para dar velocidades medias, a flujo lleno, de no menos de 0.9 m/s en base a la fórmula de Manning y un valor "n" de 0.013

El sobredimensionamiento de alcantarillas para justificar pendientes más aplanadas está prohibido. El uso de tubos más grandes en pendientes pequeñas reducirá la velocidad muy por debajo de la velocidad de auto-limpieza.

La acción erosiva del material suspendido en el agua residual depende de la naturaleza del material y la velocidad a la que es llevado. La acción erosiva determina la velocidad máxima de seguridad de las aguas residuales. En general, velocidades medias máximas de 2.5 a 3.0 m/s no dañará la alcantarilla (Metcalf y Eddy, 1981).

En los puntos donde las velocidades son superiores a 4.6 m/s se debe de proteger contra la erosión y el impacto. Las alcantarillas con pendientes de más de 20 por ciento deben estar bien ancladas.

La pendiente entre pozos de registro debe ser uniforme.

**Alineación.** En general, las alcantarillas menores o iguales a 600 mm de diámetro, se colocarán con la alineación recta entre pozos de registro. Alineación curvilínea de alcantarillas mayores de 600 mm se puede permitir si se especifican juntas de compresión. Las pendientes deben incrementarse con la alineación curvilínea para mantener una velocidad mínima por encima de 0.6 m/s. La práctica recomendada es utilizar pozos de registro adicionales y alineación recta entre pozos de registro.

Tabla 11 Pendientes mínimas recomendadas para alcantarillado por gravedad

Nominal diameter, mm	Minimum slope, m/m $n = 0.013$	Minimum slope, m/m $n = 0.010$	Capacity, flowing full, $m^3/s$
200	0.0033	0.0020	0.019
250	0.0025	0.0015	0.029
300	0.0019	0.0011	0.042
350	0.0016	0.0009	0.058
375	0.0014	0.0008 <sup>b</sup>	0.066
400	0.0013	0.0008 <sup>b</sup>	0.075
450	0.0011	0.0007 <sup>b</sup>	0.095
500	0.0010	0.0006 <sup>b</sup>	0.118
600	0.0008 <sup>b</sup>	0.0005 <sup>b</sup>	0.170

**Cambios en el tamaño de la tubería.** Cuando un tubo más pequeño se une a una más grande, el fondo de la alcantarilla más grande debe ser suficientemente baja para mantener el mismo gradiente de energía.

En ningún caso se debe descargar un tubo más grande en un tubo pequeño. A pesar de que un tubo más pequeño en una pendiente más pronunciada puede ser capaz de llevar el flujo más grande, existe potencial para que los objetos que viajan libremente en el tubo más grande puedan obstruir el tubo más pequeño.

**Pozos de visita.** Los pozos de registro se colocan en la unión de dos o más alcantarillas, en los cambios en la alineación vertical u horizontal, a cambios en el tamaño de alcantarillado, y al final de cada línea.

Los pozos de visita con caída se utilizan cuando las alcantarillas de entrada y salida difieren en la elevación de más de 0.6 m, también pueden ser utilizados para reducir la pendiente cuando las velocidades exceden velocidades erosivas (2.5-3.0 m/s).

Los pozos de visita en las pequeñas alcantarillas son típicamente de 1.2 m de diámetro. Un acceso mínimo de 0.6 m de diámetro debe ser proporcionado.

## 2.3.6 Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

### **Microbiología del agua residual**

La estabilización del agua residual se realiza biológicamente usando una variedad de microorganismos. Los microorganismos convierten la materia orgánica carbonácea disuelta y coloidal en otros compuestos, entre ellos están una serie de gases.

De los compuestos generados por la descomposición, los lodos son fácilmente removidos por ser ligeramente más pesados que el agua y son separados por sedimentadores.

El tipo de bacterias que se desarrollen va a depender de la composición de la materia orgánica presente en el agua, su grado de acidez, así como también la incidencia de factores exógenos como la temperatura y la cantidad de luz.

En el tratamiento del agua residual existen 3 tipos de procesos en la descomposición de los nutrientes orgánicos, los cuales son: descomposición anaerobia, anóxica y aerobia. Cada tipo de descomposición tiene características particulares que afectan su uso en el tratamiento de aguas residuales.

## 2.3.7 Tratamiento preliminar

La etapa inicial del tratamiento en el proceso de tratamiento de aguas residuales (después de la recogida y bombeo del influente) es un tratamiento preliminar. El proceso de selección normalmente se basa en las características esperadas del efluente. El efluente crudo que entra en la planta de tratamiento puede contener muchos tipos de materiales (basura), y el tratamiento preliminar protege a los equipos de la planta aguas abajo mediante la eliminación de estos materiales, lo que podría provocar obstrucciones o un desgaste excesivo en la maquinaria de la planta. Además, la eliminación de varios materiales al principio del sistema de tratamiento ahorra espacio valioso dentro de la planta de tratamiento.

Dos de los procesos utilizados en el tratamiento preliminar incluyen el canal de criba y desarenador, sin embargo, el tratamiento preliminar también puede incluir otros procesos, cada

uno diseñado para eliminar un tipo específico de material que presenta un problema potencial para los procesos de tratamiento unitario de aguas abajo. Estos procesos incluyen la trituración, la medición de flujo, pre-aireación, adición de químicos sobre el flujo y la equalización. Excepto en casos extremos, el diseño de plantas no incluirá todos estos artículos.

## **Criba**

Las cribas remueven sólidos de gran tamaño, tales como trapos, latas, piedras, ramas, hojas, raíces, etc. de la corriente antes de que el flujo llegue a los procesos aguas abajo.

### Ubicación

En casi todos los casos, las pantallas se deben instalar delante de los desarenadores para evitar el ensuciamiento de los equipos de cámara de arenilla.

### Velocidad

La velocidad de aproximación debe ser de al menos 0.4 m/s para reducir al mínimo la deposición de sólidos en el canal. La velocidad a través de la pantalla debe ser inferior a 0.9 m/s en las tasas de flujo máximo para minimizar el forzado del material a través de la pantalla (GLUMRB, 2004).

Una de varias alternativas se emplean para regular la velocidad a través de la pantalla, como la colocación de una estructura de control tal como un canal Parshall aguas abajo de la reja, el dimensionamiento del canal para el control de la velocidad mediante la ampliación del canal en la sección de la reja, etc.

### Canales

Se debe proporcionar de 2 canales como mínimo. Típicamente están contruidos de hormigón. Deben ser capaces de quedar aislados mediante el uso de compuertas deslizantes o huecos en las paredes de los canales para la inserción de placas moderadoras del flujo.

Las dimensiones de canal se seleccionan para conseguir las limitaciones de velocidad de acercamiento. El suelo del canal debe estar al mismo nivel, o debe tener una inclinación hacia abajo a través de la pantalla y no debe tener concavidades que puedan atrapar los sólidos. Los filetes se proporcionan para minimizar la acumulación de sólidos.

El canal de cribado debe ser recto y perpendicular a la pantalla y debe tener una distancia igual a 10 veces la profundidad de flujo (Metcalf y Eddy, 1972).

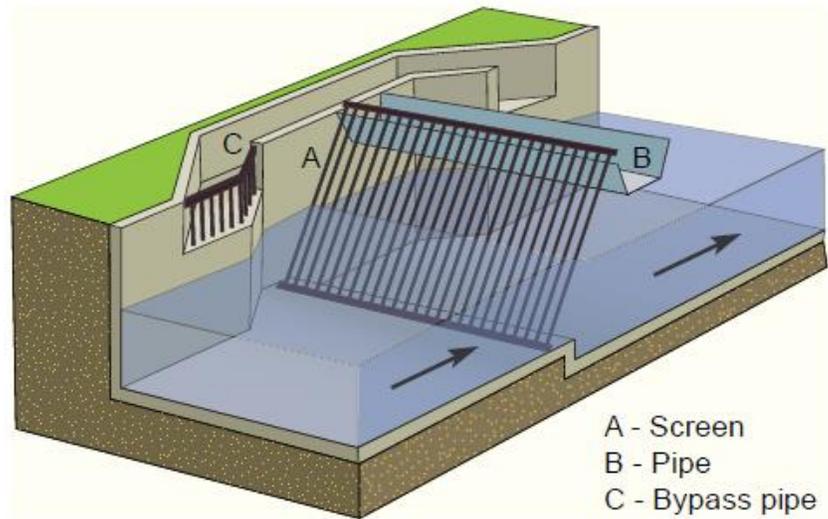


Imagen 15 Canal de rejillas con bypass

### Desarenador

Arena, grava, vidrios rotos, cáscaras de huevo, y otro material que tenga una velocidad de sedimentación sustancialmente mayor que la materia orgánica en las aguas residuales se llama arena. El desarenado se proporciona para proteger el equipo mecánico de la abrasión y al desgaste, reducir la formación de depósitos en las tuberías y canales, y reducir la frecuencia de limpieza que se requiere del digestor debido a la arena acumulada.

Un objetivo secundario, pero no por ello menos deseable del sistema desarenador, es separar el grano de la materia orgánica de las aguas residuales. Esta separación permite que la materia orgánica sea tratada en los procesos posteriores.

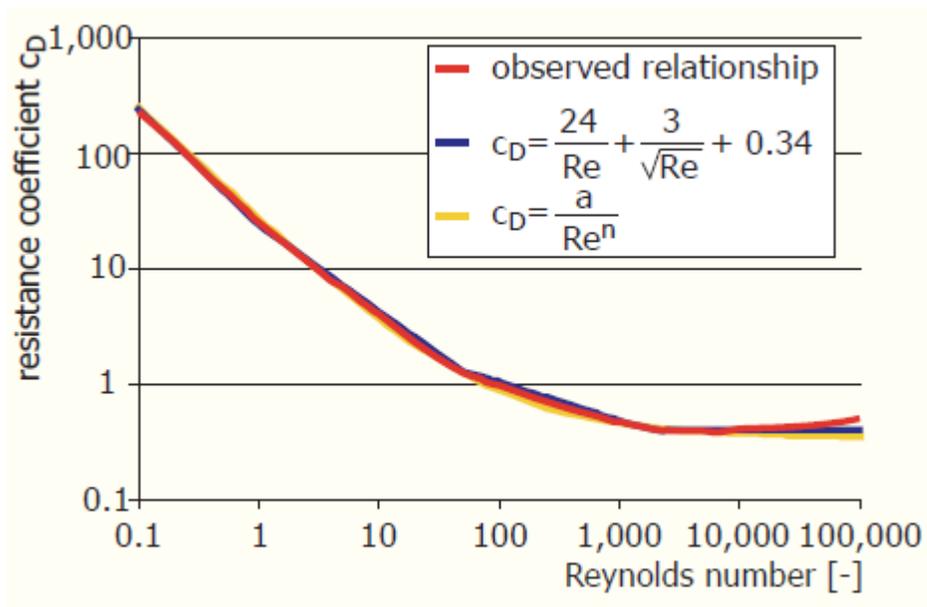
En su nivel más fundamental, el parámetro de control en el desarenado es la velocidad de sedimentación de la partícula. El comportamiento de las partículas sedimentables en el desarenador se describe comúnmente como sedimentación tipo I (partícula discreta).

Para separar el material inerte de las partículas orgánicas, los dispositivos desarenadores dependen de la diferencia de la gravedad específica entre los sólidos orgánicos e inorgánicos. En la separación por gravedad estándar se supone que todas las partículas se depositan de acuerdo con la ecuación de Newton siguiente

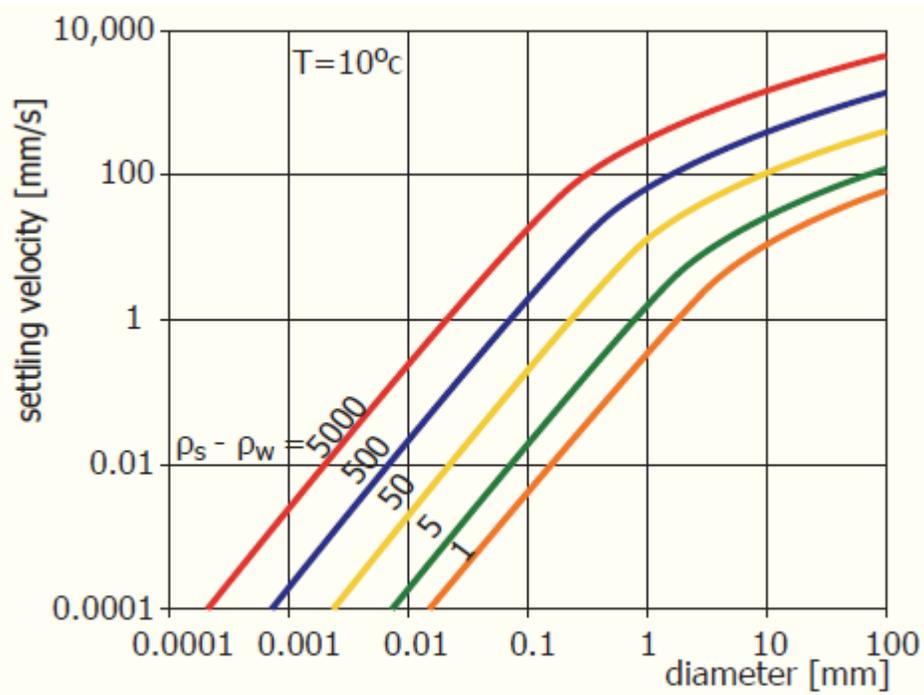
$$v_s = \left[ \frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3 C_D \rho} \right]^{1/2}$$

Y, por la ecuación de Camp (1942), para una velocidad de limpieza se tiene:

$$v_{\text{scour}} = \left[ \frac{8\beta(\rho_s - \rho)gd}{1,000(f)} \right]^{1/2}$$



Gráfica 1 Relación entre número de Reynolds y coeficiente de arrastre



Gráfica 2 Velocidad de sedimentación de partículas esféricas discretas

En un tanque desarenador de flujo horizontal, para asegurar la eliminación de la arena y la socavación de la materia orgánica que se deposita, tres condiciones deben cumplirse (Steel y McGhee, 1979):

1. La tasa de desbordamiento de la cámara debe ser igual a la velocidad de sedimentación de la partícula inorgánica.
2. La velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de erosión de las partículas inertes.
3. La velocidad horizontal debe ser mayor que la velocidad de erosión de las partículas orgánicas.

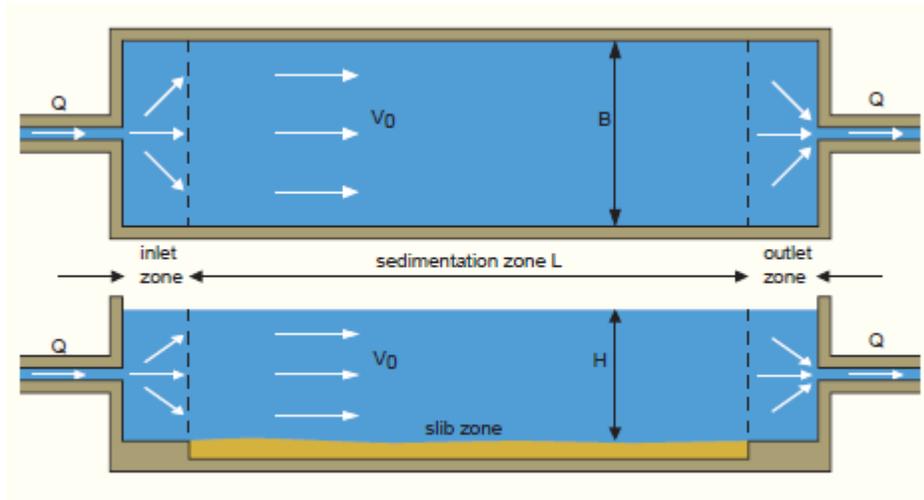


Imagen 16 Esquema general de tanque sedimentador

### 2.3.8 Tratamiento primario

El tratamiento primario es el primer proceso en la planta de tratamiento de aguas residuales para eliminar una fracción significativa de las partículas de materia orgánica (sólidos en suspensión). Estos sólidos en suspensión contribuyen a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5) de las aguas residuales, por lo tanto, la eliminación de sólidos en suspensión también reduce la DBO 5.

El proceso es importante porque la reducción de sólidos en suspensión y DBO 5 reduce la demanda de oxígeno, disminuye la tasa de consumo de energía, y reduce los problemas operativos con procesos de tratamiento biológico de aguas abajo.

El tratamiento primario también tiene la función importante de la eliminación de la escoria y partículas inertes que no fue eliminado en la cámara desarenador. La escoria se compone de grasa, aceite, plástico, hojas, trapos, pelos y otros materiales flotantes.

La principal forma de tratamiento primario es la sedimentación. En consecuencia, a este proceso se le refiere comúnmente como sedimentación primaria. Es la operación más antigua y más ampliamente utilizada en la unidad de tratamiento de aguas residuales.

Otras modificaciones y alternativas que han aumentado su uso son el mejoramiento de la sedimentación, pantallas finas y el uso de floculantes.

## Alternativas de tanques de sedimentación

### Tanque sedimentador de flujo vertical

En los tanques de sedimentación de flujo vertical la entrada del agua a tratar está situada en la parte inferior del tanque y el agua fluye en dirección hacia arriba.

La velocidad de flujo es igual, en este caso, a la carga superficial:

$$v_o = \frac{Q}{B \cdot L} = s_o$$

El resultado es que sólo las partículas con una velocidad de sedimentación mayor que la velocidad de flujo ascendente se asentará y otros serán lavados:

$S \geq S_o$  asienta completamente

$S < S_o$  no se asienta

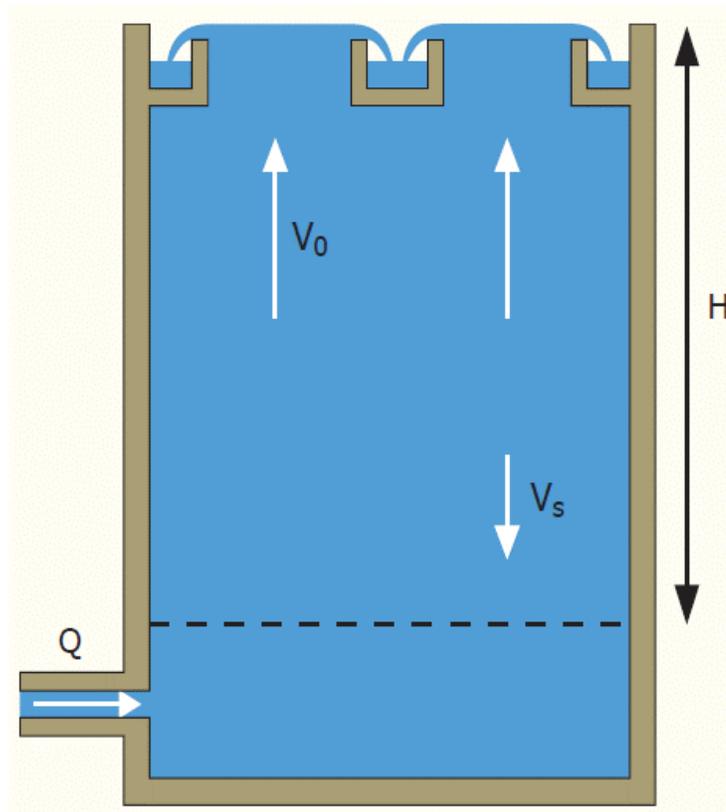


Imagen 17 Sedimentador de flujo vertical

La eficiencia de la sedimentación de partículas discretas en tanques de sedimentación de flujo vertical es menor que en los tanques de flujo horizontal, por lo tanto tanques de flujo vertical no se utilizan para suspensiones discretas (totalmente floculadas).

### **Clarificador**

El clarificador consiste en un tanque de flujo vertical (cónico). El coagulante se dosifica en la entrada del clarificador y la formación de flóculos se produce en la instalación.

Los flóculos ligeros con una velocidad de sedimentación menor que la velocidad de flujo ascendente se transportan con el flujo de agua en una dirección ascendente y chocan con flóculos más grandes y más pesados. Después de la unión, la velocidad de sedimentación aumenta hasta que alcanzan la parte inferior del tanque, donde se ha instalado un dispositivo de eliminación de lodos.

Los flóculos que no forman agregados son transportados a la parte superior de la instalación en la que el área de superficie es la más grande y la velocidad de flujo ascendente es la más baja, que permite la formación de flóculos.

La capa de flóculos es manipulado por un desagüe a la profundidad requerida. La capa de flóculos tiene un efecto de filtrado, incluso para pequeños flóculos. Por lo tanto, altas eficiencias se pueden lograr con tiempos de residencia relativamente cortos.

En resumen, la entrada del agua es en la parte superior de la instalación. Un dispositivo de agitación crea turbulencia en la cámara de formación de flóculos para aumentar la frecuencia de colisión. Después de salir de la cámara de mezcla, los flóculos forman una capa y el agua efluente se drena por las canaletas.

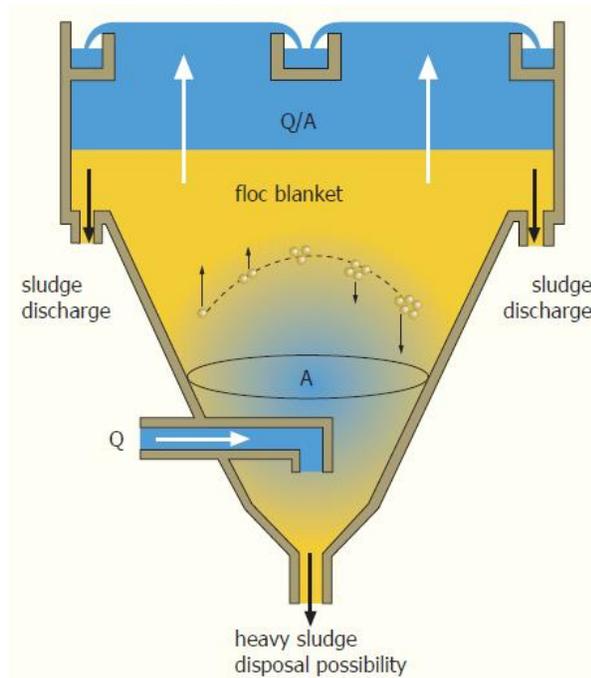
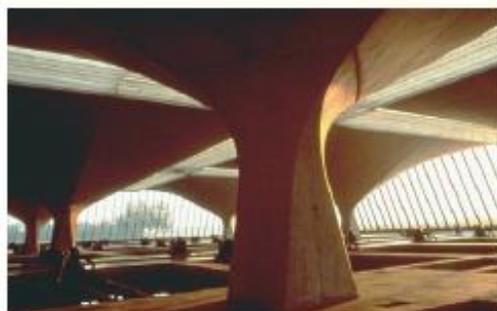
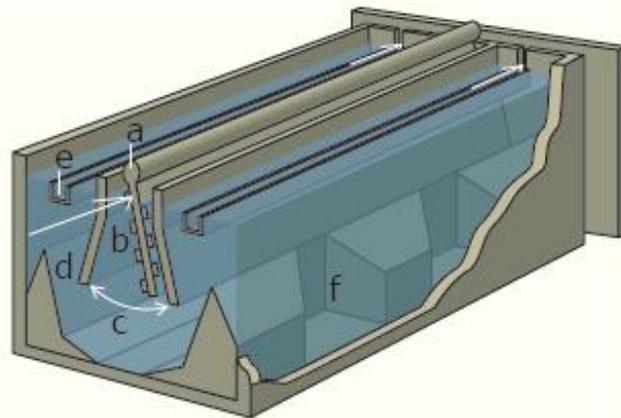


Imagen 18 Esquema de un clarificador



- a raw water feed
- b stirring mechanism
- c blending space
- d floc blanket
- e clear water discharge
- f sludge discharge

Imagen 19 Instalación de un clarificador

## Decantadores de pisos múltiples

La eficiencia de la sedimentación discreta se puede aumentar mediante la aplicación de deflectores horizontales (pisos falsos o bandejas).

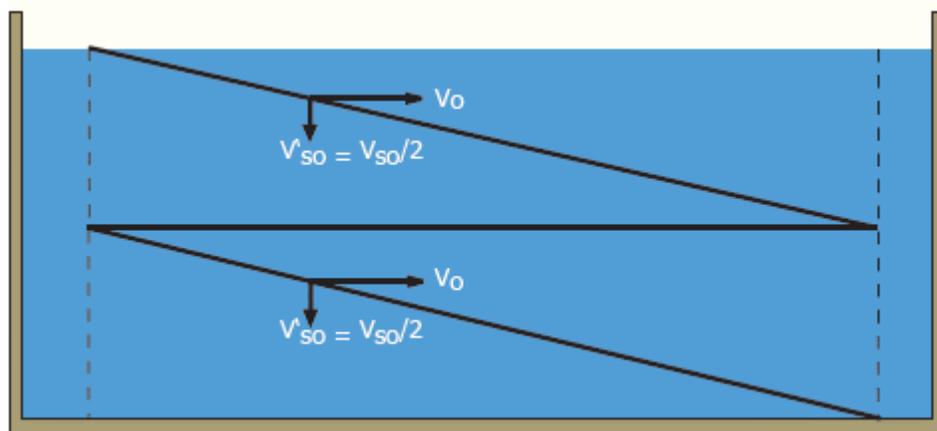


Imagen 20 Bandejas de sedimentación

La eficiencia de sedimentación de las partículas discretas es independiente de la altura del tanque de sedimentación. La aplicación de deflectores horizontales da un área doble de la superficie y la mitad de la carga superficial, lo que resulta en un aumento en la eficiencia.

Los deflectores horizontales también mejoran el patrón de flujo. El número de Reynolds disminuye y el número de Camp (medida de la estabilidad del flujo) aumenta. El flujo se vuelve menos turbulento y más estable.

## Tanques de sedimentación de placa inclinada

En los tanques de sedimentación de placa inclinada, el agua pasa por deflectores que se colocan en un ángulo pronunciado.

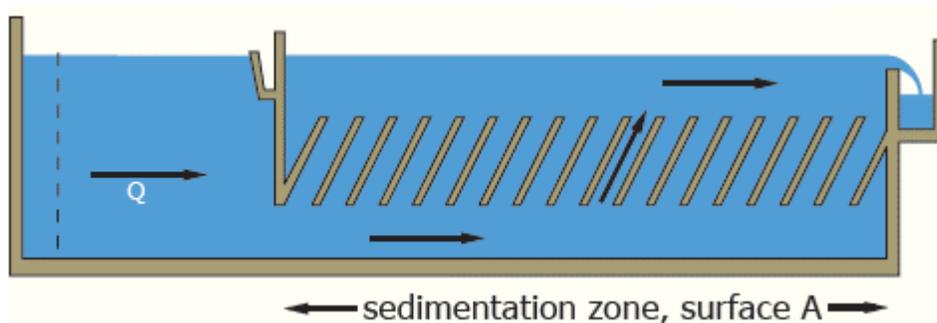


Imagen 21 Sedimentador de placas inclinadas

El agua fluye en dirección hacia arriba y el lodo se asienta en las placas y se desliza hacia abajo. El ángulo de las placas debe ser de aproximadamente 55 a 60 grados para asegurar la eliminación de lodos.

### 2.3.9 Tratamiento secundario

El mayor propósito de los tratamientos secundarios convencionales es el de oxidar la DBO biodegradable que ha escapado del tratamiento primario y de proveer de remoción posteriormente de los sólidos suspendidos, algunos de estos tratamientos secundarios también incluyen tratamiento contra el nitrógeno y fosforo los cuales provocan otro tipo de efectos perjudiciales para el cuerpo de agua receptor.

A continuación se mencionan los procesos para la remoción de DBO y la nitrificación:

#### **Lagunas de oxidación**

El tratamiento por lagunas ha sido utilizado para tratar las aguas residuales por muchos años, particularmente como sistema de tratamiento de agua residual para comunidades pequeñas. Muchos términos han sido utilizados para describir la diferencia entre los tipos de sistemas empleados en el tratamiento del agua residual.

Las lagunas de oxidación han sido ampliamente utilizadas en un término colectivo para todos los tipos de lagunas. Originalmente, una laguna de oxidación era una laguna que recibía agua residual parcialmente tratada.

En este término existen laguna aerobias, lagunas facultativas, lagunas anaeróbicas, lagunas de maduración o lagunas terciarias, lagunas aireadas, la diferencia radica en el grado de exposición al aire que tiene cada una, los distintos procesos de descomposición y los tipos de bacterias que participan en los distintos tipos de tratamiento.

### **Lodos activados**

El proceso de lodos activados deriva su nombre de la masa biológica formada cuando el aire es continuamente inyectado en las aguas residuales. En este proceso los microorganismos son mezclados a través de los compuestos orgánicos contenidos en el agua residual bajo condiciones que estimulan su crecimiento a través de uso de compuestos orgánicos como sustratos.

En la medida que los microorganismos crecen y son mezclados por la agitación del aire, los organismos individuales se forman en flóculos para crear una masa activa de microbios (flóculos biológicos) llamados lodos activados.

Existen varias combinaciones para una planta de tratamiento de lodos activados, las cuales son seleccionadas a partir de la eficiencia requerida, las necesidades de oxígeno, el tipo y cantidad de compuestos a eliminar. En estos sistemas de lodos activados, aunque la tasa de tratamiento de agua es alta, se necesita una fuerte inversión inicial para su construcción y también exigen altos costos energéticos debido a su complejidad.



Imagen 22 Tanque de aireación de lodos activados

## Filtros biológicos

Históricamente los filtros biológicos han sido procesos de tratamiento biológicos populares. El diseño más ampliamente utilizado por muchos años fue una cama simple de piedras de 1 a 3 metros de profundidad a través de la cual el agua residual pasaba. El agua residual es típicamente distribuida sobre la superficie de las rocas por un brazo rotatorio. Los filtros de roca podrían alcanzar diámetros mayores a 60 m.

Los filtros biológicos no son primariamente un proceso de filtrado como su nombre lo indica. Las rocas en un filtro de rocas son de 25 a 100 mm de diámetro, y por lo tanto tienen aberturas por las cuales pasan los sólidos. Las rocas están principalmente para proveer de área superficial donde los microorganismos pueden adherirse y alimentarse de la materia orgánica.

Aunque los filtros biológicos de rocas han funcionado bien por años, tienen ciertas limitaciones. Bajo altas cargas orgánicas, el crecimiento de la capa bacteriana puede ser muy prolífico por lo cual pueden tapar los espacios vacíos entre las rocas causando el fallo del sistema, esto restringe la circulación del aire y la cantidad de oxígeno disponible para los microbios, esta limitación a su vez restringe la cantidad de agua residual que puede ser procesada. Para superar estas limitaciones otros materiales se han utilizado para rellenar los filtros biológicos. Estos materiales incluyen módulos de hojas de plástico corrugado y anillos de plástico.



Imagen 23 Filtro biológico de medio filtrante rocoso



Imagen 24 Filtro biológico con medio filtrante sintético

### **Sedimentación secundaria**

La función de los tanques de sedimentación secundaria que son continuos a los filtros biológicos es de producir un efluente clarificado. La sedimentación secundaria que le sigue al proceso de lodos activados también cumplen la función de espesamiento para proveer una alta concentración de sólidos por cada retorno de lodos activados o agua residual y su subsecuente tratamiento.

La sedimentación secundaria puede ser diseñada para utilizarse de dos formas, una con el objetivo de clarificar las aguas residuales y la segunda con el objetivo de espesamiento de lodos para ser utilizados en tratamientos avanzados de lodos activados, para ambos tipos de funciones se tienen bases de diseños según el tratamiento previo que lleve el efluente.

## **Desinfección**

El propósito de la desinfección del agua residual es la de reducir la concentración de patógenos a niveles aceptables. Cada país establece sus normas basadas en la calidad del agua.

El límite de bacterias en el efluente debe ser restringido e la legislación y mayores restricciones deben ser impuestos para proteger el agua que se utiliza para la recreación.

## **Post-aireación**

Los requerimientos para incrementar los niveles de oxígeno disuelto se han vuelto estándares para la descarga de agua de calidad. Si no se tienen elevación suficiente para oxigenar el agua los difusores de aire son utilizados.

Las cascadas de aireación es la alternativa más simple siempre y cuando se disponga de la suficiente elevación.

## **Reactor UASB**

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales es aplicado en países de climas moderados a cálidos, particularmente en América Latina y la India.

Especialmente en Brasil el tratamiento anaeróbico es considerado una alternativa factible para el tratamiento de aguas residuales urbanas.

En sistemas de tratamiento convencionales de lodos activados cerca del 50% de la DQO entrante es convertida en lodo. La digestión anaerobia de los lodos en exceso recupera cantidades significativas de energía químicamente ligada en forma de biogás.

El biogás es entonces convertido en electricidad por medio de un generador el cual compensa en parte la energía utilizada en la aireación en un sistema de lodos activados.

Cuando la digestión de lodos está completamente optimizada un sistema de lodos activados puede operar sin el uso de combustibles fósil. Actualmente, unos pocos sistemas de lodos activados neutrales están operando en Europa.

Mediante el uso de tratamientos anaerobios como la principal tecnología de tratamiento, el uso de los combustibles fósil pueden evitarse y el tratamiento de aguas residuales fácilmente puede convertirse en una fuente productora de energía.

El evitar la aireación ahorra cerca de 75 KWh de energía eléctrica por cada 100 kg de DQO convertido. El ahorro en energía primaria es por supuesto mayor.

Debemos recordar aquí que la energía eléctrica es producida en centrales con eficiencias máximas del 40%. El excedente de energía que viene del reactor anaerobio puede ser calculado de la cantidad de biogás producido, la cual es como máximo la cantidad de DQO biodegradable entrando al reactor menos el DQO biodegradable dejando el sistema en el efluente o en los lodos.

Cuando se trabaja con el 100% de la DQO biodegradable por ejemplo una mezcla de ácidos grasos volátiles, el beneficio neto de energía puede llegar a 1,750 MJ por 100 kg DQO alimentado al reactor.

Este balance positivo de energía fue el conductor del interés por el desarrollo de los sistemas de tratamiento anaeróbicos de aguas residuales.

Sin embargo, debemos darnos cuenta que las aguas residuales contienen una fracción considerable de DQO no biodegradable. Por otro lado cerca del 50% de la DQO entrante consisten en solidos suspendidos que quedaran en el sistema como lodos en exceso.

Por lo tanto en lugar de una cantidad teórica de 35 m<sup>3</sup> de metano por cada 100 kg de DQO, la producción de metano observada durante el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales en América Latina está cerca de 12 m<sup>3</sup> de metano por cada 100 kg de DQO removido.

La forma más simple de tratamiento anaeróbico ocurre en sistemas de lagunas anaerobias, pero también los tanques sépticos o un tanque Imhoff pueden ser utilizados como pretratamiento anaeróbico de las aguas residuales.

Por lo general, los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente o reactores UASB son utilizados como sistemas anaeróbicos.

En resumen, los reactores anaerobios tienen las siguientes funcionalidades: Los reactores anaerobios están diseñados para retener los sedimentos tanto biodegradables como no biodegradables, sólidos suspendidos dentro del reactor.

Similarmente a los lodos activados, los reactores anaerobios mineralizarán los componentes orgánicos biodegradables.

Bajo condiciones anaeróbicas, el producto final se compone de biogás, una mezcla de metano y CO<sub>2</sub>.

Por medio de un clarificador incorporado, las partículas de lodo activado anaeróbicas son retenidas en el reactor. Por último, los sólidos retenidos, incluyendo el lodo recién desarrollado se estabilizan en el reactor de manera similar a un digestor de lodos convencional.

Analizando estas funcionalidades, un reactor UASB de hecho comprende 4 procesos unitarios, en vez de requerir varios procesos particulares como en el sistema de lodos activados, y estos son:

- 1) Clarificador primario
- 2) Bioreactor mineralizador de los componentes orgánicos
- 3) Clarificador secundario
- 4) Digestor de lodos

La potencial reducción significativa en costos de inversión y costos de operación son de particular interés en localidades donde la preocupación financiera es restrictiva en la implementación de cualquier otra tecnología de tratamiento.

Sin embargo debe tenerse en cuenta que el tratamiento anaeróbico solo retiene y trata la materia orgánica. Los nutrientes mineralizados y solubles son expulsados por el sistema con el efluente. La remoción de nitrógeno o fósforo requerirá de un post-tratamiento.

Alternativamente, los nutrientes mineralizados pueden ser recuperados y usados para propósitos agrícolas. La disposición general del sistema de reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales es bastante simple. Además de las pantallas automatizadas y quemadores de biogás, el

reactor no tiene partes electromecánicas. El agua fluye por gravedad, usando al menos 2 módulos UASB en paralelo.

Generalmente el agua residual del UASB es distribuida de arriba hacia abajo, el efluente es post-tratado para su descarga o su posterior utilización. Los lodos digeridos son descargados del reactor bajo la acción gravitatoria y secados en patios de secado. Y si la calidad del lodo seco lo permite, este puede ser utilizado para propósitos agrícolas.

El biogás producido, sale del reactor en la parte superior a través de un colector de gas diseñado en forma de embudo invertido.

Normalmente es quemado, pero en las plantas más grandes el biogás es convertido en electricidad o se utiliza como combustible.

Hasta ahora, los reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales se aplican en zonas de climas moderados a cálidos como en América Latina, particularmente en Brasil.

Un número de reactores a escala real también se han construido en el cercano Oriente y Asia central, particularmente en la India.

Entre los UASB se tienen plantas de tratamiento con volúmenes instalados entre los 100 m<sup>3</sup> y 50,000 m<sup>3</sup>, sirviendo a 1.5 millones de personas. Las eficiencias de remoción de DQO observadas y sólidos suspendidos oscilan entre un 70-80%. La remoción de DBO puede ser un poco más alta.

En cuanto a los patógenos, de la eficiencia de remoción de E. Coli es tan solo 1-2 log, mientras que los huevos de gusanos se pueden extirpar completamente. En muchos casos, sin embargo, eficiencias de eliminación de DQO inferiores son experimentadas, a menudo esto se puede atribuir al mantenimiento impropio del reactor o del control de los procesos.

Los reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales se aplican cuando las temperaturas de aguas residuales son mayores a los 20 ° C, las concentraciones de DQO son menores a 1,000 mg / L y de sólidos suspendidos no más de 500 mg / L.

En estas condiciones, el diseño volumétrico de un reactor UASB está completamente regido por el tiempo de retención hidráulica.

En promedio, la HRT se establece en 8 horas, dependiendo de las aguas residuales y la temperatura in-situ. Las limitaciones hidráulicas resultan de las velocidades verticales máximas aplicables, la prevención de los lodos de llevar a lo largo del reactor al efluente.

En Brasil, las velocidades ascendentes son alrededor de 0.7 m / h.

Con una altura media del reactor de 5-6 m, las dimensiones del reactor se pueden calcular fácilmente. Bajo las condiciones climáticas mencionadas y las concentraciones de aguas residuales, los sólidos que prevalecen los tiempos de retención no serán entonces restrictivos.

Sin embargo, se debe tener cuidado cuando las características de las aguas residuales se desvían significativamente de los valores mencionados.

Para mejorar el control de los problemas de obstrucción del afluente, el agua residual se alimenta desde la parte superior a la parte inferior. El agua se distribuye uniformemente a través de una caja de distribución a un número adecuado de tubos influyentes. Los tubos dirigen las aguas residuales hacia la parte inferior del reactor, donde se encuentra el flujo de salida del tanque.

Cuando las aguas residuales comienza a fluir, los sólidos sedimentables o el lodo primario comienza a acumularse en la parte de abajo del reactor. Así, conseguimos inmediatamente una eficiencia de remoción de DQO de unos 40 a 50%. En la parte superior del lecho se forma un manto de lodo que se caracteriza por partículas por ser partículas de lodos más pequeñas y ligeras.

Durante la puesta en marcha del reactor el lodo acumulado empieza a ser digerido y se produce biogás. La biomasa metanogénica ahora crecerá y también convertirá la DQO soluble en biogás. Las burbujas de biogás son recogidas por un colector de gas incorporado.

El biogás es transportado por los colectores de gas y para su posterior quema la quema o utilización. La construcción de los colectores de gas crea una zona adicional de sedimentación, o clarificador secundario, entre las campanas de gas.

Para evitar que el biogás entre en la zona de decantación los deflectores están contruidos para dirigir el biogás a los colectores de gas.

El efluente se descarga a canaletas que están montadas a lo largo de los lados de los colectores de gas. Para el control de la altura del lecho de lodos y la calidad, el muestreo de lodos se realiza desde varias alturas del reactor.

Se debe tener en cuenta que el exceso de lodos se retira usando un tubo de extracción, que está montado a mitad de camino del lecho de lodo.

Todas estas estructuras físicas tienen sus criterios de diseño exactos. Grandes sistemas de reactores UASB, son contruidos en Brasil y Colombia con módulos que alcanzan los 2000 m<sup>3</sup>.

Alternativamente, un reactor UASB puede preceder a un tratamiento posterior tales como un sistema de lagunas o humedales.

Hasta el momento, el tratamiento directo de aguas residuales anaerobio no es posible en países con condiciones climáticas templadas o fría.

### 2.3.10 Tratamiento terciario

La necesidad de tratar las aguas residuales más allá de la cual normalmente se alcanza en el tratamiento secundario está basada en el reconocimiento de los siguientes aspectos:

- a) Incremento en la presión de la población como resultado de la carga de materia orgánica y sólidos suspendidos en ríos, arroyos y lagos.
- b) La necesidad de incrementar la remoción de sólidos para proveer una desinfección más eficiente.
- c) La necesidad de remover nutrientes para limitar la eutrofización de cuerpos de agua sensibles.
- d) La necesidad de remover constituyentes que imposibilitan o inhiben en la recuperación del agua.

Inicialmente en los años 70 estos procesos eran llamados “tratamiento avanzado de aguas residuales” porque se empleaban técnicas que eran más avanzadas que los métodos de tratamiento secundario.

En las últimas tres décadas muchas de estas tecnologías han sido directamente incorporadas dentro de los procesos secundarios, por ejemplo la remoción de nutrientes.

Estos procesos incluyen la precipitación química, filtración granular, filtros de membrana, y adsorción por carbón.

Estos procesos convencionalmente son denominados tratamiento terciario en vez de procesos de tratamiento avanzados.

En la práctica habitual, el empleo de tratamiento de separación por aire, el intercambio iónico, filtro de membrana (ósmosis inversa), y otros procesos similares para cumplir con la calidad del agua son denominados tratamientos avanzados de agua residual.

Las tecnologías de tratamiento avanzadas de aguas residuales son fundamentalmente esas que se emplean para tratar el agua para darle posteriormente un reúso.

### **Precipitación química del fósforo**

Porque el fósforo es un elemento crítico en la promoción de la eutrofización. Antes del desarrollo de la tecnología de remoción biológica del fósforo, la precipitación química era el medio primario para remover el fósforo.

En muchos casos todavía es la única forma práctica para el cumplimiento de las normas por las necesidades de espacio o limitaciones económicas.

### **Filtración granular**

La filtración es utilizada cuando el límite de sólidos totales suspendidos (TSS) presentes en el agua es igual o menor a 10 mg/L.

La TSS es parte de la biomasa y por lo tanto es biodegradable, entonces la remoción de TSS reducirá la concentración de DBO en el efluente. Concentraciones en el rango de 4 a 10 mg/L deben ser alcanzados.

Adicionalmente al uso de la filtración puede utilizarse la combinación con un coagulante químico para mejorar la eficiencia del filtro.

Existen varias configuraciones en el uso de los filtros que dependerán de la dirección del flujo a tratar y necesidades del efluente a tratar.

### **Filtración por membrana**

Micro filtros de baja presión y membranas de ultrafiltración son utilizados para proveer de tratamiento terciario a efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. Aunque pueden ser utilizados en vez de la filtración granular, actualmente el mayor uso es para pre tratar efluentes secundarios para facilitar tratamientos avanzados por osmosis inversa antes de recargar un acuífero o utilización indirecta como agua potable.

### **Adsorción por carbón activo**

Incluso después del tratamiento secundario, coagulación, sedimentación, y filtración, materiales orgánicos solubles que son resistentes a su descomposición biológica persistirán en el efluente. Estos persistentes materiales se refieren frecuentemente a los orgánicos refractarios.

Los compuestos orgánicos refractarios pueden ser detectados en el efluente como DQO soluble. Los valores de DQO en efluentes provenientes de tratamiento secundario oscilan frecuentemente entre los 30 a 60 mg/L. El método más práctico disponible para remover los compuestos orgánicos refractarios es por absorción con carbón activado.

**CAPÍTULO 3**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCION  
DE AGUAS RESIDUALES**

## 3.1. Determinación de caudal de aguas residuales

### 3.1.1 Análisis de la población objetivo

El primer paso consiste en establecer “quienes” o “que” formará parte de nuestra población en estudio para determinar nuestro caudal de diseño.

El estudio presenta el inconveniente de que en la universidad la demanda de estudiantes no presenta una tendencia de crecimiento definida, sino que es una combinación de diferentes tendencias que varían en su velocidad de crecimiento y éste crecimiento a su vez depende de factores sociales, presupuestarios, y coyunturales que afectan la ampliación y extensión de los servicios educativos a los aspirantes de la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Determinar el caudal mediante la metodología propuesta en la norma técnica de ANDA resultaría en una manera insegura y poco predecible para determinar la cantidad de agua residual que se genera a diario en la universidad, ya que se desconoce si la dotación es aplicable aún para centros de estudio en donde se generan aguas residuales no solamente por parte de los servicios sanitarios, sino que también como parte de la formación del futuro profesional, se desarrollan prácticas de laboratorio en donde se hace uso de cantidades de agua importantes que luego convergen al sistema de tratamiento actual.

Además la implementación de la metodología ANDA aplica para una población que tiene una permanencia cercana al número total de habitantes dentro del área estudiada, mientras que la afluencia de la población posiblemente tenga picos en ciertos horarios pero que en la mayoría del tiempo no alcanza a ocupar su máxima capacidad posible en términos del espacio disponible, ocurre el escenario contrario cuando nos referimos a la demanda de estudiantes que el cuerpo de docentes puede atender.

Debido a la dificultad de plantear el problema a partir de un número específico de habitantes, se procedió a realizar estudios de carácter alternativo para corroborar el caudal de diseño a partir de otras variables.

Para tal caso se recurriría a otras series de procedimientos estadísticos y empíricos para poder obtener una estimación del máximo caudal probable que podría generarse a partir de todo el equipo sanitario existente dentro de la facultad.

Como segunda medida para determinar el caudal de diseño se procedería a cuantificar el área útil, además de un área adicional como resultado de proyecciones futuras, para poder así estimar una población de saturación (máxima cantidad de estudiantes probable), y adicional a esto se investigaría mediante un estudio de tráfico la afluencia de la población según la variación horaria.

Luego de obtener el valor para la población de saturación y el porcentaje de afluencia en horas pico, se haría uso de la metodología de la norma técnica de ANDA.

Obteniendo dos valores de caudal se analizaría el valor más conveniente en términos de dimensionamiento y proyecciones futuras.

### 3.1.2 Caudal de diseño

Se contabilizó el número de equipos sanitarios existentes y se clasificaron de acuerdo a su uso (tabla No 12), ya sea público o privado, para poder hacer uso de los métodos Hunter estándar, Hunter modificado, factor de simultaneidad, método racional, método británico y el método de la raíz cuadrada y establecer un caudal máximo probable.

Se utilizaron tablas y gráficos para asignar una carga tributaria a cada equipo de acuerdo a lo sugerido en cada método. (Tabla 13, 14, 15, 16 y 17)

Luego se presenta un cuadro resumen del caudal máximo probable por cada unidad de análisis (edificaciones que aportan caudal de aguas residuales). (Tabla No 18)

Se presenta el estudio de tráfico (Tabla No 19) y se procede a realizar el cálculo de la población de saturación (Tabla No 20) con estos datos se infiere en la cantidad máxima probable de personas presentes en el campus en horas pico, para luego trazar la curva de crecimiento poblacional. (Gráfico No 3)

Se proyecta un periodo de diseño de 22 años y a partir de ahí se utiliza la dotación propuesta en la norma técnica de ANDA para calcular el caudal. (Gráfico No. 4)

Finalmente se calcula un promedio ponderado, a partir de los métodos antes mencionados, con el fin de distribuir equitativamente el caudal calculado en base a la norma técnica ANDA. (Tabla No 22)

Se hace una comparación de todos los caudales de diseño calculados, incluyendo algunos aforos, y se escoge un método que supone un caudal lo más cercano a la norma técnica pero no menor que éste, ni mucho mayor. (Tabla No 24)

Tabla 12 Resumen de baterías sanitarias y laboratorios de la UES FMO

Ubicación	U (Pb)	R (Pb)	Lm (Pb)	Lb (Pb)	U (Pv)	R (Pv)	Lm (Pv)	F (Pv)	Lv (Pv)	Equipamiento especial (Áreas)	Total
Edificio El Riñón	0	0	0	0	6	6	8	0	0	-	20
Edificio de Medicina 1	0	12	12	0	0	2	0	0	0	-	26
Edificio de Medicina 2	0	12	12	8	4	4	0	0	0	<p><b>PRIMER NIVEL</b></p> <p>Laboratorio de macro-anatomía (122 m<sup>2</sup>)                      Laboratorio de micro-anatomía (69 m<sup>2</sup>)                      Laboratorio de fisiología-farmacología (33 m<sup>2</sup>)                      Bioterio (7 m<sup>2</sup>)                      Laboratorio de patología (56 m<sup>2</sup>)</p> <p><b>SEGUNDO NIVEL</b></p> <p>Laboratorio de química-clínica (80 m<sup>2</sup>)                      Laboratorio de bioquímica (113 m<sup>2</sup>)                      Laboratorio de fisiología-farmacología (112 m<sup>2</sup>)                      Laboratorio de microbiología (110 m<sup>2</sup>)</p>	40
Edificio de la Biblioteca	6	13	6	0	6	19	10	0	0	-	60
Baños (al costado de auditorio 1)	7	22	16	0	0	0	0	0	0	-	45

Ubicación	U (Pb)	R (Pb)	Lm (Pb)	Lb (Pb)	U (Pv)	R (Pv)	Lm (Pv)	F (Pv)	Lv (Pv)	Equipamiento especial (Áreas)	Total
Sector de agronomía	2	4	2	0	0	0	0	0	0	-	8
Sector de biología	0	2	2	1	0	0	0	0	0	Laboratorio de biología	5
Sector de química	0	0	0	4	0	0	0	0	0	Laboratorio de química	4
Edificio de aulas (Proyección)	2	7	6	0	0	0	0	0	0	-	15
Cafetines (al norte de Auditorio 1)	0	0	0	0	0	6	6	6	6	-	12
Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)	0	0	0	0	0	1	1	2	2	-	2
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>72</b>	<b>56</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>25</b>	<b>8</b>	<b>8</b>		<b>253</b>

Significado de abreviaturas:

U (Pb)	R (Pb)	Lm (Pb)	Lb (Pb)	U (Pv)	R (Pv)	Lm (Pv)	F (Pv)	Lv (Pv)
Urinario Público	Retrete Público	Lavamanos Público	Lavabo Público	Urinario Privado	Retrete Privado	Lavamanos Privado	Fregadero Privado	Lavadero Privado

Tabla 13 Método Hunter y Hunter Modificado

Unidad de análisis	Tipo de mueble	No de piezas (Púb)	No de piezas (Priv)	Uni. de gasto (Púb)	Uni. de gasto (Priv)	UG Parcial	UG Total Con fluxómetro	Gasto (Lts/seg) Hunter estándar	Gasto (Lts/seg) Hunter modificado
							Sin Fluxómetro		
Edificio El Riñón	Urinarios	0	6	1.5	0.75	4.5	0	1.21	0.86
	Retretes	0	6	5	3	18			
	Lavamanos	0	8	1.5	0.75	6	28.5		
	Lavabos	0	0	1.5	0	0			
Edificio de Medicina 1	Urinarios	0	0	1.5	0.75	0	0	2.74	1.87
	Retretes	12	2	5	3	66			
	Lavamanos	12	0	1.5	0.75	18	84		
	Lavabos	0	0	1.5	0	0			
Edificio de Medicina 2	Urinarios	0	0	1.5	0.75	0	0	3.15	2.18
	Retretes	12	4	5	3	72			
	Lavamanos	12	4	1.5	0.75	21	105		
	Lavabos	8	0	1.5	0	12			
Edificio de la Biblioteca	Urinarios	6	6	1.5	0.75	13.5	0	3.77	2.87
	Retretes	13	19	5	3	122			
	Lavamanos	6	10	1.5	0.75	16.5	152		
	Lavabos	0	0	1.5	0	0			
Baños (al costado de Auditorio 1)	Urinarios	7	0	5	5	35	35	6.33	4.6
	Retretes	22	0	5	3	110			
	Lavamanos	16	0	1.5	0.75	24	134		
	Lavabos	0	0	1.5	0	0			
Sector de agronomía	Urinarios	2	0	1.5	0.75	3	0	1.11	0.81
	Retretes	4	0	5	3	20			
	Lavamanos	2	0	1.5	0.75	3	26		
	Lavabos	0	0	1.5	0	0			
Sector de biología	Urinarios	0	0	1.5	0.75	0	0	0.72	0.53
	Retretes	2	0	5	3	10			
	Lavamanos	2	0	1.5	0.75	3	14.5		
	Lavabos	1	0	1.5	0	1.5			

Unidad de análisis	Tipo de mueble	No de piezas (Púb)	No de piezas (Priv)	Uni. de gasto (Púb)	Uni. de gasto (Priv)	UG Parcial	UG Total Con fluxómetro	Gasto (Lts/seg) Hunter estándar	Gasto (Lts/seg) Hunter modificado
							Sin Fluxómetro		
Sector de química	Urinarios	0	0	1.5	0.75	0	0	0.42	0.31
	Retretes	0	0	5	3	0			
	Lavamanos	0	0	1.5	0.75	0	6		
	Lavabos	4	0	1.5	0	6			
Edificio de aulas (Proyección)	Urinarios	2	0	5	5	10	10	3.4	2.5
	Retretes	7	0	5	3	35			
	Lavamanos	6	0	1.5	0.75	9	44		
	Lavabos	0	0	1.5	0	0			
Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Retretes	0	6	5	3	18	0	1.54	1.11
	Lavamanos	0	6	1.5	0.75	4.5			
	Fregaderos	0	6	3	1.5	9	40.5		
	Lavaderos	0	6	3	1.5	9			
Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)	Retretes	0	1	5	3	3	0	0.56	0.41
	Lavamanos	0	1	1.5	0.75	0.75			
	Fregaderos	0	2	3	1.5	3	9.75		
	Lavaderos	0	2	3	1.5	3			
<b>Total</b>								<b>24.95</b>	<b>18.05</b>

#### Desarrollo del método:

Se coloca el número de piezas sanitarias correspondientes a cada unidad de análisis y se clasifican de acuerdo a su uso (público o privado); se busca en la tabla de UG el valor adecuado al tipo de artefacto; se multiplica el número de piezas por el valor de gasto y se obtiene el gasto parcial; se realiza la sumatoria de los gastos parciales de los artefactos que funcionan mediante un fluxómetro y lo colocamos en la casilla superior correspondiente a la columna de UG total, los gastos de los artefactos que funcionan con tanque se colocan en la casilla inferior; se dirige a la gráfica, desarrollada para el método, para el cálculo de caudal probable de la cual identificamos el eje inferior a las unidades de gasto e interpolamos con la gráfica correspondiente (artefactos con fluxómetro o sin fluxómetro), y obtenemos el caudal máximo probable en el eje izquierdo en lts/s.

Tabla 14 Método Factor de Simultaneidad

Unidad de análisis	Tipo de mueble	No de piezas	$Q_{\min}$ unitario (Lts/seg)	Factor ( $K=0.8/\sqrt{n-1}$ )	$Q_{\text{probable}}$ (Lts/seg)	Total
Edificio El Riñón	Urinaris	6	0.15	0.36	0.32	<b>1.13</b>
	Retretes	6	0.15	0.36	0.32	
	Lavamanos	8	0.20	0.30	0.48	
	Lavabos	0	0.20	0.00	0.00	
Edificio de Medicina 1	Urinaris	0	0.15	0.00	0.00	<b>1.04</b>
	Retretes	14	0.15	0.22	0.47	
	Lavamanos	12	0.20	0.24	0.58	
	Lavabos	0	0.20	0.00	0.00	
Edificio de Medicina 2	Urinaris	0	0.15	0.00	0.00	<b>1.64</b>
	Retretes	16	0.15	0.21	0.50	
	Lavamanos	16	0.20	0.21	0.66	
	Lavabos	8	0.20	0.30	0.48	
Edificio de la Biblioteca	Urinaris	12	0.15	0.24	0.43	<b>1.78</b>
	Retretes	32	0.15	0.14	0.69	
	Lavamanos	16	0.20	0.21	0.66	
	Lavabos	0	0.20	0.00	0.00	
Baños (al costado de auditorio 1)	Urinaris	7	0.95	0.33	2.17	<b>3.41</b>
	Retretes	22	0.15	0.17	0.58	
	Lavamanos	16	0.20	0.21	0.66	
	Lavabos	0	0.20	0.00	0.00	
Sector de agronomía	Urinaris	2	0.15	0.80	0.24	<b>0.84</b>
	Retretes	4	0.15	0.46	0.28	
	Lavamanos	2	0.20	0.80	0.32	
	Lavabos	0	0.20	0.00	0.00	
Sector de biología	Urinaris	0	0.15	0.00	0.00	<b>0.76</b>
	Retretes	2	0.15	0.80	0.24	
	Lavamanos	2	0.20	0.80	0.32	
	Lavabos	1	0.20	1.00	0.20	

Unidad de análisis	Tipo de mueble	No de piezas	Q <sub>min</sub> unitario (Lts/seg)	Factor (K=0.8/√(n-1))	Q <sub>probable</sub> (Lts/seg)	Total
Sector de química	Urinarios	0	0.15	0.00	0.00	<b>0.37</b>
	Retretes	0	0.15	0.00	0.00	
	Lavamanos	0	0.20	0.00	0.00	
	Lavabos	4	0.20	0.46	0.37	
Edificio de aulas (Proyección)	Urinarios	2	0.95	0.80	1.52	<b>2.29</b>
	Retretes	7	0.15	0.33	0.34	
	Lavamanos	6	0.20	0.36	0.43	
	Lavabos	0	0.20	0.00	0.00	
Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Retretes	6	0.15	0.36	0.32	<b>1.72</b>
	Lavamanos	6	0.20	0.36	0.43	
	Fregaderos	6	0.25	0.36	0.54	
	Lavaderos	6	0.20	0.36	0.43	
Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)	Retretes	1	0.15	1.00	0.15	<b>1.07</b>
	Lavamanos	1	0.20	1.00	0.20	
	Fregaderos	2	0.25	0.80	0.40	
	Lavaderos	2	0.20	0.80	0.32	
<b>Total</b>						<b>16.05</b>

Desarrollo del método:

Se coloca el número de piezas sanitarias correspondientes a cada unidad de análisis; se busca en la tabla de gastos unitario del Método Factor de Simultaneidad el valor adecuado al tipo de artefacto; se obtiene el factor de simultaneidad mediante la ecuación indicada en la tabla; se multiplican el número de artefactos por el caudal unitario asignado y por el factor de simultaneidad y se obtiene el caudal probable para los artefactos del mismo tipo del edificio analizado; se suman los gastos probables de los distintos tipos de artefactos para cada unidad de análisis y se coloca sobre la columna de totales el cuál es el caudal máximo probable.

Tabla 15 Método Racional o Español

Unidad de análisis	Tipo de mueble	No de piezas	Q <sub>min</sub> unitario (Lts/seg)	Factor (K=1/v(n-1))	Q <sub>probable</sub> (Lts/seg)	Total
Edificio El Riñón	Urinarios	6	0.10	0.45	0.27	<b>0.84</b>
	Retretes	6	0.10	0.45	0.27	
	Lavamanos	8	0.10	0.38	0.30	
	Lavabos	0	0.10	0.00	0.00	
Edificio de Medicina 1	Urinarios	0	0.10	0.00	0.00	<b>0.75</b>
	Retretes	14	0.10	0.28	0.39	
	Lavamanos	12	0.10	0.30	0.36	
	Lavabos	0	0.10	0.00	0.00	
Edificio de Medicina 2	Urinarios	0	0.10	0.00	0.00	<b>1.13</b>
	Retretes	16	0.10	0.26	0.41	
	Lavamanos	16	0.10	0.26	0.41	
	Lavabos	8	0.10	0.38	0.30	
Edificio de la Biblioteca	Urinarios	12	0.10	0.30	0.36	<b>1.35</b>
	Retretes	32	0.10	0.18	0.57	
	Lavamanos	16	0.10	0.26	0.41	
	Lavabos	0	0.10	0.00	0.00	
Baños (al costado de auditorio 1)	Urinarios	7	0.95	0.41	2.71	<b>3.61</b>
	Retretes	22	0.10	0.22	0.48	
	Lavamanos	16	0.10	0.26	0.41	
	Lavabos	0	0.10	0.00	0.00	
Sector de agronomía	Urinarios	2	0.10	1.00	0.20	<b>0.63</b>
	Retretes	4	0.10	0.58	0.23	
	Lavamanos	2	0.10	1.00	0.20	
	Lavabos	0	0.10	0.00	0.00	
Sector de biología	Urinarios	0	0.10	0.00	0.00	<b>0.50</b>
	Retretes	2	0.10	1.00	0.20	
	Lavamanos	2	0.10	1.00	0.20	
	Lavabos	1	0.10	1.00	0.10	

Unidad de análisis	Tipo de mueble	No de piezas	Qmin unitario (Lts/seg)	Factor (K=1/v(n-1))	Qprobable (Lts/seg)	Total
Sector de química	Urinaris	0	0.10	0.00	0.00	<b>0.23</b>
	Retretes	0	0.10	0.00	0.00	
	Lavamanos	0	0.10	0.00	0.00	
	Lavabos	4	0.10	0.58	0.23	
Edificio de aulas (Proyección)	Urinaris	2	0.95	1.00	1.90	<b>2.45</b>
	Retretes	7	0.10	0.41	0.29	
	Lavamanos	6	0.10	0.45	0.27	
	Lavabos	0	0.10	0.00	0.00	
Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Retretes	6	0.10	0.45	0.27	<b>1.61</b>
	Lavamanos	6	0.10	0.45	0.27	
	Fregaderos	6	0.20	0.45	0.54	
	Lavaderos	6	0.20	0.45	0.54	
Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)	Retretes	1	0.10	1.00	0.10	<b>1.00</b>
	Lavamanos	1	0.10	1.00	0.10	
	Fregaderos	2	0.20	1.00	0.40	
	Lavaderos	2	0.20	1.00	0.40	
<b>Total</b>						<b>14.10</b>

Desarrollo del método:

Se coloca el número de piezas sanitarias correspondientes a cada unidad de análisis; se busca en la tabla de gastos unitario del Método Racional el valor adecuado al tipo de artefacto; se obtiene el factor de simultaneidad mediante la ecuación indicada en la tabla; se multiplican el número de artefactos por el caudal unitario asignado y por el factor de simultaneidad y se obtiene el caudal probable para los artefactos del mismo tipo del edificio analizado; se suman los gastos probables de los distintos tipos de artefactos para cada unidad de análisis y se coloca sobre la columna de totales el cuál es el caudal máximo probable.

Tabla 16 Método Británico

Unidad de análisis	Tipo de mueble	Piezas (Púb)	Piezas (Priv)	Qmin unitario (Lts/min) Público	Qmin unitario (Lts/min) Privado	Gasto parcial (Lts/min)	Gasto Total (Lts/min)	Demanda probable (Lts/seg)
Edificio El Riñón	Urinarios	0	6	30.28	18.93	113.58	287.72	<b>2.24</b>
	Retretes	0	6	30.28	18.93	113.58		
	Lavamanos	0	8	7.57	7.57	60.56		
	Lavabos	0	0	7.57	7.57	0.00		
Edificio de Medicina 1	Urinarios	0	0	30.28	18.93	0.00	492.06	<b>2.91</b>
	Retretes	12	2	30.28	18.93	401.22		
	Lavamanos	12	0	7.57	7.57	90.84		
	Lavabos	0	0	7.57	7.57	0.00		
Edificio de Medicina 2	Urinarios	0	0	30.28	18.93	0.00	620.76	<b>3.29</b>
	Retretes	12	4	30.28	18.93	439.08		
	Lavamanos	12	4	7.57	7.57	121.12		
	Lavabos	8	0	7.57	7.57	60.56		
Edificio de la Biblioteca	Urinarios	6	6	30.28	18.93	295.26	1169.69	<b>4.68</b>
	Retretes	13	19	30.28	18.93	753.31		
	Lavamanos	6	10	7.57	7.57	121.12		
	Lavabos	0	0	7.57	7.57	0.00		
Baños (al costado de auditorio 1)	Urinarios	7	0	57.00	57.00	399.00	1186.28	<b>4.72</b>
	Retretes	22	0	30.28	18.93	666.16		
	Lavamanos	16	0	7.57	7.57	121.12		
	Lavabos	0	0	7.57	7.57	0.00		
Sector de agronomía	Urinarios	2	0	30.28	18.93	60.56	196.82	<b>1.88</b>
	Retretes	4	0	30.28	18.93	121.12		
	Lavamanos	2	0	7.57	7.57	15.14		
	Lavabos	0	0	7.57	7.57	0.00		
Sector de biología	Urinarios	0	0	30.28	18.93	0.00	83.27	<b>1.17</b>
	Retretes	2	0	30.28	18.93	60.56		
	Lavamanos	2	0	7.57	7.57	15.14		
	Lavabos	1	0	7.57	7.57	7.57		

Unidad de análisis	Tipo de mueble	Piezas (Púb)	Piezas (Priv)	Qmin unitario (Lts/min) Público	Qmin unitario (Lts/min) Privado	Gasto parcial (Lts/min)	Gasto Total (Lts/min)	Demanda probable (Lts/seg)
Sector de química	Urinarios	0	0	30.28	18.93	0.00	30.28	<b>0.48</b>
	Retretes	0	0	30.28	18.93	0.00		
	Lavamanos	0	0	7.57	7.57	0.00		
	Lavabos	4	0	7.57	7.57	30.28		
Edificio de aulas (Proyección)	Urinarios	2	0	57.00	57.00	114.00	371.38	<b>2.58</b>
	Retretes	7	0	30.28	18.93	211.96		
	Lavamanos	6	0	7.57	7.57	45.42		
	Lavabos	0	0	7.57	7.57	0.00		
Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Retretes	0	6	30.28	18.93	113.58	340.68	<b>2.51</b>
	Lavamanos	0	6	7.57	7.57	45.42		
	Fregaderos	0	6	15.14	15.14	90.84		
	Lavaderos	0	6	15.14	15.14	90.84		
Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)	Retretes	0	1	30.28	18.93	18.93	87.06	<b>1.20</b>
	Lavamanos	0	1	7.57	7.57	7.57		
	Fregaderos	0	2	15.14	15.14	30.28		
	Lavaderos	0	2	15.14	15.14	30.28		
<b>Total</b>								<b>27.66</b>

#### Desarrollo del método:

Se coloca el número de piezas sanitarias correspondientes a cada unidad de análisis y se clasifican de acuerdo a su uso (público o privado); se busca en la tabla de caudales unitarios el valor adecuado al tipo de artefacto; se multiplica el número de piezas por el valor de gasto y se obtiene el gasto parcial; se realiza la sumatoria de los gastos parciales de los artefactos y se coloca el valor en la columna de gastos totales; la demanda probable es menor al gasto total calculado y se puede identificar interpolando los valores de la tabla de descargas simultáneas del método Británico a partir de nuestro gasto total calculado.

Tabla 17 Método de la Raíz Cuadrada o Alemán

Unidad de análisis	Tipo de mueble	ni	fi	$Q = 0.25 \cdot \sqrt{ni \cdot fi}$	Demanda total (Lts/seg)
Edificio El Riñón	Urinarios	6	1	1.12	<b>1.12</b>
	Retretes	6	1		
	Lavamanos	8	1		
	Lavabos	0	1		
Edificio de Medicina 1	Urinarios	0	1	1.27	<b>1.27</b>
	Retretes	14	1		
	Lavamanos	12	1		
	Lavabos	0	1		
Edificio de Medicina 2	Urinarios	0	1	1.58	<b>1.58</b>
	Retretes	16	1		
	Lavamanos	16	1		
	Lavabos	8	1		
Edificio de la Biblioteca	Urinarios	12	1	1.94	<b>1.94</b>
	Retretes	32	1		
	Lavamanos	16	1		
	Lavabos	0	1		
Baños (al costado de auditorio 1)	Urinarios	7	4	2.03	<b>2.03</b>
	Retretes	22	1		
	Lavamanos	16	1		
	Lavabos	0	1		
Sector de agronomía	Urinarios	2	1	0.71	<b>0.71</b>
	Retretes	4	1		
	Lavamanos	2	1		
	Lavabos	0	1		
Sector de biología	Urinarios	0	1	0.56	<b>0.56</b>
	Retretes	2	1		
	Lavamanos	2	1		
	Lavabos	1	1		

Unidad de análisis	Tipo de mueble	ni	fi	$Q = 0.25 \cdot v(ni \cdot fi)$	Demanda total (Lts/seg)
Sector de química	Urinarios	0	1	0.50	<b>0.50</b>
	Retretes	0	1		
	Lavamanos	0	1		
	Lavabos	4	1		
Edificio de aulas (Proyección)	Urinarios	2	4	1.15	<b>1.15</b>
	Retretes	7	1		
	Lavamanos	6	1		
	Lavabos	0	1		
Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Retretes	6	1	1.22	<b>1.22</b>
	Lavamanos	6	1		
	Fregaderos	6	1		
	Lavaderos	6	1		
Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)	Retretes	1	1	0.61	<b>0.61</b>
	Lavamanos	1	1		
	Fregaderos	2	1		
	Lavaderos	2	1		
<b>Total</b>					<b>12.69</b>

Desarrollo del método:

Se coloca el número de piezas sanitarias correspondientes a cada unidad de análisis; se asigna un factor de carga "fi" correspondiente al diametro de la tubería que abastece cada artefacto, refierase a la tabla de factores de carga correspondientes al método de la Raíz cuadrada; se obtiene el caudal máximo probable para cada tipo de artefacto mediante la ecuación indicada en la tabla; se suman los gastos de cada tipo de artefacto y se obtiene la demanda total, en lts/seg, para cada unidad de análisis.

Tabla 18 Resumen de cálculo de caudal

Método	Caudales máximos (Lts/seg) por unidades de análisis												Total
	Edificio El Riñón	Edificio de Medicina 1	Edificio de Medicina 2	Edificio de la Biblioteca	Baños (al costado de auditorio 1)	Sector de agronomía	Sector de biología	Sector de química	Edificio de aulas (Proyección)	Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1)		
Hunter estándar	1.210	2.740	3.150	3.770	6.330	1.110	0.720	0.420	3.400	1.540	0.560		24.95
Hunter modificado	0.860	1.870	2.180	2.870	4.600	0.810	0.530	0.310	2.500	1.110	0.410		18.05
Factor de simultaneidad	1.128	1.045	1.641	1.785	3.409	0.837	0.760	0.370	2.292	1.717	1.070		16.05
Racional	0.839	0.750	1.129	1.350	3.608	0.631	0.500	0.231	2.454	1.610	1.000		14.10
Británico	2.240	2.910	3.290	4.680	4.720	1.880	1.170	0.480	2.580	2.510	1.200		27.66
Raíz cuadrada	1.118	1.275	1.581	1.936	2.031	0.707	0.559	0.500	1.146	1.225	0.612		12.69

Tabla 19 Resultados de estudio de tráfico

Total de peatones entrando (Acumulado)	Total de peatones saliendo (Acumulado)	Saldo	Porcentaje aproximado de permanencia en la universidad	HORA	
				DE	HASTA
1630	23	1607	22.96%	07:00:00 a.m.	08:00:00 a.m.
2516	214	2301	32.88%	08:00:00 a.m.	09:00:00 a.m.
3319	586	2733	39.04%	09:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.
3865	1237	2628	37.54%	10:00:00 a.m.	11:00:00 a.m.
4336	2474	1862	26.60%	11:00:00 a.m.	12:00:00 m.
5329	3338	1991	28.44%	12:00:00 m.	01:00:00 p.m.
5992	3697	2295	32.79%	01:00:00 p.m.	02:00:00 p.m.
6478	4568	1910	27.28%	02:00:00 p.m.	03:00:00 p.m.
6858	5497	1362	19.45%	03:00:00 p.m.	04:00:00 p.m.
7019	6318	701	10.02%	04:00:00 p.m.	05:00:00 p.m.
7043	6777	267	3.81%	05:00:00 p.m.	06:00:00 p.m.
7052	7017	35	0.50%	06:00:00 p.m.	07:00:00 p.m.

En el estudio de tráfico se observa que las horas pico ocurren entre las 9:00 a.m. y 11:00 a.m., mostrando también una afluencia significativa entre la 1:00 p.m. y 2:00 p.m.

Los resultados de permanencia demuestran que es posible normalizar la población para las 2 jornadas (mañana y tarde), colocando como valor medio, en ambas curvas normales, un 40% de la población.

Tabla 20 Estimación de población de saturación

<b>Unidad de análisis</b>	<b>Área útil (m2)</b>	<b>Capacidad (Personas)</b>
Auditorium 1	797	797
Aulas de derecho	260	260
Aulas de letras	107	107
Biblioteca	1740	1740
Aulas de economía	521	521
Kioskos	186	186
Profesorado	177	177
Matematica	102	102
Psicologia	71	71
Aula 22	130	130
Edificio de Medicina 1	645	645
Edificio de Medicina 2	603	603
Sector de agronomía	201	201
Edificio de aulas (Proyección)	982	982
Docente + Administrativo + Mantenimiento	369	369
<b>Total</b>		<b>6891</b>

Asumiendo que cada persona ocupa un área útil de 1.0 m<sup>2</sup> se estima que la capacidad de las instalaciones actuales más las proyecciones futuras es de 6,891 personas.

Si aplicamos la misma tendencia de permanencia de la población obtenida a partir del estudio de tráfico y asumimos que 6,891 personas sólo representa al 40% de la población universitaria, ya que el total de la población no puede estar presente de una sola vez en las instalaciones de la universidad debido a la variación de los horarios y la ocupación de los espacios pedagógicos, podemos calcular el total equivalente de la población asumiendo un 80% de saturación, tal como se propone en la norma técnica ANDA para el cálculo de caudales de aguas residuales. Por lo que puede estimarse la población de saturación de la siguiente manera:

$$Ps = (6,891 \div 40\%) \times 80\%; \quad \text{dando como resultado } Ps = 13,782 \text{ personas}$$

En la tabla No 21 se muestran datos obtenidos acerca de la población asistente a las instalaciones de la universidad.

A partir de estos datos se construirá el gráfico de crecimiento poblacional.

Tabla 21 Datos de población UES FMO

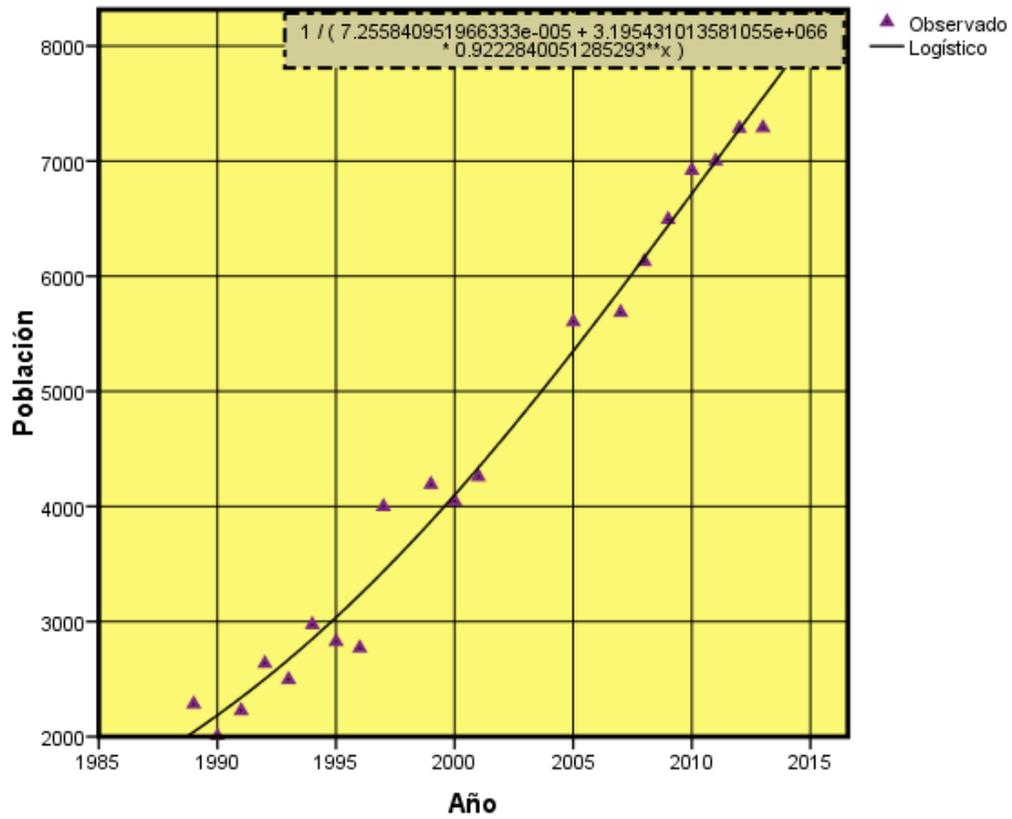
N	Año	Alumnos + Docente + Administrativo + Mantenimiento
1	1989	2282
2	1990	2005
3	1991	2225
4	1992	2636
5	1993	2496
6	1994	2974
7	1995	2826
8	1996	2770
9	1997	3998
10	1999	4191
11	2000	4047
12	2001	4258
13	2005	5605
14	2007	5685
15	2008	6128
16	2009	6492
17	2010	6921
18	2011	7002
19	2012	7286
20	2013	7289

*Fuente: Elaboración propia*

En el gráfico No 3 se muestra el arreglo matemático que describe el comportamiento de la población universitaria durante el periodo de datos obtenidos.

Gráfica 3 Datos de población UES FMO

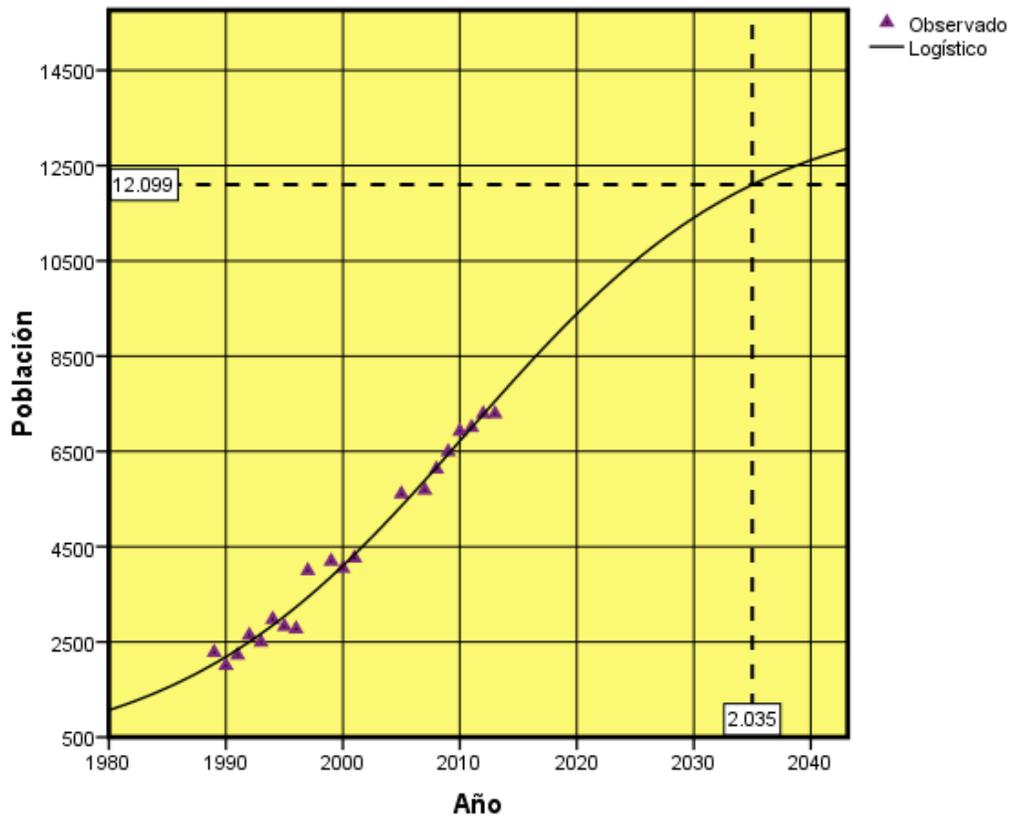
### Gráfico de ajuste logístico de población universitaria UES FMO



En el gráfico No 4 se realiza una extrapolación para nuestro período de diseño para el sistema de conducción y de tratamiento de aguas residuales y se obtienen 12,100 personas aproximadamente.

Gráfica 4 Extrapolación de datos de población UES FMO

### Extrapolación de gráfico de ajuste logístico de población universitaria UES FMO



En la siguiente tabla 22 observamos el promedio ponderado (en base a los distintas metodologías descritas) de los caudales de aporte por cada instalación sanitaria.

Luego se realiza una distribución del caudal de diseño, calculado en base a norma técnica ANDA (tabla No 23); esto se efectúa de acuerdo a las ponderaciones calculadas de la tabla No 22.

Tabla 22 Promedio ponderado por cada método de análisis

Método	Porcentaje del caudal total por unidad de análisis										
	Edificio El Riñón	Edificio de Medicina 1	Edificio de Medicina 2	Edificio de la Biblioteca	Baños (al costado de auditorio 1)	Sector de agronomía	Sector de biología	Sector de química	Edificio de aulas (Proyección)	Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Cafetin (al sur de Edificio de Medicina 1)
Hunter estándar	4.85%	10.98%	12.63%	15.11%	25.37%	4.45%	2.89%	1.68%	13.63%	6.17%	2.24%
Hunter modificado	4.76%	10.36%	12.08%	15.90%	25.48%	4.49%	2.94%	1.72%	13.85%	6.15%	2.27%
Factor de simultaneidad	7.03%	6.51%	10.22%	11.12%	21.24%	5.21%	4.73%	2.30%	14.28%	10.70%	6.67%
Racional	5.95%	5.32%	8.00%	9.57%	25.59%	4.47%	3.55%	1.64%	17.40%	11.42%	7.09%
Británico	8.10%	10.52%	11.89%	16.92%	17.06%	6.80%	4.23%	1.74%	9.33%	9.07%	4.34%
Raíz cuadrada	8.81%	10.05%	12.46%	15.26%	16.00%	5.57%	4.41%	3.94%	9.03%	9.65%	4.83%
<b>Promedio ponderado</b>	<b>6.52%</b>	<b>9.33%</b>	<b>11.43%</b>	<b>14.44%</b>	<b>21.76%</b>	<b>5.26%</b>	<b>3.73%</b>	<b>2.04%</b>	<b>12.66%</b>	<b>8.56%</b>	<b>4.28%</b>

Tabla 23 Cálculo de caudal mediante norma técnica ANDA, y caudales aforados

Método	Caudales máximos (Lts/seg) por unidades de análisis											
	Edificio El Riñón	Edificio de Medicina 1	Edificio de Medicina 2	Edificio de la Biblioteca	Baños (al costado de auditorio 1)	Sector de agronomía	Sector de biología	Sector de química	Edificio de aulas (Proyección)	Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Cafetin (al sur de Edificio de Medicina 1)	Total
Norma técnica ANDA	0.876	1.254	1.536	1.941	2.925	0.708	0.502	0.274	1.702	1.150	0.575	13.44
Aforado	---	---	---	0.180	0.297	---	0.022	0.061	---	0.161	---	---

Tabla 24 Resumen– Consolidado de cálculo de caudal

Método	Caudales máximos (Lts/seg) por unidades de análisis											Total
	Edificio El Riñón	Edificio de Medicina 1	Edificio de Medicina 2	Edificio de la Biblioteca	Baños (al costado de auditorio 1)	Sector de agronomía	Sector de biología	Sector de química	Edificio de aulas (Proyección)	Cafetines (al norte de Auditorio 1)	Cafetin (al sur de Edificio de Medicina 1)	
Hunter estándar	1.210	2.740	3.150	3.770	6.330	1.110	0.720	0.420	3.400	1.540	0.560	24.95
Hunter modificado	0.860	1.870	2.180	2.870	4.600	0.810	0.530	0.310	2.500	1.110	0.410	18.05
Factor de simultaneidad	1.128	1.045	1.641	1.785	3.409	0.837	0.760	0.370	2.292	1.717	1.070	16.05
Racional	0.839	0.750	1.129	1.350	3.608	0.631	0.500	0.231	2.454	1.610	1.000	14.10
Británico	2.240	2.910	3.290	4.680	4.720	1.880	1.170	0.480	2.580	2.510	1.200	27.66
Raíz cuadrada	1.118	1.275	1.581	1.936	2.031	0.707	0.559	0.500	1.146	1.225	0.612	12.69
Norma técnica ANDA	0.876	1.254	1.536	1.941	2.925	0.708	0.502	0.274	1.702	1.150	0.575	13.44
Aforado	---	---	---	0.180	0.297	---	0.022	0.061	---	0.161	---	---

Finalmente se observa en la tabla No 24 el consolidado de caudales calculados más algunos valores de aforos realizados en el año 2009.

En base a los resultados podemos deducir que el método que ofrece resultados más satisfactorios es el método racional, porque considera el número de equipos sanitarios instalados y su máximo gasto de acuerdo a las limitaciones de caudal y con una alta tasa de probabilidad de que la mayoría de equipos estén funcionamiento al mismo tiempo.

El gasto propuesto en la norma técnica de ANDA no sería recomendable en el análisis de este tipo de poblaciones; podemos atribuir la semejanza en los caudales obtenidos de éste método con el racional, como un resultado de mera casualidad.

Tampoco podemos suponer que el caudal será mayor debido a que el valor aforado supone caudales pequeños no mayores al 27% del calculado con el método racional, por lo cual se recalca el método probabilístico como el mejor.

Con el fin de respetar el caudal de diseño mínimo propuesto por las normas técnicas se decide no considerar el valor proporcionado por el método de la raíz cuadrada.

De aquí en adelante se utilizará 14.10 Lts/seg como nuestro caudal de diseño para un período de 22 años.

Al comparar el caudal calculado con el caudal de aforo se observan diferencias relativamente mayores a lo que de manera intuitiva podríamos deducir del caudal futuro. Y aunque no se llegue a generar el caudal pico calculado, los cálculos evidencian la capacidad que tienen las instalaciones sanitarias actuales más algunas proyecciones futuras.

Es importante mencionar que la inversión en este rubro es escasa, y de esta manera poder justificar el sobredimensionamiento que tendrá el diseño de una planta de tratamiento.

### 3.2. Criterios de diseño para sistema de conducción

Se propone un proyecto de alcantarillado con un periodo de diseño de 22 años.

El caudal de diseño es de 14.10 Lts/seg, los cálculos hidráulicos se procesan con el programa computacional Bentley SewerGEMS.

Se utiliza el coeficiente de rugosidad  $n$  de 0.009 en colectores según especificaciones del fabricante para tuberías Amanco Novafort.

Los tramos se diseñan para que cumplan con la velocidad mínima de 0.5 m/s y máxima de 5.0 m/s.

Se diseñan colectores primarios con un diámetro mínimo de 8 pulgadas (200 mm), independientemente si el colector resulta sobredimensionado y debido a efectos prácticos de mantenimiento de la red de alcantarillado.

La pendiente mínima en los tramos iniciales se opera en 1 % y 0.5% en tramos no iniciales para evitar la profundización excesiva de los pozos.

Los pozos de visita se ubican en los cambios de dirección, y hasta en un máximo de 100 metros de tramo de tubería.

El trazo de la red se realiza por medio de mapas de demandas (caudales generados), elevaciones del terreno y uso de suelos (ver anexos). Se evalúan 3 alternativas de trazo y se presenta la más satisfactoria en términos de volúmenes de obra y cumplimiento de criterios mínimos exigidos por la norma técnica.

### 3.3. Evaluación de alternativas

#### ALTERNATIVA No 1

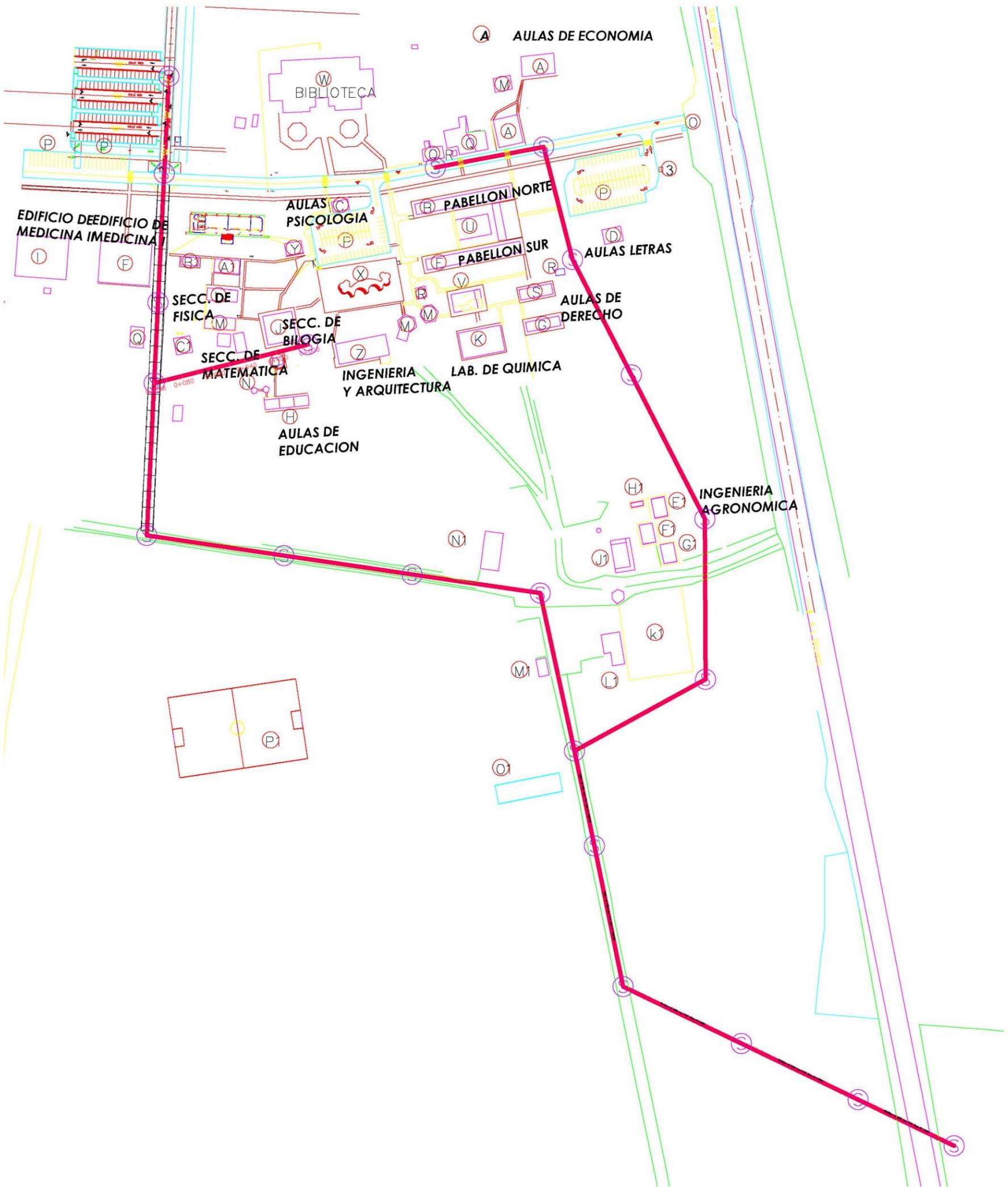


Imagen 25 Alternativa 1 - Trazo de red de AR

ALTERNATIVA No 2

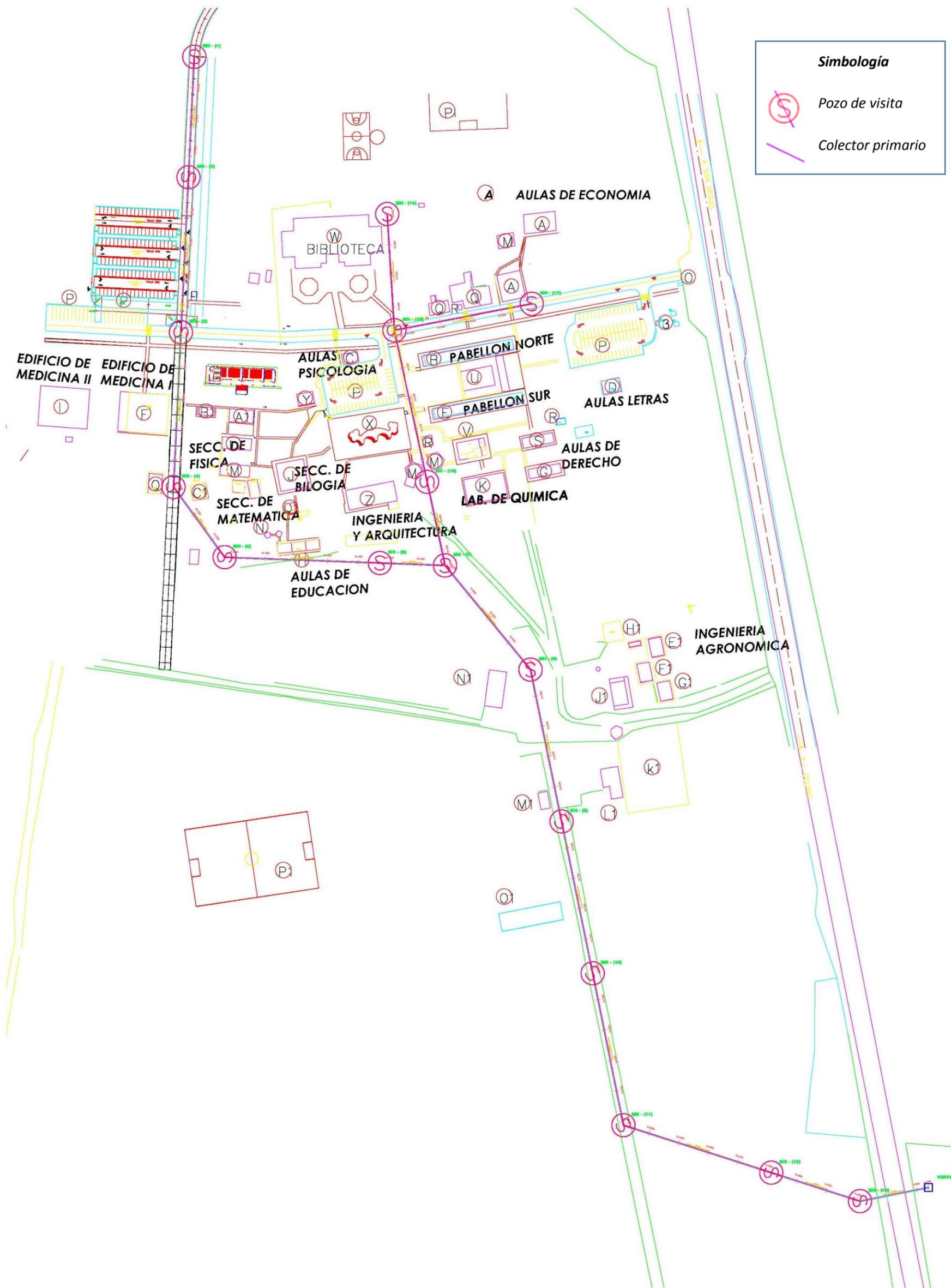


Imagen 26 Alternativa 2 - Trazo de red de AR

ALTERNATIVA No 3

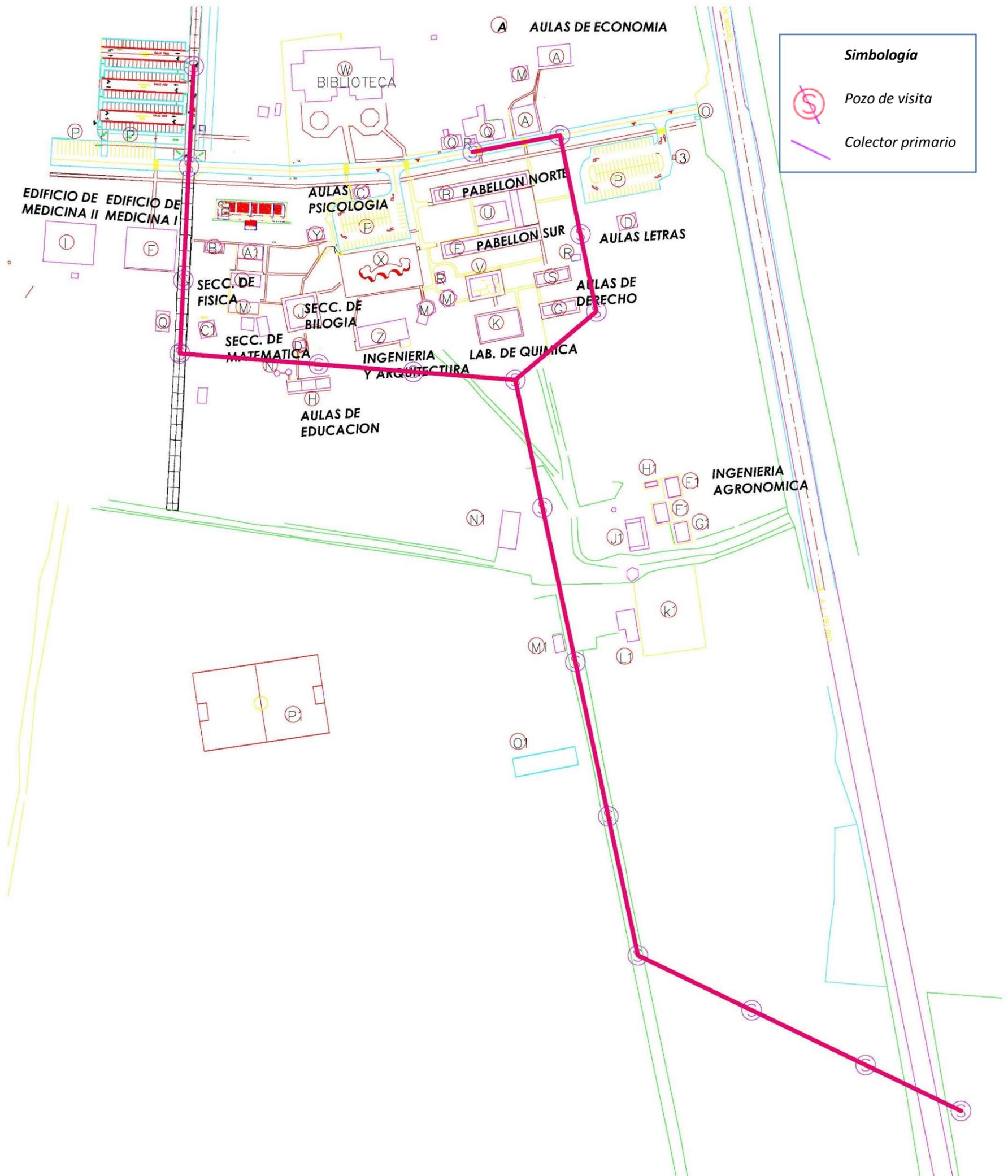


Imagen 27 Alternativa 3 - Trazo de red de AR

Tabla 25 Matriz comparativa de las alternativas de diseño

<b>Evaluación de alternativas de diseño</b>			
<b>Variables</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>Volumen de obra</b>	10	30	20
<b>Cambios de dirección en colector primario</b>	5	10	15
<b>Velocidad de diseño</b>	10	10	10
<b>Longitud de tubería</b>	5	15	10
<b>Profundidad de pozos</b>	10	15	5
<b>Modificación y demolición de estructuras existentes</b>	10	5	15
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>85</b>	<b>75</b>

Metodología:

La selección de puntaje de las variables se realizó de manera arbitraria atribuyendo mayor ponderación a las variables de mayor peso y sensibilidad en la selección de una alternativa.

Suponiendo que el criterio más difícil de superar es la parte de economía del proyecto, mientras que las características técnicas tienen ponderación igualitaria debido a que son criterios que poseen mayor flexibilidad, en cuanto a que la alternativa es aceptable para un rango de valores de diseño más amplio.

Descripción de variables:

- ✓ Volumen de obra – Esta es el que ítem que representa el costo del proyecto, y por lo tanto su ponderación es superior. A mayor es el puntaje otorgado, menor es el volumen de obra.
- ✓ Cambios de dirección en colector primario – Se prefieren aquellas alternativas que presenten menos cambios de dirección para evitar interferencias en el flujo libre del agua

y minimizar pérdidas de carga. Mayor puntaje corresponde a menor número de cambios de dirección.

- ✓ Velocidad de diseño – El diseño hidráulico que presente velocidades más cercanas a un estado intermedio de los límites establecidos tienen mayor aceptabilidad. En otras palabras, entre más cerca estén de los límites superior e inferior, menor es su calificación.
- ✓ Longitud de tubería – Entre menor longitud tenga el colector primario mayor cantidad de puntos recibe la alternativa.
- ✓ Profundidad de pozos – El mantenimiento se complica cuanto más profundo son los pozos de visita, debido a la peligrosidad que representa para el operador introducirse a profundidades mayores a los 4 metros para brindar mantenimiento por la razón de la emanación de gases tóxicos provenientes de las aguas residuales. Reciben mayor ponderación las propuestas que integren pozos menos profundos.
- ✓ Modificación y demolición de estructuras existentes – La necesidad de realizar modificaciones a estructuras que interfieren con la red de alcantarillado disminuyen la ponderación de la alternativa.

### Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos podemos inferir que la alternativa 2 sobresale sobre las demás en función de las preferencias o prioridades presentadas.

A continuación se presenta el resultado de los cálculos hidráulicos y el cálculo de volumen de obra.

Los planos se encuentran en la sección de Anexos.

Tabla 26 Volumen de obra

Pozo (Inicial)	Pozo (Final)	Altura de pozo (Inicial)	Altura de pozo (Final)	Tramo de tubería	Longitud de tramo (m)	Diámetro de tubería (mm)	Ancho de zanja (m)	Volumen de tubo (m <sup>3</sup> )	Volumen de excavación (m <sup>3</sup> )	Plantilla de arena (10 cm) (m <sup>3</sup> )	Acostillado (5 cm sobre corona) (m <sup>3</sup> )	Relleno compactado (m <sup>3</sup> )	Retiro de material (m <sup>3</sup> )
MH-1	MH-2	1.20	1.26	CO-1	77.81	200	0.80	2.44	76.57	6.22	13.12	54.78	28.32
MH-2	MH-3	1.26	1.53	CO-2	99.97	200	0.80	3.14	111.57	8.00	16.85	83.57	36.39
MH-3	MH-4	1.53	2.61	CO-3	100.02	200	0.80	3.14	165.63	8.00	16.86	137.63	36.41
MH-4	MH-5	2.61	3.08	CO-4	55.95	200	0.80	1.76	127.34	4.48	9.43	111.68	20.37
MH-5	MH-6	3.08	4.08	CO-5	100.00	200	0.80	3.14	286.40	8.00	16.86	258.40	36.40
MH-6	MH-7	4.08	5.14	CO-6	41.99	200	0.80	1.32	154.86	3.36	7.08	143.10	15.28
MH-7	MH-8	5.14	4.20	CO-7	86.89	200	0.80	2.73	324.62	6.95	14.65	300.29	31.63
MH-8	MH-9	4.20	3.43	CO-8	100.00	200	0.80	3.14	305.20	8.00	16.86	277.20	36.40
MH-9	MH-10	3.43	2.53	CO-9	100.00	200	0.80	3.14	238.40	8.00	16.86	210.40	36.40
MH-10	MH-11	2.53	1.93	CO-10	100.00	200	0.80	3.14	178.40	8.00	16.86	150.40	36.40
MH-11	MH-12	1.93	2.48	CO-11	100.01	200	0.80	3.14	176.42	8.00	16.86	148.41	36.40
MH-12	MH-13	2.48	2.96	CO-12	59.99	200	0.80	1.88	130.54	4.80	10.11	113.74	21.84
MH-13	MH-18	2.96	3.27	CO-13	45.01	200	0.80	1.41	112.16	3.60	7.59	99.56	16.38
MH-14	MH-15	1.20	3.88	CO-14	75.00	200	0.80	2.36	152.40	6.00	12.64	131.40	27.30
MH-15	MH-16	3.88	4.34	CO-15	100.00	200	0.80	3.14	328.80	8.00	16.86	300.80	36.40
MH-16	MH-7	4.34	5.14	CO-16	55.20	200	0.80	1.73	209.32	4.42	9.31	193.86	20.09
MH-17	MH-15	1.20	3.88	CO-17	90.00	200	0.80	2.83	182.88	7.20	15.17	157.68	32.76
MH-18	Caja de conex. PTAR	3.27	0.56	CO-18	100.00	200	0.80	3.14	153.20	8.00	16.86	125.20	36.40
<b>Longitud total de tubería</b>									=	1487.84	m		
<b>Volumen de excavación</b>									=	3414.71	m <sup>3</sup>		
<b>Plantilla de arena (10 cm)</b>									=	119.03	m <sup>3</sup>		
<b>Acostillado</b>									=	250.83	m <sup>3</sup>		

<b>Relleno compactado</b>	=	2998.11	m <sup>3</sup>
<b>Retiro de material</b>	=	505.17	m <sup>3</sup>
<b>Total de pozos</b>	=	18	
<b>Cajas</b>	=	1	

Tabla 27 Resultados de análisis hidráulico

<i>Id de tubería</i>	<i>Longitud de tramo (m)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Material</i>	<i>Coefficiente de Manning's</i>	<i>Flujo (Máximo) (L/s)</i>	<i>Capacidad (Tubo lleno) (L/s)</i>	<i>Velocidad (Máxima calculada) (m/s)</i>	<i>Pendiente (Calculada) (%)</i>	<i>Elevación de salida (m)</i>	<i>Elevación de llegada (m)</i>	<i>Nodo inicial</i>	<i>Nodo final</i>
CO-1	77.81	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	0.000	47.433	0.00	1.00	100.14	99.36	MH-1	MH-2
CO-2	99.97	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	0.000	33.500	0.00	0.50	99.36	98.86	MH-2	MH-3
CO-3	100.02	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	2.430	33.500	0.49	0.50	98.86	98.36	MH-3	MH-4
CO-4	55.95	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	5.279	33.515	0.67	0.50	98.36	98.08	MH-4	MH-5
CO-5	100.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	5.274	33.500	0.70	0.50	98.08	97.58	MH-5	MH-6
CO-6	41.99	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	6.595	33.500	0.74	0.50	97.58	97.37	MH-6	MH-7

<i>Id de tubería</i>	<i>Longitud de tramo (m)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Material</i>	<i>Coefficiente de Manning's</i>	<i>Flujo (Máximo) (L/s)</i>	<i>Capacidad (Tubo lleno) (L/s)</i>	<i>Velocidad (Máxima calculada) (m/s)</i>	<i>Pendiente (Calculada) (%)</i>	<i>Elevación de salida (m)</i>	<i>Elevación de llegada (m)</i>	<i>Nodo inicial</i>	<i>Nodo final</i>
<b>CO-7</b>	86.89	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.073	33.711	0.98	0.50	97.37	96.93	MH-7	MH-8
<b>CO-8</b>	100.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.684	33.500	0.98	0.50	96.93	96.43	MH-8	MH-9
<b>CO-9</b>	100.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.682	33.500	0.98	0.50	96.43	95.93	MH-9	MH-10
<b>CO-10</b>	100.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.679	66.999	1.27	2.00	95.93	93.93	MH-10	MH-11
<b>CO-11</b>	100.01	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.678	33.500	0.98	0.50	93.93	93.43	MH-11	MH-12
<b>CO-12</b>	59.99	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.673	33.500	0.98	0.50	93.43	93.13	MH-12	MH-13
<b>CO-13</b>	45.01	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.670	60.341	1.29	1.60	93.13	92.40	MH-13	MH-18
<b>CO-14</b>	75.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	1.336	80.213	0.35	2.90	102.13	99.98	MH-14	MH-15

<i>Id de tubería</i>	<i>Longitud de tramo (m)</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Material</i>	<i>Coefficiente de Manning's</i>	<i>Flujo (Máximo) (L/s)</i>	<i>Capacidad (Tubo lleno) (L/s)</i>	<i>Velocidad (Máxima calculada) (m/s)</i>	<i>Pendiente (Calculada) (%)</i>	<i>Elevación de salida (m)</i>	<i>Elevación de llegada (m)</i>	<i>Nodo inicial</i>	<i>Nodo final</i>
<b>CO-15</b>	100.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	6.447	47.376	0.77	1.00	99.98	98.98	MH-15	MH-16
<b>CO-16</b>	55.20	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	7.273	80.909	0.85	2.90	98.98	97.37	MH-16	MH-7
<b>CO-17</b>	90.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	1.594	47.376	0.40	1.00	100.88	99.98	MH-17	MH-15
<b>CO-18</b>	100.00	200	PVC Corrugado (Novafort)	0.009	14.667	47.376	1.26	1.00	92.40	91.40	MH-18	Caja PTAR

El cuadro anterior muestra que las velocidades calculadas para dos tramos de tuberías son igual a cero, esto es debido a que no se ha proyectado ningún caudal sobre éstos y solo se han propuesto en función del desarrollo físico futuro de la universidad.

También se observa que algunos tramos no desarrollan la velocidad mínima requerida por la norma técnica debido al diámetro seleccionado, ya que a pesar de ser caudales bajos y tramos iniciales deben cumplir con 8 pulgadas (200 mm) como diámetro mínimo para colector primario.

Es importante destacar que si bien existe un sobredimensionamiento en términos hidráulicos, en términos prácticos no podemos prescindir de los valores mínimos recomendados por la norma técnica ANDA debido a efectos de estabilidad en la operación; y también no se debe de olvidar

que la inversión en este rubro no es frecuente por lo que a partir de esto es justificable un sobredimensionamiento.

El proyecto se ha diseñado con una pendiente mínima de 0.5 % por limitaciones topográficas que impiden asignar una mayor inclinación y en contraste al efecto adverso de requerir pozos de visita más profundos.

Tabla 28 Datos de pozos de visita y perfil hidráulico

<b>Id de pozo</b>	<b>Elevación del terreno (m)</b>	<b>Elevación de Tapa (m)</b>	<b>Elevación de Fondo (m)</b>	<b>Diámetro del pozo (m)</b>	<b>Línea piezométrica (Entrada) (m)</b>	<b>Altura de pozo (m)</b>
MH-1	101.34	101.34	100.14	1.10	100.14	1.20
MH-2	100.62	100.62	99.36	1.10	99.36	1.26
MH-3	100.41	100.41	98.86	1.10	98.86	1.55
MH-4	101.00	101.00	98.36	1.10	98.36	2.64
MH-5	101.19	101.19	98.08	1.10	98.08	3.11
MH-6	101.70	101.70	97.58	1.10	97.58	4.12
MH-7	102.56	102.56	97.37	1.10	97.37	5.19
MH-8	101.18	101.18	96.93	1.10	96.93	4.25
MH-9	99.91	99.91	96.43	1.10	96.43	3.48
MH-10	98.49	98.49	95.93	1.10	95.93	2.56
MH-11	95.91	95.91	93.93	1.10	93.93	1.98
MH-12	95.96	95.96	93.43	1.10	93.43	2.53
MH-13	96.12	96.12	93.13	1.10	93.13	2.99
MH-14	103.34	103.34	102.13	1.10	102.13	1.21
MH-15	103.89	103.89	99.98	1.10	99.98	3.91
MH-16	103.34	103.34	98.98	1.10	98.98	4.36
MH-17	102.09	102.09	100.88	1.10	100.88	1.21
MH-18	95.71	95.71	92.40	1.10	92.40	3.31
Caja conex. PTAR	91.96	91.96	91.40	1.0 x 1.0	91.48	0.56

**CAPÍTULO 4**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES**

## 4.1 Selección de tecnología de tratamiento: agua residual de tipo doméstico

### 4.1.1 Criterios para la selección de los procesos unitarios

El sistema deberá tener el número de componentes necesarios para garantizar la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales hasta los límites máximos permitidos por la Norma Oficial Salvadoreña para aguas residuales descargadas a un cuerpo hídrico receptor. A continuación se presenta una tabla con los parámetros mínimos de calidad para el efluente.

Tabla 29 Límite de contaminación permitida en afluente según NSO

Parámetros	Unidades	Valores máximos
PH	-	5.5 – 9.0
Sólidos sedimentables	ml/l	1.0
Sólidos suspendidos	mg/l	60
Temperatura	°C	30
Turbiedad	NTU	100
Cloruros	mg/l	500
Color	Pt/Co	50
DBO	mg/l	30
DQO	mg/l	60

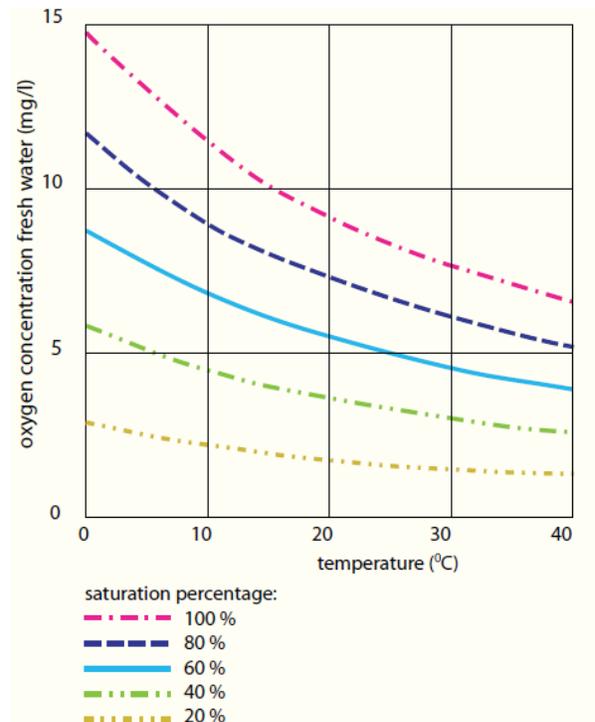
Existen configuraciones de sistemas de tratamiento que permiten que las aguas residuales alcancen estos parámetros mínimos; por supuesto el número de procesos y su combinación dependerá de los componentes que necesitemos eliminar.

El sistema a diseñar deberá presentar un esquema en el que las aguas pasen de un proceso a otro evitando en lo máximo posible la utilización de equipos de bombeo, y evadiendo una fracción importante en costos de energía y mantenimiento.

Las tecnologías de tratamiento deben ser adaptables a las condiciones de desarrollo tecnológico del país, es decir, en términos de operación y mantenimiento deben ser factibles económicamente y debe haber mano de obra calificada que conozca su funcionamiento.

Los procesos de tratamiento deberán ser aptos para las condiciones climatológicas de la zona. Debido a la variedad de tratamientos disponibles es importante definir uno que sea auto controlable en las condiciones del sitio, algunos son más susceptibles a variaciones meteorológicas otros son adaptables a climas cálidos y con temperaturas relativamente constantes, etc.

Para el caso de los tratamientos de tipo biológico podemos observar que el clima cálido es preferible ya que beneficia al crecimiento de las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica y a la producción de biogás. Podemos observar en el gráfico No 5, tomada del libro de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Delft, que la variación en la concentración del oxígeno está directamente relacionado con la temperatura, de ahí podemos concluir que para zonas de climas cálidos es más factible desarrollar sistemas anaeróbicos que aeróbicos aunque esto no significa que la implementación de una tecnología este muy limitada, aunque resultaría menos



Gráfica 5 Concentración y porcentaje de saturación del oxígeno en relación a la temperatura (1 atm)

económico poder llevar a cabo otras alternativas por la situación de tener que incluir equipo que ayude a mantener las condiciones ambientales requeridas para que la planta pueda funcionar.

Los sistemas de tratamiento más utilizados en Centroamérica se muestran en la tabla No 30. <sup>4</sup>

<sup>4</sup> (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AGISA), 1997)

Tabla 30 Consideraciones de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Centroamérica

<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas o consideraciones</b>	<b>Población</b>	<b>Eficiencia</b>
<p>Fosa séptica</p> <p>Sistema de absorción</p>	<p>No contamina cuerpo de agua debido a que se infiltra el efluente.</p> <p>Requiere muy poca área para su construcción.</p> <p>Por estar enterrada, se puede colocar en área verde.</p> <p>No requiere energía para su funcionamiento.</p> <p>Su construcción se puede realizar en terrenos planos o quebrados.</p>	<p>Limpieza de la fosa muy costosa</p> <p>Produce malos olores</p> <p>Lodos no estabilizados</p> <p>Saturación del área de absorción por falta de mantenimiento.</p> <p>Depende de la calidad del suelo, el área requerida para infiltración.</p> <p>Requiere equipo especial para su limpieza.</p> <p>El efluente del tanque séptico lleva un alto nivel de contaminación.</p>	<p>5 a 300 hab/máx.</p> <p>Área requerida aprox.</p> <p>0,10-0,25m<sup>2</sup>/hab</p>	<p>S.S.: 95 - 100%</p> <p>DBO: 95%</p> <p>Patógenos: 50-99%</p>

<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas o consideraciones</b>	<b>Población</b>	<b>Eficiencia</b>
<p>Caja derivadora</p> <p>Canal de rejillas</p> <p>Canal desarenador</p> <p>Tanque Imhoff</p> <p>Filtros percoladores</p> <p>Sedimentador secundario</p> <p>Patio de secado de lodos</p>	<p>El proceso de sedimentación y digestión se realiza en la misma unidad.</p> <p>Se debe de construir en terreno quebrado.</p> <p>Produce un efluente clarificado</p> <p>Bajo costo de operación y mantenimiento.</p> <p>Producto final inodoro.</p> <p>Se puede realizar la recolección de gas.</p>	<p>Costo de construcción elevado</p> <p>Su construcción se debe de realizar en terrenos quebrados para evitar el uso de energía.</p> <p>Producción de vectores (mosquitos) en el área de filtros.</p> <p>Problemas de infestaciones de moscas es común y afecta eficiencia del tratamiento.</p>	<p>300 - 5 000 hab/máx.</p> <p>Área requerida Aprox. 0.25-0.75nr/hab</p>	<p>S.S.: 95-100%</p> <p>DBO: 95%</p> <p>Patógenos: 30-40 %</p>

<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas o consideraciones</b>	<b>Población</b>	<b>Eficiencia</b>
Caja derivadora Canal de rejillas  Canal desarenador  Sedimentador primario  Filtros percoladores  Sedimentador secundario  Digestor de lodos  Patio de secado de lodos	Produce un efluente clarificado  Bajo costo de operación y mantenimiento.  Producto final inodoro.  Su construcción se debe de realizar en terrenos quebrados para evitar el uso de energía.	Costo de construcción elevado  Producción de vectores (mosquitos) en el área de filtros.  El proceso de sedimentación se realiza en diferentes unidades por lo que requiere mayor área  Su construcción se debe de realizar en terrenos quebrados para evitar el uso de energía.	300 hab. en adelante  Área requerida Aprox. 0.35-0.75nr/hab	S.S.: 95-100%  DBO: 95%  Patógenos: 30- 40%

<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas o consideraciones</b>	<b>Población</b>	<b>Eficiencia</b>
Caja derivadora	El proceso de sedimentación y digestión se realiza en la misma unidad.  Se debe de construir en terreno quebrado.  Produce un efluente clarificado  Producto final inodoro.  Se puede realizar la recolección de gas.	Costo de construcción elevado	1000 hab. En adelante	S.S.: 95-100%
Canal de rejillas		Producción de vectores (mosquitos) en el área de filtros.	Área requerida aprox.	DBO: 95%
Canal desarenador		Altos costos de operación y mantenimiento.	0.75 - 1.5 m <sup>2</sup> /hab	Patógenos: 30- 40%
RAFA		Sensible a cambios de carga (hidráulica u orgánica)		
Filtros percoladores		Requiere de energía para su operación		
Patio de secado de lodos		Su construcción se debe de realizar en terrenos quebrados para evitar el uso de energía.		

<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas o consideraciones</b>	<b>Población</b>	<b>Eficiencia</b>
<p>Laguna anaerobia primaria</p> <p>Laguna facultativa secundaria</p> <p>Laguna de maduración</p>	<p>Alto índice de remoción de patógenos</p> <p>Permite el reúso de subproductos</p> <p>Bajo costo de operación y mantenimiento</p> <p>Bajo costo de construcción</p> <p>No requiere de energía para su operación</p> <p>No requiere equipo especial para su operación</p>	<p>Requiere de grandes áreas para su construcción.</p> <p>Puede provocar malos olores la laguna primaria.</p>	<p>1000 hab. En adelante</p> <p>Área requerida aprox.</p> <p>1.5-7.00 m<sup>2</sup> /hab</p>	<p>S.S.: 95-100%</p> <p>DBO: 95%</p> <p>Patógenos: 95-99,9%</p>
<p>Laguna facultativa primaria</p> <p>Laguna facultativa secundaria</p> <p>Laguna de maduración</p>	<p>Alto índice de remoción de patógenos</p> <p>Permite el reúso de subproductos</p> <p>Bajo costo de operación y mantenimiento</p> <p>Bajo costo de construcción</p> <p>No requiere equipo especial para su operación</p>	<p>Requiere de grandes áreas para su construcción.</p>	<p>1000 hab. En adelante</p> <p>Área requerida aprox.</p> <p>1.5-7.00 m<sup>2</sup> /hab</p>	<p>S.S.: 95-100%</p> <p>DBO 95%</p> <p>Patógenos: 95-99,9%</p> <p>Quistes de protozoarios y huevos de helmintos 100%</p>

Puede distinguirse que los sistemas de tratamiento no forman parte de tecnologías avanzadas utilizadas en países desarrollados pero su eficiencia en la remoción de carga contaminante indica que son muy efectivos, la diferencia radica en la velocidad con la que se trata el agua.

Mientras que al utilizar tratamientos avanzados puede aumentar el rendimiento en el tratamiento de aguas residuales, esto también va en proporción a altos costos de operación y mantenimiento que fácilmente son absorbidos por la población de países de primer nivel, en cambio los países en desarrollo todavía están en la búsqueda de la inversión en el área de saneamiento.

A continuación se observa un cuadro comparativo entre distintos esquemas de tratamiento:

<sup>5</sup>Tabla 31 Comparativa de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Centroamérica

<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Nivel de tratamiento</b>	<b>Área requerida</b>	<b>Costo de construcción (sin terreno)</b>	<b>Costo de operación</b>	<b>Malos olores<sup>b</sup></b>	<b>Tendencia a problemas operativos</b>
Fosa séptica <i>Sistema de absorción</i>	Primario	Bajo	Bajo	Bajo	Mediano	Bajo
Caja derivadora <i>Canal de rejás</i> Canal desarenador <i>Tanque Imhoff</i> Filtros percoladores <i>Sedimentador secundario</i> Patio de secado de lodos	Secundario	Bajo	Mediano	Mediano	Mínimo: sólidos	Mediano
<i>Caja derivadora</i> Canal de rejás <i>Canal desarenador</i> Sedimentador primario <i>Filtros percoladores</i> Sedimentador secundario <i>Digestor de lodos</i> Patio de secado de lodos	Secundario	Bajo	Mediano	Mediano	Mínimo: sólidos	Mediano

<sup>5</sup> (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AGISA), 1997)

<i>Caja derivadora</i> <i>Canal de rejas</i> <i>Canal desarenador</i> RAFA <i>Filtros percoladores</i> Patio de secado de lodos	Secundario	Bajo	Mediano	Mediano	Mínimo: sólidos	Alto
<i>Laguna anaerobias primarias</i> Laguna facultativa secundaria <i>Laguna de maduración</i>	Secundario o terciario; elimina patógenos	Alto	Bajo	Bajo	Mínimo: en condiciones normales	Bajo
Laguna facultativa primaria <i>Laguna facultativa secundaria</i> Laguna de maduración	Secundario o terciario; elimina patógenos	Alto	Bajo	Bajo	Mínimo	Bajo

<sup>a</sup> Incluyendo sensibilidad a fluctuaciones en caudal, concentraciones de afluente, sustancias tóxicas.

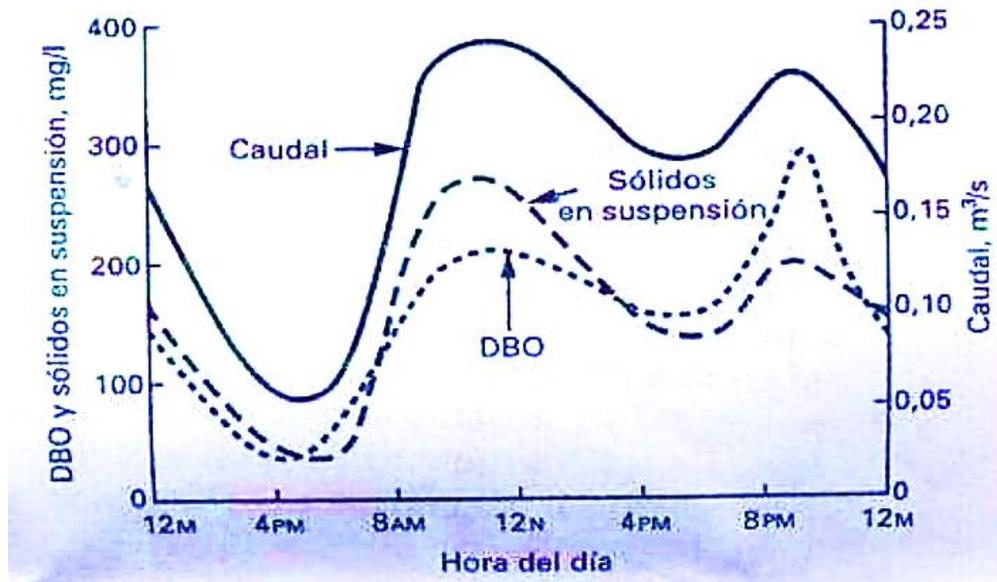
<sup>b</sup> Con sus implicaciones de distancia apropiada a habitaciones.

## 4.2 Características del agua residual

La caracterización del agua residual, se realiza sobre descargas de aguas residuales que se consideran representativas de la carga contaminante a tratar. Estos puntos se valoran de acuerdo a los usos de los equipos sanitarios por cada unidad de estudio, y luego con la ayuda de los caudales de aporte calculados se aplicaron los porcentajes de caudales respectivos sobre los valores de la carga contaminante expuestos en los exámenes de calidad de aguas.

Los muestreos del agua residual se realizaron en ubicaciones estratégicas que se seleccionaron con la finalidad de obtener resultados representativos de toda la zona de estudio, se escogieron los efluentes que provienen de los laboratorios de biología, las baterías sanitarias ubicadas al costado norte del auditorium 1 y de los edificios de medicina; las muestras se remitieron al laboratorio de calidad de agua de ANDA para determinar las características físicas, químicas y biológicas del afluente.

Para disminuir el efecto de las variaciones de las cargas contaminantes en las aguas residuales los muestreos se realizaron entre las nueve y once de la mañana. En la tabla 19 de la presente investigación se comprueba que la mayor afluencia de estudiantes se da este momento y por lo tanto hay una mayor producción de aguas residuales. De acuerdo con (Metcalf y Eddy, 1985) la variación de la concentración de DBO sigue la misma curva que la variación de los caudales, tal y como se muestra en la gráfica No 6 a continuación:



Gráfica 6 Variación horaria típica del caudal y concentración del agua residual de origen doméstico  
 Los resultados de los exámenes de calidad se muestran en la tabla 32, 33, 34 y 35.

Tabla 32 Resultado de muestreo de aguas residuales de batería sanitaria al costado de Auditorium 1

<b>Parámetros de Laboratorio</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>	<b>Método de Referencia</b>
DQO Total *	906.67	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	455	mg/L	60	5210 B 5-, Day DBO Test APHA
Sólidos Sedimentables *	7.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	290	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	85.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHa
pH*	8.42	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	189.5	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1890	Pt-Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.3(E+7)	NMP/100 mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.3(E+7)	NMP/100 mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

Los sitios a los que corresponde similar carga contaminante descrita en la prueba anterior son: Edificio El Riñón, Edificio de la Biblioteca, Baños (al costado de auditorio 1), Sector de agronomía, Edificio de aulas (Proyección), Cafetines (al norte de Auditorio 1), Cafetín (al sur de Edificio de Medicina 1). A estos sitios corresponde una demanda del 73.48% del caudal probable calculado.

Tabla 33 Resultados de muestra de agua residual proveniente del área de biología

<b>Parámetros de Laboratorio</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>	<b>Método de Referencia</b>
DQO Total *	262.33	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	>48.75	mg/L	60	5210 B 5-, Day DBO Test APHA
Sólidos Sedimentables *	0.4	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	30	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	91.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHa
pH*	7.86	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	84.75	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	785	Pt-Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	3.5(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	3.5(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

Los sitios a los que corresponde similar carga contaminante descrita en la prueba anterior son: Sección de biología y sección de química (agua residual de química estará previamente tratada). A estos sitios corresponde una demanda del 5.77% del caudal probable calculado.

Tabla 34 Resultados de muestra de agua residual proveniente de los edificios de medicina

<b>Parámetros de Laboratorio</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>	<b>Método de Referencia</b>
DQO Total *	180.27	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	>22.5	mg/L	60	5210 B 5-, Day DBO Test APHA
Sólidos Sedimentables *	2.5	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	76	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	49.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHa
pH*	8.29	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	10.25	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	139	Pt-Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.1 (E+7)	NMP/100m L	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	3.43(E+5)	NMP/100m L	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

Los sitios a los que corresponde similar carga contaminante descrita en la prueba anterior son: Edificio de medicina 1 y Edificio de medicina 2. A estos sitios corresponde una demanda del 20.76% del caudal probable calculado.

A continuación se presenta la tabla de cargas contaminantes totales en un escenario hipotético, en donde el resultado final es igual a la sumatoria del producto de las cargas contaminantes y el porcentaje de los promedios ponderados de los caudales de aporte para cada zona representativa.

Tabla 35 Carga contaminante efectiva calculada en el agua residual

Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	718.78	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	341.82	mg/L	60	5210 B 5-, Day DBO Test APHA
Sólidos Sedimentables *	5.7	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendedos Totales *	231	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	78	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHa
pH*	8.36	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	146.26	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1463	Pt-Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.39 (E+7)	NMP/100m L	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.16 (E+7)	NMP/100m L	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

Puede observarse que la relación DQO/DBO es igual a 2.10 por lo que podemos concluir que las aguas residuales son ampliamente tratables cuando se observa el efecto combinado de todas las aguas.

No obstante, las aguas del área de biología y medicina presenta problemas de toxicidad y por ende baja tasa de tratabilidad al ser analizadas las cargas de DBO y DQO de forma individual debido a una elevada relación DQO/DBO (5.38 para biología y 8.01 para medicina), entonces podemos decir

que hipotéticamente, por el efecto de dilución de todas las aguas, el efecto contaminante de los componentes químicos se ven minimizados.

Para las aguas provenientes del laboratorio de química supondremos que entrarán al sistema de previamente tratadas por lo cual no disminuirán, de manera importante, la capacidad de las aguas residuales de ser tratadas.

### 4.3 Investigación de parámetros medioambientales de la zona

La propuesta de un sistema de tratamiento requiere de conocer las características del medio en donde se ubicará ya que esto influye de manera crítica en la selección del tipo de tecnología y en la eficiencia que tendrán los componentes.

Características importantes como la temperatura mínima, precipitación máxima, altura de escorrentía superficial ayudarán a tomar importantes decisiones a la hora de seleccionar las alternativas y promover proyecciones contra el efecto de acciones climáticas.

También es importante conocer las características del cuerpo receptor, ya que estos, al ser de origen natural, resultan ser muy sensibles a las variaciones físico-químico-biológicos que pueden aportar los afluentes de aguas residuales; además las aguas vertidas al cuerpo receptor no deberán llegar con parámetros de contaminación más altos a los in-situ.

### 4.4 Evaluación preliminar de los Impactos ambientales

#### **Descripción del proyecto**

##### 4.4.1 Descripción general

El proyecto consiste básicamente en la construcción de una red de alcantarillado sanitario y construcción de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de tipo domestico que se generan en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador. El sistema de tratamiento consta de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (sistema UASB), y sedimentador secundario y patios de secado como alternativa para el manejo de los lodos generados.

#### 4.4.2 Objetivos del proyecto

Ampliar y mejorar los sistemas de recolección y depuración de aguas residuales que posee la Universidad.

#### 4.4.3 Justificación del proyecto

El proyecto se justifica en el hecho de que la Universidad no posee un solo sistema de recolección y depuración de aguas residuales, asimismo, la mayoría de los sistemas actuales han colapsado representando así un alto riesgo de contaminación para el medio físico.

#### 4.4.4 Ubicación geográfica

El terreno donde se ubica el proyecto colinda al noroeste con el Ingenio Chaparrastique, al suroeste con el cauce del Rio Grande y al noreste con las instalaciones de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador.



Imagen 28 Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Maps



Imagen 29 Ubicación geográfica del proyecto



Imagen 30 Terreno en donde se ubicará la PTAR

## **Ingeniería del proyecto**

### **4.4.5 Construcción**

El proyecto consiste en la construcción de un sistema de conducción y un sistema de tratamiento en base a un reactor UASB y un sedimentador para las aguas residuales que se generan en la Universidad, además de un colector de descarga del agua tratada al Río Grande de San Miguel.

### **4.4.6 Población cubierta por el proyecto**

Se busca la cobertura al año horizonte del 100% de la población estudiantil. Para el año horizonte se estima una población total de 12100 alumnos.

### **4.4.7 Sitios de tratamiento y/o descarga final**

La planta de tratamiento se localiza a 700 metros del Ingenio Chaparrastique, la descarga del efluente tratado se hará en el Río Grande. La planta contará con lechos de secado de los lodos los cuales estarán a la disposición para su uso agrícola o para depositarse en un relleno sanitario.

### **4.4.8 Funcionamiento**

Los sistemas de alcantarillado y de tratamiento de las aguas residuales serán operados por las autoridades de la Universidad de El Salvador.

### **4.4.9 Mantenimiento**

El mantenimiento de los sistemas de alcantarillado y de tratamiento de aguas residuales estará dado por la Universidad, del mantenimiento adecuado depende que el impacto de la descarga del efluente de la planta de tratamiento sobre el cuerpo receptor de las aguas residuales sea mínimo.

## Diagnóstico ambiental

### 4.4.10 Medio ambiente físico

#### Topografía

La topografía es ligeramente ondulada con pendientes moderadas de hasta 8%. Las pendientes predominantes oscilan entre el 2% y el 6%.

#### Geología

Desde el punto de vista geológico, el territorio salvadoreño está formado por Rocas Volcánicas, las cuales cubren más de un 90% del país; Rocas sedimentarias marinas; Rocas sedimentarias de origen volcánico, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos; Rocas de carácter intrusivo tales como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas. Todas estas rocas hacen de El Salvador un país de edad geológica relativamente joven.

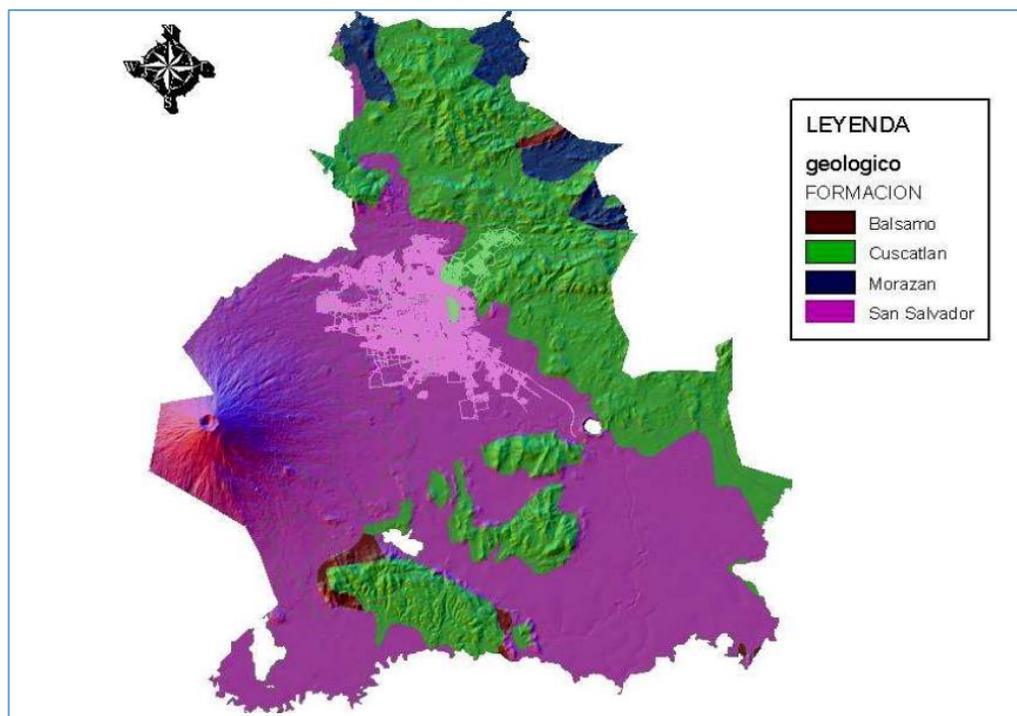


Imagen 31 Formaciones geológicas del municipio de San Miguel

En el municipio de San Miguel se distinguen dos formaciones geológicas bien diferenciadas como se puede apreciar en el mapa de formaciones, las formaciones de: San Salvador y Cuscatlán.

La formación Cuscatlán la cual es la más antigua, de la edad pliocénica, formada por estratos de tobas de granulometría fina a gruesa, alternando con algunos flujos de lavas andesíticas lavas basálticas las cuales afloran al norte, nororiente y oriente de la ciudad de San Miguel.

La formación San Salvador, la más reciente, cuya edad va del pleistoceno hasta el cuaternario reciente, está constituida por Piroclastos sueltos intercalados con flujos de lavas, los que se han originado como consecuencia de las erupciones del Volcán Chaparrastique. Todos estos materiales afloran al poniente, norponiente y sur poniente de la Ciudad de San Miguel, desde el cono del Volcán de San Miguel.

La geología predominante en la zona de estudio como se puede notar en el mapa geológico la conforman rocas piroclásticas ácidas, epioclásticas volcánicas, tobas ardientes y fundidas, además de Aluviones con intercalaciones de piroclásticos en las riberas del Río Grande de San Miguel a lo largo de la Ciudad. Al poniente de la Ciudad, exactamente en las faldas del volcán Chaparrastique predominan las efusivas andesíticas y basálticas, y piroclásticas.

Dentro de la descripción tectónica cabe mencionar que en el casco urbano de la Ciudad de San Miguel no se encuentra ninguna falla tectónica de importancia, ya que están en las afueras de la Ciudad, específicamente en zonas montañosas. Tales fallas son las siguientes: Al Norte se encuentran fallas con orientación NW y NE, ubicadas a la altura del cerro Obrajuelo, Cantón Agua Zarca y Mayucaquín; al Noroeste del volcán de San Miguel tenemos fallas de orientación NW y NE; al Oriente, en Las Delicias y Portillo Blanco se ubica una cantidad importante de fallas pequeñas con orientación predominante de NE–SW y WE; al Sur de la ciudad a la altura del cerro El Duende, cerro Piche, Cantora y El Delirio se encuentran fallas de orientación N-S y N-E.

### Geomorfología

El municipio de San Miguel, específicamente su zona urbana se encuentra ubicada dentro del valle fluvial o cuenca del Río Grande de San Miguel. De acuerdo con las características descritas anteriormente, se puede decir que el tipo de relieve en la zona es de tipo Volcánico.

Al suroeste de la Ciudad se encuentra el volcán de San Miguel, que está ubicado a 11 Km de la misma. Este volcán está formado por las estribaciones de la Sierra Tecapa – Chinameca, sin embargo, su cono es uno de los más importantes de Centroamérica y mejor formados de El

Salvador, ya que se levanta aislado de la sierra que lo forma. Su elevación es de 2130 m.s.n.m. Las zonas media y baja de la cuenca del Río Grande de San Miguel son planicies propensas a inundación. El drenaje que posee el área de estudio es de tipo dendrítico, aunque en las faldas del Volcán Chaparrastique es de tipo radial.

### Hidrología

El terreno se encuentra ubicado dentro de la Cuenca del Río Grande de San Miguel, el cual hace su recorrido en el sector sur este de la zona de estudio desembocando en la bahía de Jiquilisco en el departamento de Usulután y es el principal elemento hidrográfico, este mantiene flujo a lo largo de todo el año.

Dentro del municipio de San Miguel se encuentran las lagunas de Olomega, que es la de mayor extensión; El Jocotal; laguna de San Juan y la laguna de Aramuaca. Existen numerosos ríos que desembocan en el Río Grande de San Miguel, sirviendo de tributarios; dentro de los principales tenemos: el Río Villerías al norte del municipio, el Taisihuat al norte de la ciudad de San Miguel y el Río El Jute al sur (en el límite del terreno en estudio).

La zona es atravesada de poniente a oriente por varias quebradas debido a la topografía determinada por el volcán Chaparrastique. Dichas quebradas son: El Desagüe y Tixcuco que desembocan directamente en el Río Grande de San Miguel. Las que nacen en el volcán y poseen un gran número de canales secundarios que las alimentan, estas son: El Jalacatal, El Amate y La Pradera entre las más importantes. Su caudal es prácticamente inexistente en época seca, pero en períodos de tormenta ayudan a evacuar la escorrentía de la zona.

### Suelos

*Latosol Arcillo Rojizo*, (llamado Alfisoles y Molisoles). Estos suelos cubren la mayor extensión dentro de la Ciudad de San Miguel; como su nombre lo indica se reconocen por su color rojo con algunas variaciones en su tonalidad y por su textura arcillosa. Cuando han estado algo protegidos de la erosión, poseen un horizonte superficial de color café rojizo oscuro, de poco espesor (20 cms), y poseen textura franco-arcillosa con estructura de bloque pequeños, descansando sobre subsuelos rojizos o café rojizos, de textura arcillosa, con estructura fuerte en bloques o prismática de tamaño grande.

*Andisoles* (llamados *Andepts*), ubicados al poniente de la ciudad en las faldas del volcán de San Miguel. Estos suelos se han desarrollado de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas). Se encuentran en la región del volcanismo reciente, principalmente en las faldas y tierras altas de los volcanes y macizos volcánicos. Además, éstos poseen un horizonte superficial con alto contenido de materia orgánica; en algunos casos pueden mostrar horizontes en el subsuelo con desarrollo incipiente, de color pardo rojizo y textura más fina. Tienen características muy particulares como alta capacidad de retención de humedad, baja densidad, sensación jabonosa o de talco al tacto.

*Suelos esqueléticos o Litosoles* que se localizan en la parte alta del volcán de San Miguel; estos en muchos casos son suelos que han estado sujetos a severa erosión. También comprende esta clase aquellas áreas en las cuales los suelos inician su formación, a partir de la desintegración o intemperización de la roca.

*Grumosoles*, (llamados también *Vertisoles*), son encontrados en menor cantidad al nororiente de la Ciudad. Estos son suelos arcillosos muy pesados, muy plásticos y muy pegajosos cuando están mojados y muy duros cuando están secos. Tienen gran poder de expansión cuando se humedecen y de gran contracción cuando se secan, condición que provoca la rajadura de los mismos. Son de color negro en la superficie y grises en el subsuelo. A pesar de su color oscuro son de moderado contenido de materia orgánica que se supondría alta, debido a su color, pero esto es debido a una interacción de arcilla humus o una formación orgánico mineral.

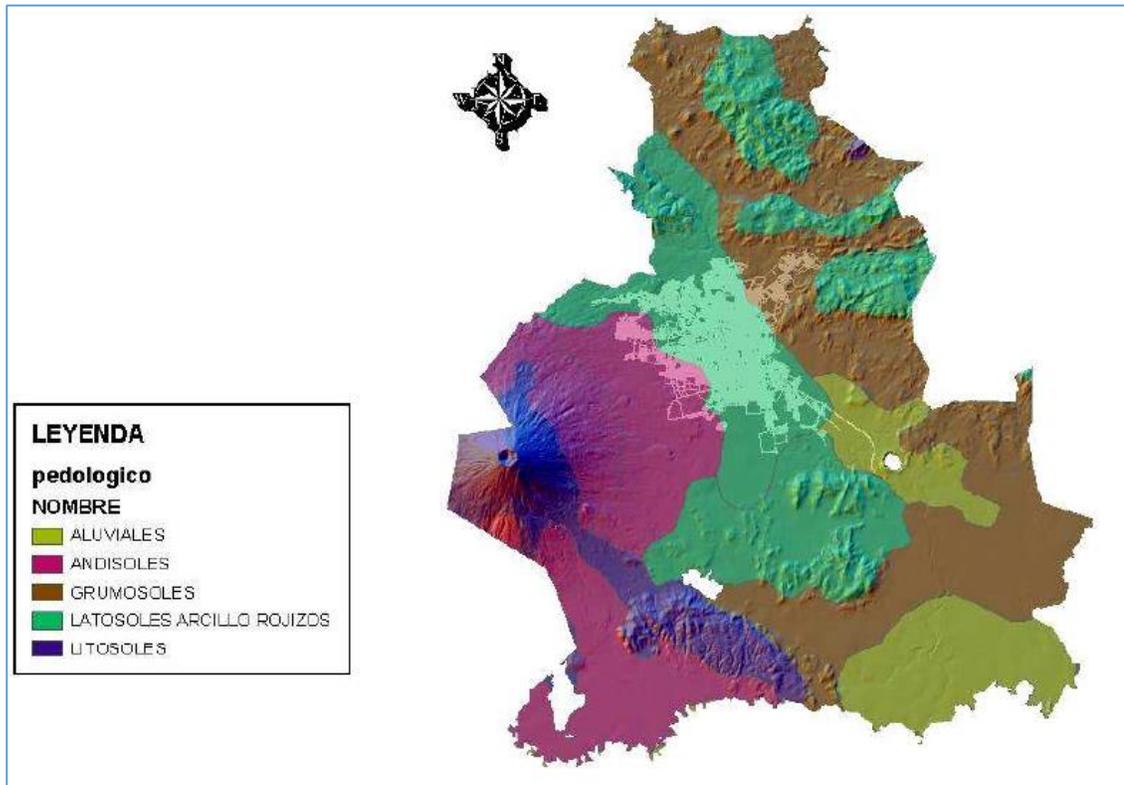


Imagen 32 Tipos de suelo para el municipio de San Miguel

### Climatología

De acuerdo con la altura sobre el nivel del mar se pueden notar las siguientes zonas térmicas:

De 0 – 800 m.s.n.m. Sabana Tropical Caliente, clima que abarca la mayor parte del territorio migueleño.

800 – 1200 m.s.n.m. Clima tropical caluroso o de tierra templada; estos climas pueden observarse en la parte central del departamento, ya que en esta zona se encuentran las cordilleras que comprenden los volcanes de Tecapa y Chinameca.

Volcán de San Miguel de 1300 a 2700 m.s.n.m. Clima tropical de altura o tierra fría.

La Ciudad de San Miguel se encuentra a una altura promedio de 110 m.s.n.m. Como todo el país, el clima en la zona de estudio pertenece a la región climática de los trópicos semi húmedos y clasificada como Sabana Tropical o Tierra Caliente (Clasificación climatológica según Koppen,

Almanaque Salvadoreño 1987, División de Meteorología e Hidrología del MAG.), con una estación lluviosa entre los meses de mayo y octubre y una estación seca entre noviembre y abril.

A continuación se describen los elementos: Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa e Hidrología.

Temperatura: La estación M24 San Miguel-UES durante el período 1993-2012 registra para el Municipio de San Miguel una temperatura promedio anual máxima de 44.0 °C para el año 1998; mientras que la estación El Papalón registra, para el periodo 2000-2005 una temperatura promedio anual mínima de 26.8 °C para el año 2005.

Precipitación: La precipitación se manifiesta como gotas de lluvia que para los últimos cinco años los valores anuales oscilan entre los 1806.5 milímetros de lluvia para el año 2005 y de 1245 milímetros de lluvia para el año 2004, tal como se observa en la tabla 36. Durante el periodo 2000-2005, se puede observar que el mes más lluvioso fue el mes de mayo con un valor promedio de 291 milímetros de lluvia.

Tabla 36 Valores de precipitación 2000-2005 Estación El Papalón, San Miguel

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
2000	0	0	0	12	357	272	132	283	370	106	11	0	1543
2001	0	0	9	0	278	65	216	245	145	371	1	0	1330
2002	8	0	0	26	316	180	230	219	256	270	56	0	1561
2003	0	0	25	1	169	325	157	289	232	312	60	0	1570
2004	0	0	5	19	239	108	249	82	326	150	66	0	1244
2005	0	0	32.6	30	382.1	152	160.7	359.9	351	321.7	43.1	0.3	1833.4
<b>Promedio</b>	1.3	0	11.9	14.7	290.2	183.7	190.8	246.3	280	255.1	39.5	0.1	

Cabe mencionar que la Ciudad de San Miguel al igual que en todo el país ha sido azotada por fenómenos naturales como huracanes, tormentas tropicales y depresiones tropicales; los más recientes son el Huracán Mitch que ocurrió en el año de 1998 y el Huracán Stan que lo hizo en el año 2005. En la Tabla 37 de precipitación anual se aprecia el incremento de lluvia que sucedió en el 2005; es el mayor de los últimos 6 años, debido al suceso de dicho huracán.

Humedad relativa: La Humedad Relativa está directamente relacionada con la precipitación e inversamente relacionada con la temperatura durante el día. Entre el año 2000 – 2005 se registró una humedad relativa promedio anual máxima de 76% para el año 2003 y una mínima de 70% para el 2001.

Para tal período, el promedio mensual máximo se da en los meses de septiembre y octubre con un 84% y un mínimo en el mes de febrero con un 60%.

Tabla 37 Valores de humedad relativa 2000-2005 para San Miguel (Estación El Papalón)

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
2000	65	60	66	64	75	80	77	79	84	79	77	63	72
2001	62	57	61	60	71	74	74	76	82	79	72	67	70
2002	63	57	56	57	66	80	79	77	83	82	76	74	71
2003	65	62	66	67	76	87	82	82	85	87	81	67	76
2004	68	67	58	65	77	81	83	79	85	86	78	67	75
2005	58	57	70	65	80	86	81	83	85	89	74	70	75
<b>Promedio</b>	64	60	63	63	74	81	79	79	84	84	76	68	

#### 4.4.11 Calidad del cuerpo receptor

A continuación es importante conocer el estado de calidad de las aguas del Río Grande de San Miguel para así justificar la rugosidad del tratamiento a aplicar, y en donde se determina la vulnerabilidad y la calidad mínima que el efluente debe llevar, adicionales a los parámetros mínimos dictados por la norma.

Según la tesis “Estudio de la calidad del agua en el Río Grande de San Miguel” realizada en diciembre de 2001, que consistió en la cuantificación de los parámetros de contaminación sobre 4 puntos de muestreo sobre le Rio Grande San Miguel, se llegó a la conclusión de que los valores de sólidos suspendidos, conductividad, color, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno sobrepasan los límites máximos establecidos por la Norma Oficial Salvadoreña para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Hídrico Receptor.

Claramente se observa que el Río Grande ha llegado al límite de su capacidad de autodepuración y por lo tanto no puede eliminar toda la materia contaminante que recibe, en su mayor parte carga

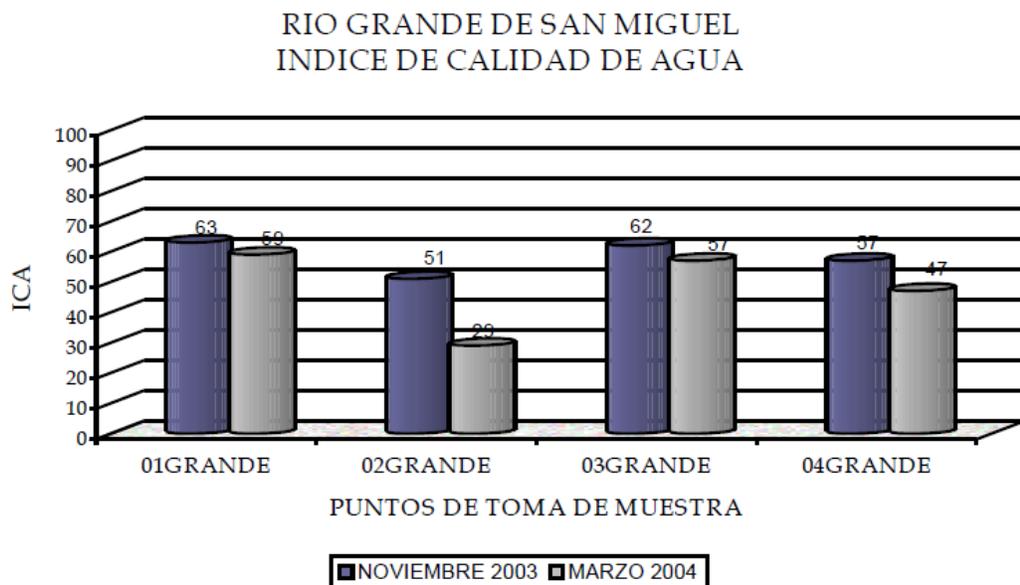
orgánica de origen doméstico, valores que se muestran en la elevada tasa de DBO y que no es más que materia potencialmente putrescible o en estado de descomposición presente en el río, contribuyendo así a un estado de eutrofización y en consecuencia un bajo atractivo visual y daños al ecosistema.

En el estudio también se detalla una clasificación para el Río Grande según normas internacionales, en la cual se encuentran cuerpos hídricos que no son aptos para el abastecimiento humano, fines turísticos y agropecuarios.

Se concluye, además, que existe una similitud en la calidad del agua entre todos los puntos de muestreo con lo que podemos concluir que la contaminación no es focalizada y más bien es uniforme sobre todo el río.

En el informe “Evaluación de la calidad de agua del Río Grande de San Miguel año 2003”, presentado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), se obtiene la siguiente valoración del Índice de Calidad de Agua (ICA) sobre 4 puntos de muestreo:

Gráfica 7 Índice de Calidad de Agua en puntos de control en Río Grande (San Miguel) 2003-2004



El informe también describe que para el mes de noviembre el ICA clasifica los cuatro sitios estudiados como de calidad “Regular”, lo que indica en estos lugares representan una amenaza para el contacto humano y no existen condiciones para el desarrollo de vida acuática. Dentro de

los resultados observamos niveles bajos de oxígeno disuelto y valores arriba de las 1000 bact/100ml de Coliformes fecales.

Se menciona, que es importante evaluar, que antes de entrar a la Ciudad de San Miguel la calidad de agua del río presenta niveles elevados de Coliformes fecales por encima de los 2000 Bact/100 ml y una contaminación orgánica biodegradable de siete unidades cuantificada a través de la DBO5; por lo anterior se ha decidido ampliar la red de trabajo a los afluentes que dan nacimiento al Río Grande de San Miguel.

Para el mes de marzo del 2004 se presenta un deterioro mayor de la calidad de las aguas del río, debido a que el ICA la clasifica como “Regular” para los sitios Villerías y El Delirio; para los sitios Puente Moscoso y Vado Marín la calidad de agua es “Mala”.

El agua del río aguas abajo de la Ciudad de San Miguel presenta niveles de oxígeno disuelto menores a 1 mg/L y valores de Coliformes fecales de hasta 2,2 millones de bacterias por 100/ml.

En el sitio de muestreo El Delirio la calidad del agua mejora de una forma leve debido a un efecto de dilución ocasionado por la Laguna de Olomega, pero debido a las descargas no puntuales en el sitio Vado Marín la calidad del agua se deteriora presentando valores de oxígeno disuelto menores de 2.5 mg/L.

Según la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES) en sus estudios de calidad de agua realizados desde 1970 hasta el 2006, confirman que se tiene una historia de cerca de 35 años de problemas severos de contaminación del agua. Esta contaminación es debida primordialmente a las aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, aunque otras fuentes como desechos sólidos, retornos agrícolas y arrastres de sedimentos por erosión en puntos específicos pueden ser importantes. Asimismo la institución confirmó que actualmente el 70 % de los afluentes hídricos nacionales están contaminados.

Todos estos problemas en el área de saneamiento deben influir para que exista una conciencia medioambiental para garantizar el bienestar de toda población, haciendo insistencia en el cumplimiento estricto de las normas mínimas.

#### 4.4.12 Medio ambiente biológico

##### Inventario de flora

Actualmente existen diversos tipos de flora y según sus características son utilizadas en funciones diferentes, por ejemplo:

Flora de paisaje: Es la vegetación que se reproduce en la zona y es la causante de microclimas.

Se pudieron identificar por medio de visita de campo los siguientes especímenes:

Tigüilotes

Conacaste blanco

Mora

De los cuales la mayoría poseía diámetros menores de 30 centímetros altura de pecho, y únicamente 9 árboles con diámetros mayores al diámetro anterior.

##### Inventario de fauna

En la zona de análisis se pueden encontrar reptiles como culebras no venenosas, iguanas adultas, garrobos adultos, sapos, algunas aves como el torogoz, pájaro carpintero pero ninguna especie en peligro de extinción.

#### 4.4.13 Medio socioeconómico

##### Población y su organización.

Las características de la población en la zona son las siguientes: las personas que viven en su alrededor son tanto estudiantes como adultos que se dedican a trabajar durante el día.

##### Infraestructura de educación

En los alrededores de la zona se encuentran escuelas tanto de nivel básica, intermedia y superior en total una de cada tipo

Hay industria cañera a 200 metros del lugar donde se desarrollara el proyecto.

### Agua potable

En el entorno de la zona se encuentra perforado un pozo con 60 metros de profundidad de donde se abastece la zona.

### Servicios básicos

En los alrededores del lugar se cuenta con todos los servicios básicos necesarios para una comunidad debido a que es zona urbana incluyendo:

Tendido eléctrico

Recolección de desechos sólidos

La zona de construcción y sus alrededores cuenta con los servicios aportados por la comuna de la ciudad y cada tres veces por semana pasa el camión recolector de basura.

Red de distribución de agua potable

Se cuenta con los servicios de ANDA para cada habitante a su alrededor. Y en casos especiales se utiliza agua del afluente río el Jute que pasa cerca de la zona.

Red de aguas lluvias

Red de aguas negras

Tanto para agua pluvial como negra se cuenta con drenajes encargados de descargar las aguas en el río el Jute.

### Producción

Los lugares alrededor son mayormente utilizados para la ganadería, así como también para crianza de conejos.

Con respecto a la agricultura se utilizan los suelos en menor cantidad. En la zona se producen todos los derivados de la caña de azúcar, por lo que en época de zafra aumenta el flujo de vehículos de la zona así como el número de personas.

#### **4.4.14 Legislación y normas**

Legislación y normas aplicables al proyecto o entes encargados de su aplicación y los permisos necesarios para la acometida y descarga.

La Ley del Medio Ambiente manda en los artículos 18, *Evaluación del impacto ambiental*, 19 *Competencia del Permiso Ambiental* y 20 *Actividades, obras o proyectos que requerirán de un estudio de impacto ambiental*, a la obtención del permiso ambiental previa aprobación del estudio de impacto ambiental para la ejecución de obras de transporte de líquidos y redes de alcantarillado, categoría en la que encaja el presente proyecto.

#### 4.4.15 Identificación y evaluación de impactos

Efectos y cuantificación de los impactos positivos y negativos de las obras propuestas sobre los diferentes componentes del ambiente durante la construcción y operación de los sistemas de recolección y disposición de aguas servidas.

##### **Efectos al suelo**

Durante la construcción se prevén efectos negativos consistentes en la posible contaminación de los mismos por residuos sólidos consistente en la acumulación de basuras y desechos de construcción o de equipos eléctricos y mecánicos que salgan de uso.

Durante la operación de los sistemas y bajo los adecuados esquemas de operación y mantenimiento no se esperan impactos significativos en el suelo.

##### **Efectos a la atmosfera, clima y paisaje**

La única fuente de efectos a la atmósfera provendrá de la planta de tratamiento de aguas residuales ante la probable generación de olores. La experiencia ha demostrado que bajo una adecuada operación y mantenimiento los olores que puedan generarse no se expande más allá de las mismas instalaciones o terreno donde se ubica la planta, por lo que se considera que el impacto sea de baja magnitud y de moderada significancia.

No se esperan efectos negativos en el clima como consecuencia de la construcción y operación de las obras consideradas en el proyecto. El paisaje se vería afectado particularmente por la construcción del sedimentador y el reactor UASB al introducir una estructura ajena al entorno, visible a grandes distancias, el impacto será de baja magnitud y baja significancia ya que las construcciones serán cerca del ingenio Chaparrastique el cual posee infraestructura en mayor tamaño.

### **Efectos al agua**

Habrá un impacto negativo de moderada magnitud y moderada significancia por la descarga del efluente de la planta de tratamiento en el río Grande, pero al considerar que actualmente las descargas se hacen sin ningún tipo de tratamiento, la situación con el proyecto será mucho mejor que la actual.

### **Efectos al hombre**

Se presentaran efectos positivos sobre la salud, como consecuencia de la mejora en el tratamiento de las aguas residuales antes de su disposición final. El proyecto contribuirá de forma positiva y de gran significancia a la población universitaria.

## **Evaluación resumida**

A continuación se muestra una tabla resumen (tabla No 38) en donde se indican las acciones a desarrollar, los efectos ambientales que se prevén para cada una así como su caracterización de acuerdo a los siguientes criterios<sup>6</sup>:

- a) **Tipo de acción:** relativa al modo como se materializa el proyecto, ya sea eventual o permanente.
- b) **Efecto:** hace referencia a su consideración positiva o negativa respecto al estado previo a la acción; indica si, en lo que se refiere a la faceta de la vulnerabilidad que se está teniendo en cuenta, ésta es beneficiosa o perjudicial.
- a) **Magnitud:** cuantifica el vigor o grado de cambio que produce el impacto, puede ser baja, moderada o alta.
- b) **Significancia:** alude a su importancia relativa (se asimila a la "calidad del impacto"). Por ejemplo: importancia ecológica de las especies eliminadas, o intensidad de la toxicidad del vertido, o el valor ambiental de un territorio.

---

<sup>6</sup> (Espinoza, 2001)

Tabla 38 Impactos ambientales esperados por la ejecución del proyecto.

Acciones a desarrollar	Efectos ambientales previsible	Tipo de efecto	Magnitud	Significancia
Instalación de tuberías de red de alcantarillado	Producción de desechos sólidos	Negativo	Moderada	Moderada
	Afectación de acceso en las vías	Negativo	Alta	Alta
	Mejoramiento en la prestación del servicio.	Positivo	Alta	Alta
Construcción del colector de carga y descarga para la planta de tratamiento	Producción de ruidos y desechos sólidos	Negativo	Moderada	Moderada
Construcción de planta de tratamiento	Producción de ruidos y desechos sólidos	Negativo	Moderada	Moderada
	Disminución de la contaminación del agua.	Positivo	Alta	Alta

#### 4.4.16 Medidas de Prevención, Corrección, Control y/o Compensación

Medidas de Prevención, Corrección y/o Control, Compensación y minimizantes para los impactos evaluados.

##### **Medidas durante la construcción de las obras**

Será responsabilidad de la empresa constructora conocer los lineamientos ambientales e ANDA, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN, y Ministerio de Salud Pública MSPAS. El constructor deberá esmerarse en producir el menor impacto negativo a los suelos, cursos del agua, atmósfera, flora y fauna y comunidades vecinas, durante el periodo de construcción.

##### **Medidas durante la vida útil de las obras a realizarse**

La principal medida para prevenir o minimizar los impactos negativos en el medio ambiente será la adecuada operación y mantenimiento periódico de la red de alcantarillado, planta de tratamiento y colectores de carga y descarga de la planta.

##### **Plan de monitoreo**

Durante la etapa de ejecución del proyecto debe haber una adecuada supervisión de la construcción de la infraestructura considerando los efectos que puedan producirse en el medio ambiente.

Durante la vida útil de los sistemas deberá haber una evaluación periódica del funcionamiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales, mediante la toma de muestras y análisis del agua que entra y sale de la planta a fin de determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes.

De suma importancia es la inspección regular de tuberías y colectores de aguas residuales a fin de detectar fugas que puedan contaminar el suelo y el agua.

#### **Plan de seguimiento y control**

La Universidad deberá contar con un Plan para el seguimiento y control de las medidas recomendadas y practicar la supervisión de la construcción de las obras.

Deberá contarse con un Plan de medición periódica de la calidad del influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **Conclusión**

En términos generales el proyecto de construcción de sistemas de recolección, conducción, tratamiento y disposición final de las aguas residuales servidas de la Universidad de El Salvador significa impactos positivos al ambiente y al hombre, especialmente cuando lo comparamos con la situación actual de dichos servicios.

El impacto más significativo al ambiente y el hombre es la descarga de las aguas servidas que actualmente se hace sin ningún tipo de tratamiento afectando directamente al agua, suelo, flora, fauna y salud de las personas. Con el proyecto propuesto la descarga de contaminantes se disminuirá en un 90%. El sistema es completamente por gravedad por lo que no está sujeto a riesgos por mal funcionamiento por fallas en el suministro de energía.

### **4.5. Amenaza de inundación del sitio proyectado para el sistema de tratamiento**

El terreno donde se ha propuesto construir el sistema de tratamiento de las aguas residuales producidas en la UES-FMO está limitado por dos quebradas, una al oriente que proviene del ingenio Chaparrastique y otra al sur que recoge parte del agua proveniente del recinto universitario. Al sur-oriente colinda con el Río Grande de San Miguel, el cual presenta un cambio

de dirección importante en el lugar de colindancia con el terreno en cuestión. La imagen No 33 ilustra la descripción anterior:

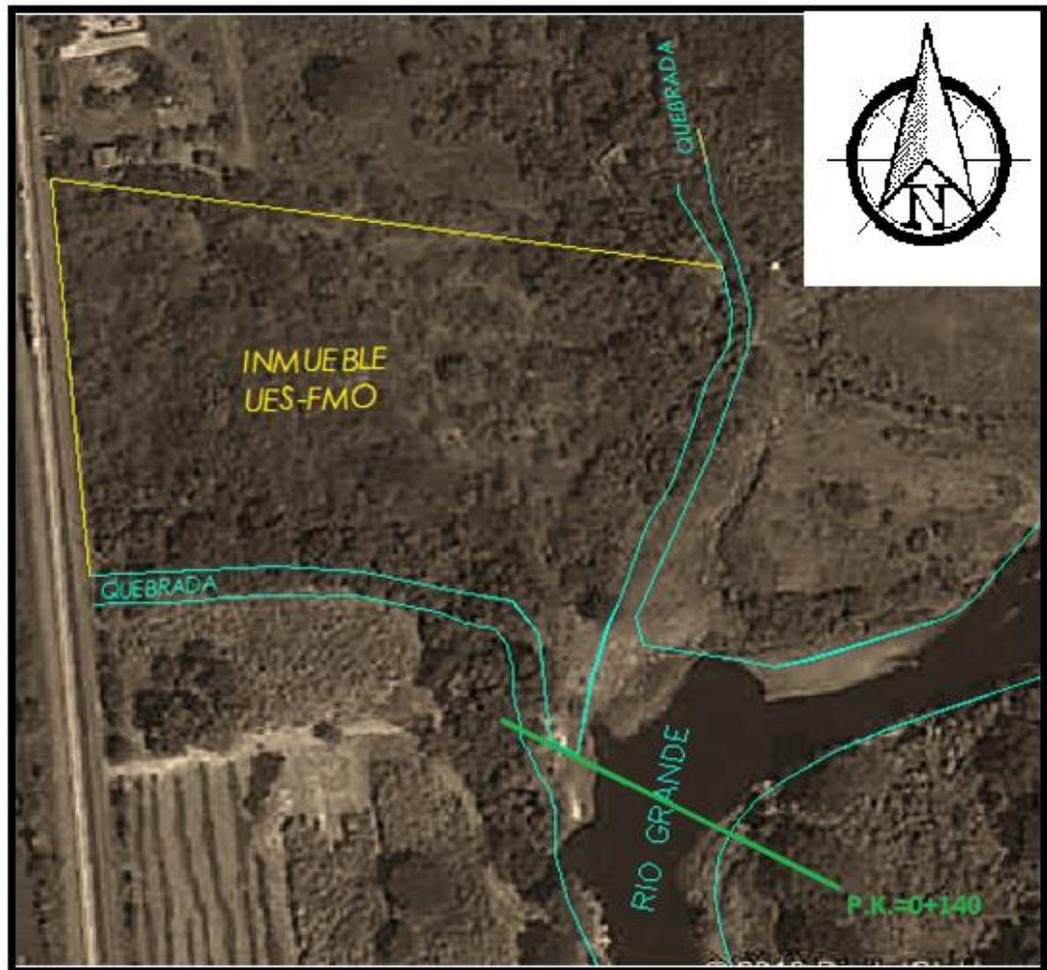


Imagen 33 Esquema de colindancia de Inmueble con quebradas y río

Las quebradas que limitan el terreno tienen caudales que no representan amenazas para el terreno y los elementos que en este se van a construir, sin embargo, el Río Grande de San Miguel presenta caudales que deben de ser tomados en cuenta para determinar el peligro de inundación que presentan en un intervalo de tiempo determinado.

La cuenca del Río Grande de San Miguel ha sido objeto de estudio por distintos organismos e instituciones con propósitos variados los cuales han arrojado información que es útil para identificar amenazas por distintos fenómenos naturales que se pueden manifestar. En el año 2007

se presentó un trabajo de graduación en la Universidad de El Salvador-Facultad Multidisciplinaria Oriental titulado “Propuesta de diseño de obras de mitigación de riesgos causadas por la inundación del Río Grande de San Miguel en el sector suburbano” en el cual se dirigió la atención a determinar la amenaza de inundación en sectores específicos como lo son Colonias Dolores, Jardines del Río y Carrillo I. Posteriormente se propusieron obras de mitigación de riesgos para estas comunidades para lo cual se elaboró un estudio hidrológico en la cuenca del río y un análisis hidráulico en distintas secciones transversales del mismo, las cuales se obtuvieron por medio de un levantamiento topográfico.

A partir de algunos de los datos del trabajo de graduación descrito anteriormente y de información adicional se puede analizar la amenaza de inundación en el recinto universitario donde se ha proyectado el sistema de tratamiento de aguas residuales. Los datos que a continuación se muestran están relacionados específicamente a las Colonias Jardines del Río y Carrillo I (4.5 km aguas arriba de terreno UES-FMO), debido a que esta área de estudio es la más cercana a nuestro punto de interés donde el inmueble de la UES-FMO colinda con el Río Grande de San Miguel

Tabla 39 Caudal Máximo para sub-cuenca con punto de interés Col. Jardines del Río y Carrillo I

Periodo de retorno (años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
10	3,398.71
25	4,146.3
50	4,725.81

(Contreras Herrera & Montepeque Parada, 2007)

Los datos de la tabla 39 son el resultado del estudio hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río grande, los cuales serán útiles para determinar el nivel de aguas máximas y el área Hidráulica en el punto de interés.

La información de la tabla 40 representa las últimas secciones transversales del levantamiento Topográfico en el Río Grande de San Miguel al final de la Colonia Jardines del Río. Estas secciones son las más cercanas al punto de interés de nuestro estudio.

Tabla 40 Alturas Reales, Críticas y Normales-Periodo de retorno: 50 años Col. Jardines del Rio

<b>ESTACIÓN</b>	<b>Altura Real (Y) (mts)</b>	<b>Altura Critica (Yc) (mts)</b>	<b>Altura Normal (Yn) (mts)</b>
1+040	10.65	7.97	8.19
1+060	12.55	6.52	6.83
1+080	12.60	5.37	5.63
1+100	12.54	5.78	6.00
1+120	12.57	6.52	6.97
1+140	12.51	7.34	7.42
1+160	12.26	6.56	6.8
1+180	12.67	6.82	7.48
1+200	11.61	6,69	6.90
1+220	12.74	5.02	5.13
1+240	9.16	7.73	8.17
1+260	8.12	8.11	11.39
1+280	9.48	8.79	11.45
1+289.82	9.37	8.56	9.25

(Contreras Herrera & Montepeque Parada, 2007)

A partir de los datos del estudio hidrológico e hidráulico que se obtuvieron en el trabajo de graduación al que se hace referencia anteriormente, se determina la zona de inundación para distintos periodos de retorno lo cual puede observarse en la imagen No 34 (Colonia Jardines del Rio):

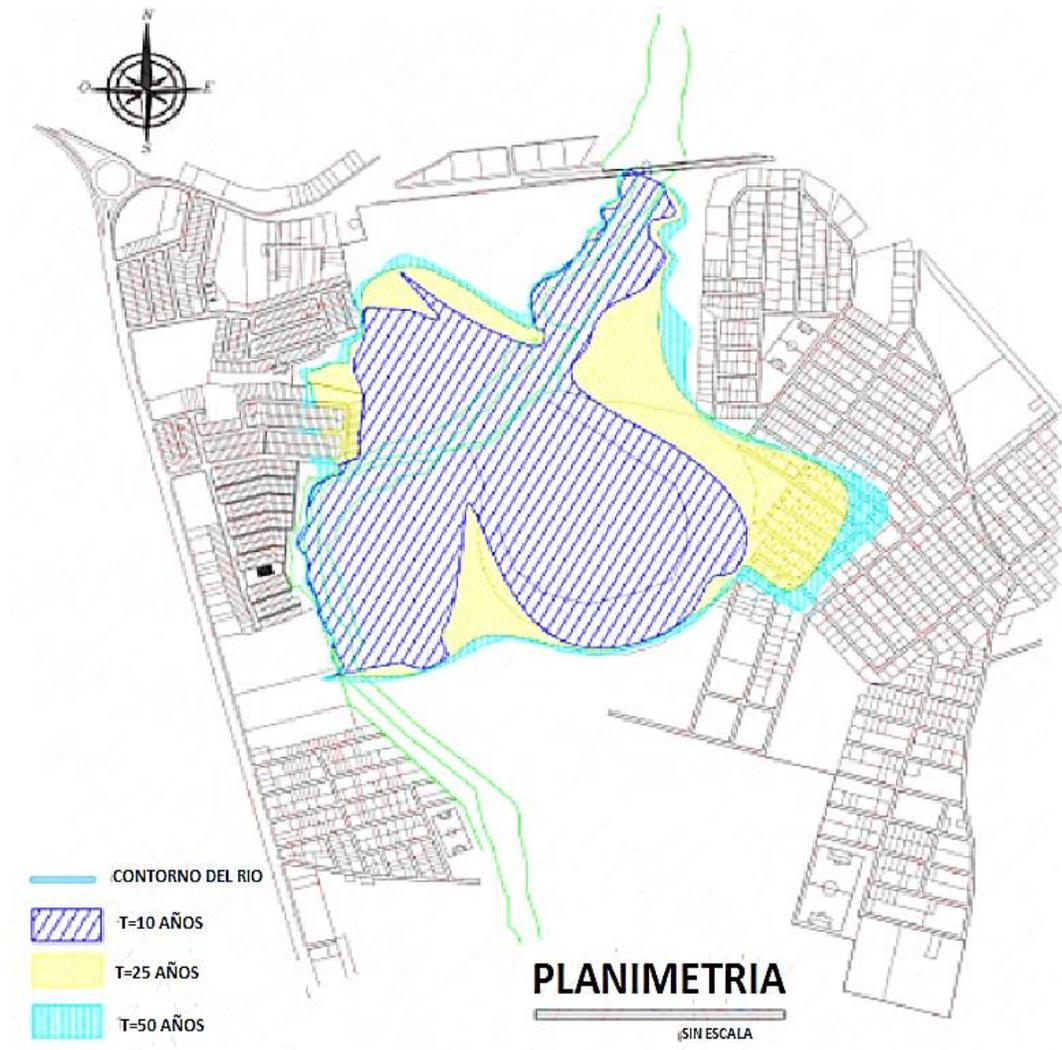


Imagen 34 Zona de inundación: Periodos de retorno de 10, 25,50 años (Colonia Jardines del Rio)

La información que se obtiene del estudio anterior es de gran valor para hacer un análisis preliminar de amenaza de inundación para el terreno donde se pretende construir el sistema de tratamiento de aguas residuales. La información requerida para este análisis es la sección típica del río y su caudal para un período de retorno determinado.

El Río Grande de San Miguel y el inmueble de la UES-FMO tienen una longitud de colindancia de aproximadamente 95 metros lineales en un tramo donde el río presenta un cambio en su dirección, el ancho del canal del río en este tramo varía entre 55m a 70m y es una zona donde se ha depositado material arrastrado por el río.

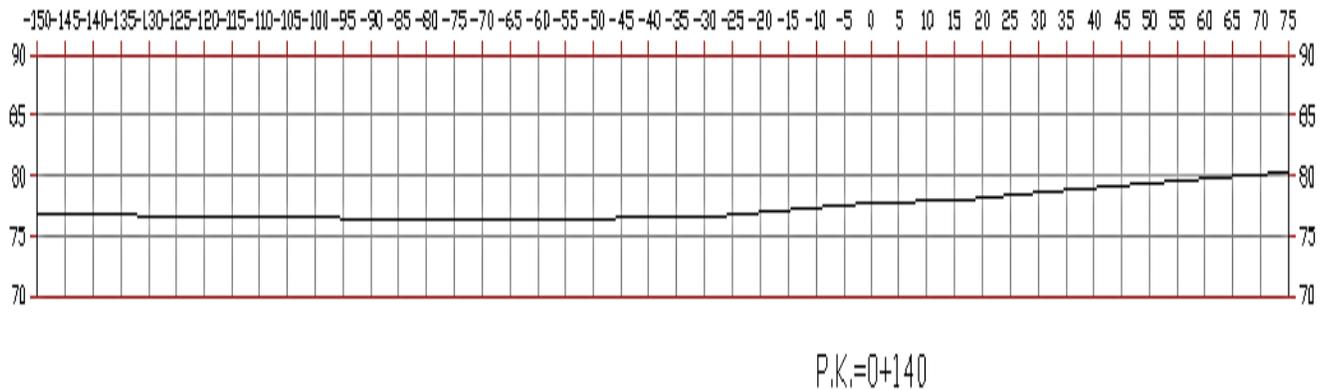


Imagen 35 Río Grande en punto de colindancia con inmueble UES (03/12/2013)

**Fuente: Grupo de Tesis**

Ésta región del Río Grande de San Miguel presenta cambios de nivel suaves y la altura real del canal (altura mínima) del río la establece el terreno colindante con el inmueble de la UES-FMO río de por medio. Por lo que en un caso de desborde del río, la región que se inunda en primera instancia es el terreno que tiene la altura de canal mínima.

Para determinar las secciones en nuestro punto de interés se ha elaborado una superficie a partir información cartográfica, con base en la fotografía satelital de Google earth, con el fin de conocer las secciones transversales aproximadas del Río Grande de San miguel, una de estas secciones es la siguiente:



En el lado izquierdo de la sección transversal anterior se muestra el costado del terreno con la menor altura del canal del río y en el lado derecho se muestra el costado del terreno de la UES-FMO donde se ha proyectado el sistema de tratamiento para el cual se observa una cota de 80m a una distancia de 75m del eje del río en la cual no existe peligro de inundación para el terreno ya que a partir de esta cota hay un incremento de 4m hasta la zona donde se ha proyectado el sistema de tratamiento; para el lado opuesto se observa una cota de 77m a una distancia de 150 m del eje del río y para que este lado alcance una cota de 80m se necesita una distancia a partir del eje del río de 210m, con lo que se tendría un caudal de 7784.11 m<sup>3</sup>/seg lo que sería un caudal mucho mayor que el de un periodo de retorno de 50 años (4725.81 m<sup>3</sup>/seg).

De acuerdo a los datos y el análisis anterior para un periodo de retorno de 50 años no se presentarían inundaciones en el terreno y los elementos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de El Salvador-Facultad Multidisciplinaria Oriental.

## 4.6. Diseño hidráulico: Sistema de tratamiento de aguas residuales

### 4.6.1 Diseño hidráulico de la criba

Tabla 41 Datos de diseño para el cribado y desarenador

<b>DATOS TOPOGRAFICOS</b>		
<i>Cota batea de la tubería de entrada</i>	Z1	91.4
Cota de Nivel de referencia (fondo de canal)	Z2	91.22
Cota aguas debajo de la reja Gruesa	Z3	91.22
Cota aguas debajo de la reja fina	Z4	91.22
<i>Caudales de diseño</i>		
Caudal Máximo Horario (QMH)	m <sup>3</sup> /s	0.0141
Caudal Máximo Diario (QMD)	m <sup>3</sup> /s	0.0094
Caudal Medio Diario (qmd)	m <sup>3</sup> /s	0.0059
<i>Características del ducto de entrada PTAR</i>		
Pendiente ducto entrada PTAR	m/m	0.01
Rugosidad	concreto	0.015
Diámetro de la tubería de entrada	"	8
	m	0.2
Radio hidráulico de una tubería	m	0.05

Tabla 42 Criterios de diseño para la reja gruesa

<b>CRITERIO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
Tipo de reja		Manual	
Separación entre Barras	S <sub>p</sub>	mm	40 - 100
Ancho de barras	A <sub>b</sub>	mm	4 - 8
Angulo de inclinación de la reja		°	45
<i>Velocidad a través de la reja en diferentes flujos</i>			
Velocidad flujo máximo		m/s	1.2
Velocidad flujo medio		m/s	0.9
Velocidad flujo mínimo		m/s	0.6

Tabla 43 Criterios de diseño para la reja fina

CRITERIO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Tipo de reja		Manual	
Separación entre Barras	$S_p$	mm	10 - 20
Ancho de barras	$A_b$	mm	4 - 8
Angulo de inclinación de la reja		°	45
Velocidad a través de la reja en diferentes flujos			
Velocidad flujo máximo		m/s	0.9
Velocidad flujo medio		m/s	0.8
Velocidad flujo mínimo		m/s	0.7

Con la ayuda del programa HCanales se calcula los parámetros hidráulicos de entrada del agua residual al canal de criba.

**Considerando los siguientes datos:**

Caudal (Q): 0.0141 m<sup>3</sup>/seg

Diámetro (d): 0.2 m

Material: Concreto

Rugosidad (n): 0.015

Pendiente (S): 0.01 m/m

**Obtenemos lo siguiente:**

Tirante normal (y): 0.0995 m

Área hidráulica (A): 0.0156 m<sup>2</sup>

Espejo de agua (T): 0.2 m

Número de Froude (F): 1.0318

Tipo de flujo: Supercrítico

Perímetro mojado (p): 0.3132 m

Radio hidráulico (R): 0.0499 m Velocidad (v): 0.9030 m/seg

Energía específica (E): 0.1411 m.Kg/Kg

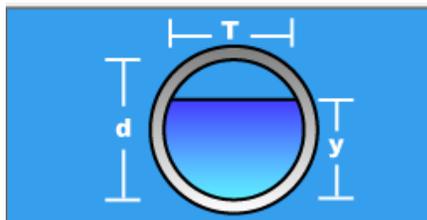


Imagen 36 Análisis de sección transversal del flujo sobre tubería

En la siguiente figura se muestra una figura representativa de nuestro análisis hidráulico a través de las rejillas.

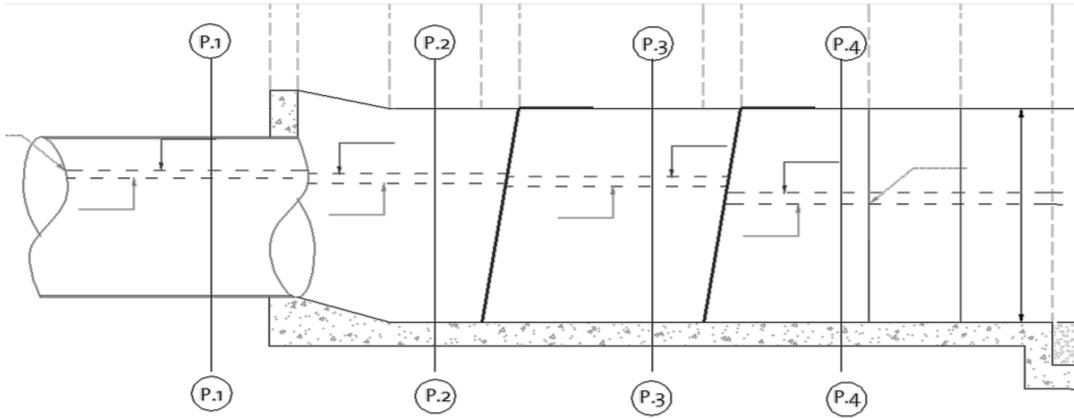


Imagen 37 Sección transversal de canal de criba (gruesa + fina)

P1 – Sobre tubería de entrada

P2 – Previo a rejillas gruesas

P3 – Luego de rejillas gruesas, y previo a rejillas finas

P4 – Posterior a rejillas finas

Seguidamente se presenta la tabla resumen del cálculo para las rejillas gruesas.

Tabla 44 Resumen datos de diseño sistema de cribado

Dimensión	Símbolo	Reja Gruesa	Unidad	Ecuaciones de diseño
Área de los Espaciamientos	<b>A</b>	0.01175	m <sup>2</sup>	= QMH/Velocidad flujo máximo
Espaciamiento total entre barras	<b>E<sub>T</sub></b>	0.12	m	= A/y
Separación entre barras	<b>S<sub>p</sub></b>	0.1	m	= Criterio
Numero de separaciones	<b>#S<sub>p</sub></b>	1	#	= E <sub>T</sub> / S <sub>p</sub>
Espaciamiento total de la reja	<b>E<sub>R</sub></b>	0.1	m	= S <sub>p</sub> x #S <sub>p</sub>
Número total de barras	<b>#B</b>	0	#	= #S <sub>p</sub> - 1
Ancho de las barras	<b>A<sub>b</sub></b>	0.004	m	= Criterio
Ancho de la reja	<b>A<sub>c</sub></b>	0.1	m	= E <sub>R</sub> + (#B x A <sub>b</sub> )

Puede notarse en la tabla 44 que el cálculo para el número total de barras para la reja gruesa es igual a cero, esto indica que el canal es muy pequeño para montar una rejilla de este tipo, por lo que de aquí en adelante se diseñara el canal de criba considerando únicamente una reja para finos a una velocidad de flujo máximo de 1.2 m/seg por motivos de que se manejan caudales bajos al principio del período de diseño en función de obtener dimensiones pequeñas para que se desarrolle la velocidad mínima requerida.

A continuación se presenta nuestro nuevo esquema de análisis, eliminando a la reja gruesa de nuestro diseño.

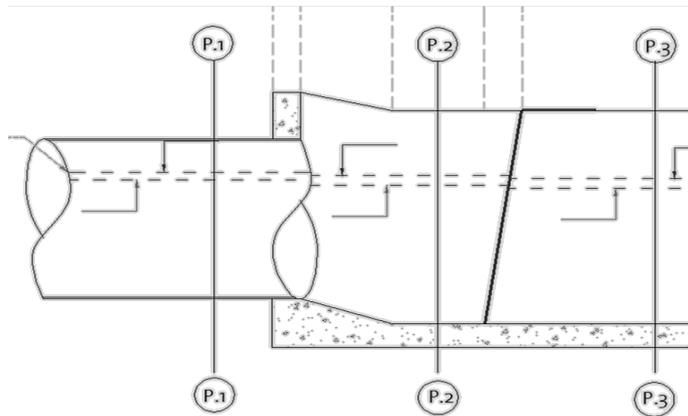


Imagen 38 Sección transversal de canal de criba (solo fina)

*P1 – Sobre tubería de entrada*

*P2 – Previo a rejas finas*

*P3 – Aguas debajo de rejas finas, previo a desarenador*

Tabla 45 Resumen datos de diseño sistema de cribado

Dimensión	Símbolo	Reja Fina	Unidad	Ecuaciones de diseño
Área de los Espaciamientos	<b>A</b>	0.01175	m <sup>2</sup>	= QMH/Velocidad flujo máximo
Espaciamento total entre barras	<b>E<sub>T</sub></b>	0.12	m	= A/y
Separación entre barras	<b>S<sub>p</sub></b>	0.02	m	= Criterio
Numero de separaciones	<b>#S<sub>p</sub></b>	6	#	= E <sub>T</sub> / S <sub>p</sub>
Espaciamento total de la reja	<b>E<sub>R</sub></b>	0.12	m	= S <sub>p</sub> x #S <sub>p</sub>
Número total de barras	<b>#B</b>	5	#	= #S <sub>p</sub> - 1
Ancho de las barras	<b>A<sub>b</sub></b>	0.004	m	= Criterio
Ancho de la reja	<b>A<sub>c</sub></b>	<b>0.14</b>	<b>m</b>	= E <sub>R</sub> + (#B x A <sub>b</sub> )
Coefficiente de Eficiencia	<b>C<sub>E</sub></b>	85.71	%	= (E <sub>R</sub> / A <sub>c</sub> ) x 100
Longitud de la reja	<b>L</b>	1.16	m	= P <sub>c</sub> /sen (45)
Longitud que ocupa la reja en el canal	<b>L<sub>c</sub></b>	0.82	m	= (L <sup>2</sup> - P <sub>c</sub> <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>

A continuación se utiliza la ecuación de energía para fluidos para determinar alturas de carga, pérdidas y análisis de velocidades en cada tramo.

**Punto A: Previo a la reja**

**Punto B: Luego de cruzar la reja en análisis**

Ecuación de energía 
$$Z_A + d_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + d_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_L$$

Donde 
$$h_L = K_e \left( \frac{V_A^2 - V_B^2}{2g} \right) K_e = 0.3$$

**Cuando existe obstrucción en las rejás (50% obstruida)**

Ecuación de energía 
$$Z_A + d_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + d_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_{L50}$$

Donde 
$$h_{L50} = \frac{1}{0.7} \left( \frac{V_B^2 - V_A^2}{2g} \right)$$

Tabla 46 Resultados: Aplicación de la ecuación de la energía en el punto 1 y 2

Altura de la lámina de agua (aguas arriba de la reja fina)	$d_2$	0.30565291	m	Resolvemos el polinomio siguiente: $d_2^3 + (Z_1 - Z_2 + d_1 + \frac{V_1^2}{2g}(1 - K_e))d_2^2 + \frac{(1-K_e)}{2g}(\frac{QMH}{A_c})^2 = 0$
Velocidad de agua (aguas arriba de la reja fina)	$V_2$	0.32950540	m/s	$= \frac{QMH}{A_c d_2}$
Velocidad a través de las aberturas de la reja fina	$V_R$	0.38442297	m/s	$= \frac{QMH}{E_T d_2}$
Pérdida de carga a través de la reja fina	$h_L$	0.00200037	m	$= \left(\frac{V_R^2 - V_2^2}{2g}\right)$

Tabla 47 Resultados: Aplicación de la ecuación de la energía en el punto 2 y 3

Altura de la lámina de agua (aguas abajo de la reja fina)	$d_3$	0.30953055	m	Resolvemos el polinomio siguiente: $d_3^3 + (Z_2 - Z_3 + d_2 + \frac{V_2^2}{2g}(1 - K_e))d_3^2 + \frac{(1)}{2g}(\frac{QMH}{A_c})^2 = 0$
Velocidad aguas (aguas abajo de la reja fina)	$V_3$	0.37960712	m/s	$= \frac{QMH}{E_T d_3}$

Tabla 48 Resultado: Aplicación de ecuación de energía en punto 1 y 2 al 50% de obstrucción

Altura de la lámina de agua (aguas arriba de la reja fina)	$d_2'$	0.316738237	m	Resolvemos el polinomio siguiente: $d_2'^3 - (Z_3 - Z_2 + d_3 + \frac{V_3^2}{2g})(-1)d_2'^2 + \frac{(QMH^2)}{1.4g}(\frac{1.7}{A_c^2} - \frac{4}{E_T^2}) = 0$
Velocidad de agua (aguas arriba de la reja fina)	$V_2'$	0.31797325	m/s	$= \frac{QMH}{A_c d_2'}$
Velocidad a través de las aberturas de la reja fina	$V_R'$	0.37096879	m/s	$= \frac{QMH}{E_T d_2'}$
Pérdida de carga a través de la reja fina	$h_{L50\%}$	0.00266114	m	$= \left(\frac{V_R'^2 - V_2'^2}{1.4g}\right)$

Los resultados demuestran que el flujo mantendrá el límite de velocidad requerido para el canal de criba. El siguiente cuadro muestra el dimensionamiento final de la criba:

Tabla 49 Diseño del Canal

Ancho	$A_{\text{canal}}$	0.14	m	= Diseñado		
Profundo:	$P_{\text{canal}}$	0.82	m	= $d_2' + 0.5$		
Largo	$L_{\text{canal}}$	4.09	m	= $L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_c$		
Longitud desde el tubo hasta final de la sección				L1	0.68	m
Longitud desde el final de la sección hasta la reja				L2	0.91	m
Longitud de la placa de mantenimiento reja				L3	1.00	m
Longitud desde la placa de mantenimiento de la reja hasta la sección del desarenador				L4	0.68	m

#### 4.6.2 Diseño hidráulico del desarenador

En el siguiente cuadro se muestran las variables y constantes con las que se diseñará el canal de desarenado:

Tabla 50 Datos de diseño de desarenador

<b>VARIABLES Y CONSTANTES</b>			
Número de desarenadores	#	2	Unidades
Número de desarenadores para Caudal de emergencia	#	1	Unidades
Tiempo de Retención	$T_r$	60	Segundos
Velocidad Horizontal	VII	0.3	m/s
Velocidad de Sedimentación	$V_s$	1.2	m/min
	$V_s$	0.02	m/seg
	$V_s$	1730	$m^3/m^2-d$
Gravedad	g	9.81	$m/s^2$
<b>CAUDALES</b>			
Caudal máximo	QMH	0.0141	$m^3/s$
Caudal medio	QMD	0.0094	$m^3/s$
Caudal mínimo	qmd	0.00588	$m^3/s$

#### Paso 1: Manteniendo del mismo nivel del agua del cribado

Altura de la sección	H	0.30953	m
Ancho del canal	T	0.23	m
Profundidad del canal	Pc	0.82	m

**Paso 2: Aplicar Bernoulli entre el canal y la sección de control**

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = d_c + \frac{V_c^2}{2g} + h_L$$

Donde :

$$h_L = 0,1 \frac{V_c^2}{2g}$$

Donde:

Vc = Velocidad critica

hL = Perdida de Carga

En canales rectangulares la profundidad crítica es:

$$d_c = \frac{V_c^2}{g} = \frac{2V_c^2}{2g}$$

Reemplazando:

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{2V_c^2}{2g} + \frac{V_c^2}{2g} + 0,1 \frac{V_c^2}{2g}$$

Por lo tanto Bernoulli:

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = 3,1 \frac{V_c^2}{2g}$$

Resolviendo para Vc:

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{1}{3.1} \left( H + \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

$$V_c^2/2g = 0.1 \text{ m}$$

$$D_c = 0.2 \text{ m}$$

$$V_c = 1.4 \text{ m/s}$$

Área de la sección de control:

$$a = \frac{Q}{V_c}$$

Área de la sección de control  $a = 0.01 \text{ m}^2$

Ancho de la sección de control  $W = 0.05 \text{ m}$

### Paso 3: Diseño del canal para el caudal medio

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = 3.1 \frac{V_c^2}{2g}$$

Donde :

$$d_c = \frac{V_c^2}{g}$$

Por lo tanto :

$$H + \frac{V_1^2}{2g} = 3.1 d_c$$

Donde:

$V_c =$  Velocidad critica

$g =$  gravedad

$d_c =$  Profundidad Critica

Caudal unitario en la sección de control:

$$q = Q/W$$

Profundidad critica en la sección de control:

$$d_c = \sqrt[3]{(q^2/g)} = \sqrt[3]{(Q^2/(W^2 g))}$$

Multiplicando ambos lados por W

$$W d_c = \sqrt[3]{((Q^2 w)/g)}$$

Donde  $W d_c =$  área de flujo en la sección de control (a)

$$a = \sqrt[3]{((Q^2 w)/g)}$$

Área en la sección de control  $a = 0.00766512 \text{ m}^2$

Calculando la profundidad critica en la sección de control:

$$d_c = 0.15 \text{ m}$$

Calculando la altura de la sección de control:

$$H = 0.23 \text{ m}$$

Ancho de la lámina de agua en el canal del desarenador:

$$T = 0.2 \text{ m}$$

#### Paso 4: Diseño del canal para el caudal mínimo

Área de flujo en la sección de control	a =	0.006	m <sup>2</sup>
Profundidad Crítica en la sección de control	dc =	0.12	m
Lámina de agua en el canal del desarenador	H =	0.18	m
Ancho de la lámina de agua en el canal	T =	0	m

#### Paso 5: Diseño del canal para el caudal máximo de emergencia

Caudal máximo de emergencia	QMH =	0.0141	m <sup>3</sup> /s
Área de flujo en la sección de control	a =	0.01	m <sup>2</sup>
Profundidad Crítica en la sección de control	dc =	0.2	m
Lámina de agua en el canal del desarenador	H =	0.31	m
Ancho de la lámina de agua en el canal	T =	0.23	m

$$\text{Longitud del desarenador} = 6.6 \text{ m}$$

$$\text{Longitud teórica} = 5.0 \text{ m}$$

$$\text{Longitud mínima adicional} = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Longitud máxima adicional} = 2.5 \text{ m}$$

$$\text{Se adopta una longitud adicional} = 1.6 \text{ m}$$

#### Paso 6: Cálculo de tiempo de retención y tiempo de sedimentación para caudal máximo

$$TH = \begin{matrix} 22 & \text{seg} \\ 0.37 & \text{min} \end{matrix}$$

$$TS = \begin{matrix} 0.26 & \text{min} \\ 15.6 & \text{seg} \end{matrix}$$

#### Paso 7: Calculo de la caja de arena

Cantidad de arena teórica = 30 m<sup>3</sup> de arena  
por cada 1000000 m<sup>3</sup> de agua tratada

Cantidad de arena PTAR = 0.04 m<sup>3</sup> por día

##### Dimensiones de la caja de arena del desarenador

Ancho = 0.1 m

Largo = 6.6 m

Profundo = 0.06 m

Cálculo de cota en la sección de control a QMH 0.2435306 m

Cálculo de la energía en la sección de control 91.468118 m

### 4.6.3 Diseño del reactor UASB

Tabla 51 Datos básico para diseño de UASB rectangular

Descripción	Abrev.	Fórmula	Valor	Unidad
Caudal medio diseño A.R.D	Qmd	Qmd	5.89	( l / s )
Caudal medio diseño A.R.D	Qmd	Qmd	509.32	( m <sup>3</sup> /día )
Factor Pico Horario (F + 0.5)	F +0,5	2.4 (Norma ANDA)	2.4	
Caudal Pico Horario ARD	QMH		14.15	( l / s )
DBO <sub>5</sub> agua cruda al ingreso del U.A.S.B	[DBO <sub>5</sub> ]		341.82	( mg / l )
SST agua cruda al ingreso del U.A.S.B	[SST]		231	( mg / l )
DQO agua cruda al ingreso del U.A.S.B	[DQO]		718.78	( mg / l )
Caudal medio Total	Qmd		5.89E-03	( m <sup>3</sup> /s )
Caudal Máximo Total	QMH		1.41E-02	( m <sup>3</sup> /s )
Número Total de reactores	N		2	( UNI )
Número de Unidades en Operación	UO		2	( UNI )
Caudal medio por unidad	QmdU	QmdT / UO	5.89E-03	( m <sup>3</sup> /s )
Caudal Máximo por unidad	QMXU	QMXT / UO	1.41E-02	( m <sup>3</sup> /s )

Tabla 52 Criterios de dimensionamiento de reactor UASB

Descripción	Abrev.	Fórmula	Valor	Unidad
Tiempo de retención hidráulico adoptado	TRH		7.05	Horas
Volumen por reactor	VR	QmdU*3600*TRH	74.81	m <sup>3</sup>

Tabla 53 Características del reactor UASB

Descripción	Abrev	Fórmula	Valor	Unidad
Velocidad Ascendente de Flujo	Vo		0.425	( m/h )
Profundidad del Agua	H	$H = Vo \cdot TRH$	3	( m )
Volumen Cámara de Sedimentación	Vcs	$(20\%)VR$	14.96	( m <sup>3</sup> )
Profundidad del Agua en la Cámara de Sedimentación	H'		0.70	( m )
Profundidad del Agua en el Reactor para Qmed	H''		3.52	( m )
Ancho de la Apertura	a'		0.34	( m )
Velocidad en la Apertura para Qmed	Va		4.00	( m/h )
Chequeo de Velocidad en la Apertura para Caudal Medio	Va	$Va < 4.0 \text{ m/h}$	OK!	
Superficie del reactor	SU		25.2	( m <sup>2</sup> )
Carga Hidráulica Superficial reactor	CSR	$QmdU/SU$	0.84	( m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *hr )
Carga Hidráulica Superficial reactor	CSR	$Qmax/SU$	2.4	( m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *hr )
Chequeo de Carga Hidráulica para Caudal Medio			OK!	
Volumen útil	Vu	$E \cdot H$	75.5	( m <sup>3</sup> )
T.R.H Promedio		$Vu/QmdU \cdot 3600$	3.6	( hr )
T.R.H Mínimo		$Vu/QmdU \cdot 3600$	1.5	( hr )
Puntos de entrada de afluente	PE		0.5	Entrada/ m <sup>2</sup>
Tuberías de Distribución estimadas	TD	$SR \cdot PE$	10.62	( UNI )
Altura del Manto	HM		1.8	( m )
Concentración Promedia en el Compartimiento de Lodo	CL		50	( Kg ST/m <sup>3</sup> )
Cantidad de lodo en el Reactor	CLR	$SU \cdot HM \cdot CL$	2268.00	( Kg/ST )
Remoción de S.S.T (%R)*		Eficiencia esperada = 60%	60	( % )
[S.S.T] en el efluente		$[SST] \cdot (1 - \%R)$	92.4	( mg/l )
Arrastre de sólidos		$QmdU \cdot [ST] \cdot e^{86,4}$	23.53	( Kg ST/d )
Crecimiento del Lodo por Kg SST en el Afluente	CRL		0.4	( Kg ST/ST )
Crecimiento del Lodo	CrL	$QmdU \cdot [ST] \cdot CRL \cdot 86,4$	23.53	( Kg ST/d )
Edad del lodo		$CLR/CrL$	96.39	( d )
Coficiente de Producción de Lodos en el Sistema	y	$Kg \text{ SST} / KgDQO_{aplicada}$	0.4	
Estimación de la Producción de Lodos	P <sub>lodo</sub>	$P_{lodo} = y \cdot DQO_{aplicada}$	146.44	( Kg SST/d )
Densidad del Lodo	g		1020.00	( Kg / m <sup>3</sup> )
Concentración del Lodo	C		5	( % )
Producción Volumétrica de Lodos	V <sub>lodo</sub>	$V_{lodo} = P_{lodo} / g \cdot C$	2871.29	( l/día )
Remoción de DBO <sub>5</sub> Mínima Esperada U.A.S.B	E	$E = 100 \cdot (1 - 0.70 \cdot q^{-0.50})$	73.64	( % )

Remoción de DBO <sub>5</sub> Mínima Adoptada U.A.S.B	E	E	70	( % )
[D.B.O <sub>5</sub> ] en el efluente	[DBO <sub>5</sub> ]	[DBO <sub>5</sub> ]*(1-%R)	102.55	( mg/l )
Remoción de D.Q.O Mínima Esperada U.A.S.B	E	$E = 100 * (1 - 0.68 * q^{-0.35})$	63.68	( % )
Remoción de D.Q.O Mínima Adoptada U.A.S.B	E	E	60	( % )

### Bases de diseño

El criterio asumido para el diseño del reactor UASB, es que al trabajar con bajas cargas orgánicas (ARD, DQO < 1500 mg/l) la limitante del proceso es la carga hidráulica (Lettinga y Hulshoff. 1995a; van Haandel y Lettinga, 1994 y Lettinga et. al 1980).

La forma del reactor será rectangular (van Haandel. 1998; van Haandel y Lettinga, 1994).

### Número de entradas del afluente

Tabla 54 Criterios de diseño de entradas afluente

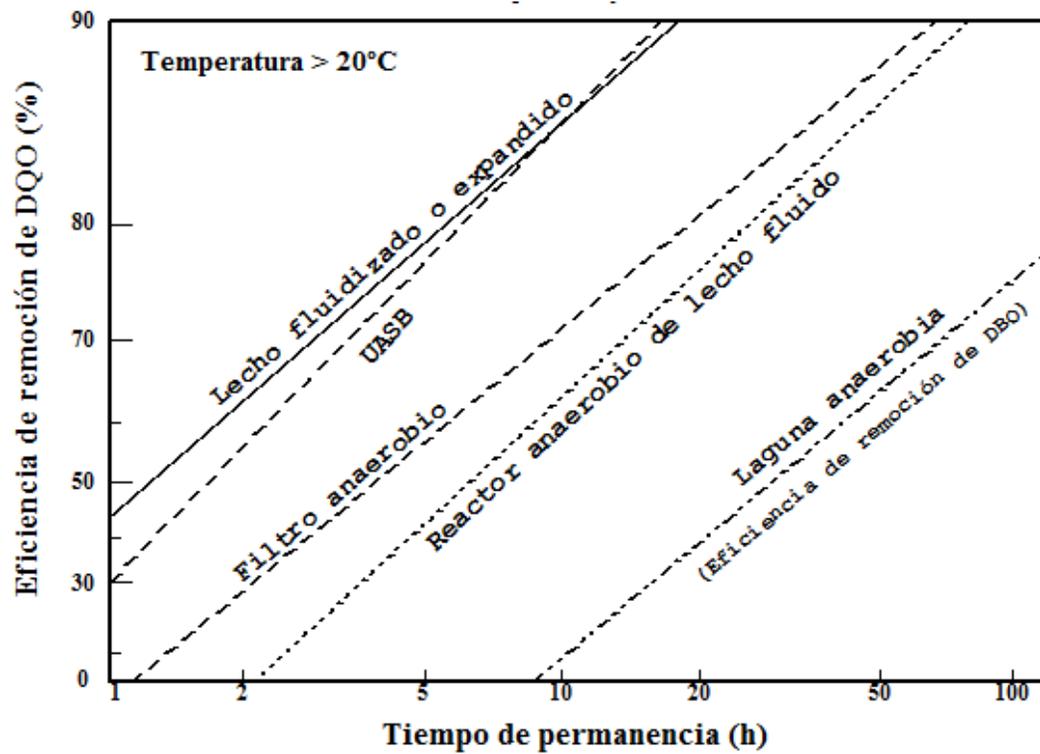
<b>Tipo de lodo</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>) por punto de alimentación</b>
Lodo floculento denso (> 40 Kg SD/m <sup>3</sup> )	1, para cargas < 1-2 Kg DQO/m <sup>3</sup> .día
Lodo floculento fino (< 40 Kg SD/m <sup>3</sup> )	5, para cargas > 3 Kg DQO/m <sup>3</sup> .día
Lodo granular espeso	1, para cargas de 1-2 Kg DQO/m <sup>3</sup> .día

### Criterios de diseño separador GSL

1. El ángulo de la parte baja del sedimentador (pared inclinada del colector de gas) debe estar entre 45-60°.
2. El área superficial de las aberturas entre los colectores de gas debe ser de 15-20% del área superficial del reactor.
3. La altura del colector de gas debe estar entre 1.5-2 metros de la altura de un reactor de 5-7 metros.
4. Una interface liquido-gas debe ser mantenida en el colector de gas para facilitar la descarga y recolección de las burbujas de gas y para combatir la formación de una capa espumosa.
5. El traslape de los bailes instalados debajo de la apertura debe ser de 10-20 cm. Con el fin de evitar que las burbujas de gas ascendentes entren al compartimento de sedimentación.
6. Generalmente los bailes de la capa espumosa deben instalarse al frente de los vertederos del efluente.

7. El diámetro de los conductos de salida de gas deben ser suficientes para garantizar la fácil remoción del biogás de la campana de recolección de gas. particularmente en el caso de formación de espuma.
8. En la parte de arriba de la campana de gas. se deben instalar boquillas rociadoras antiespumantes en el caso de tratamiento de aguas residuales con alto contenido de espuma.

Gráfica 8 Eficiencia de remoción y tiempos de retención hidráulico



## 4.6.4 Diseño del clarificador (Sedimentador)

### Parámetros de diseño

Para determinar el volumen necesario de un sedimentador se determina el volumen de agua residual para un determinado tiempo de retención que en nuestro caso será de 1.6 horas, el cual presenta un margen de tiempo adicional que el recomendado por *Ron Crites, George Tchobanoglous; Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas poblaciones, Mc Graw Hill* (1.2 horas), con lo cual se garantiza un período adecuado para la sedimentación de las partículas. Además se determina el volumen de lodos producidos para un determinado periodo de evacuación de lodos. Para este diseño se considerara realizar limpiezas de lodos de una vez por semana.

La suma del volumen de agua residual para el tiempo de retención especificado y el volumen de lodos producidos en un periodo de evacuación determinado representan el volumen del sedimentador.

El volumen de lodos producidos por el sedimentador se obtiene de acuerdo a la tabla siguiente (tabla No 55):

Tabla 55 Cantidad típica de lodos producidos por los diferentes tipos de tratamiento

PROCESOS DE TRATAMIENTO	CANTIDAD NORMAL DE FANGO			humedad %	Peso Específico de S. del Fango	Sólidos Secos	
	m <sup>3</sup> / miles de m <sup>3</sup> de AR	t/ miles de m <sup>3</sup> de AR	m <sup>3</sup> /1000 persona y día			kg/ miles de m <sup>3</sup> de AR	kg/1000 personas y día
<b>Sedimentación Primaria</b>							
Sin digerir	2.95	3.3	1.09	95	1.4	150	56
Digeridos en tanques separados	1.45	1.65	0.53	94	-	90	34
Digeridos y deshidratados en lechos de arena	-	0.25	0.16	60	-	90	34
Digeridos y deshidratados en filtro de vacío	-	0.36	0.12	72.5	-	90	34
Filtro percolador	0.745	0.83	0.27	92.5	1.33	57	22
Precipitación química	5.12	5.8	1.9	92.5	1.93	396	150
Deshidratado en filtro de vacío	-	1.58	0.55	72.5	-	396	150
<b>Sedimentación Primaria y Fango activado</b>							
Sin digerir	6.9	7.8	2.55	96	-	280	106
Sin digerir y deshidratado en filtro de vacío	1.48	1.55	0.56	80	-	280	106
Digerido en tanque separado	2.7	3	1	94	-	168	63
Digerido y deshidratados en lechos de arena	-	0.45	0.5	60	-	168	63
Digerido y deshidratados en filtro de vacío	-	0.92	0.33	80	-	168	63
<b>Fango Activado</b>							
Fango Húmedo	19.4	20	7.2	98.5	1.25	270	102
Deshidratado en filtro de vacío	-	1.5	0.53	80	-	270	102
Secado por calentadores térmicos	-	0.3	0.08	4	-	270	102
Fosas sépticas, digerido	0.9	-	0.32	90	1.4	97	37
Tanque Imhoff, digerido	0.5	-	0.18	85	1.27	83	31

Fuente: "Ingeniería de aguas residuales", Metcalf & Eddy. Editorial Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995), pág.613

Los valores recomendados de la carga superficial el Agua residual de acuerdo a Metcalf & Eddy es de 24-48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-día. Para nuestro caso tomaremos un valor de 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-día.

**Volumen del almacenamiento del agua residual (Var):**

$$Var = tr * Q$$

Donde:

Var: Volumen de agua residual

tr: tiempo de retención en horas

Q=Caudal de diseño del sistema de tratamiento

$$Var = \left(1.6h * 3600 \frac{seg}{h}\right) * \left(14.1 \frac{lt}{s} * 1 \frac{m^3}{1000 lt}\right)$$

$$Var = 81.22 m^3$$

**Volumen diario de lodos producidos por el sedimentador (VIP):**

$$Vlp = Vl * Q$$

Donde:

VIP: Volumen de lodos producidos en el sedimentador cada día.

VI: Volumen de lodo sin digerir

Q=Caudal de diseño.

$$Vlp = \frac{2.95 m^3}{1000 m^3} * \left(14.1 \frac{lt}{s} * 1 \frac{m^3}{1000 lt} * 86400 \frac{s}{dia}\right) =$$

$$Var = 3.59 m^3/dia$$

**Volumen de almacenamiento de lodos (Val):**

$$Val = Vlp * \text{Días de almacenamiento}$$

$$Val = \frac{3.59 m^3}{día} * 7 días = 25.2 m^3$$

### Volumen del sedimentador (Vs):

El volumen del sedimentador es la sumatoria del volumen de almacenamiento de lodos (Val) y el volumen del agua residual (Var).

$$Vs = Val + Var$$

$$Vs = 25.2 \text{ m}^3 + 81.22 \text{ m}^3 = 106.45 \text{ m}^3$$

### Área superficial del sedimentador

El área superficial del sedimentador se determina mediante la siguiente expresión:

$$As = \frac{Q}{Cs}$$

Donde:

As= Área superficial del sedimentador en m<sup>2</sup>

Q= Caudal de diseño

Cs=Carga superficial en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día, la cual será considerada de 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día.

$$As = \frac{0.0141 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}}{35 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}}} = 34.81 \text{ m}^2$$

A partir del área superficial se calcula el diámetro del sedimentador:

$$Ds = \sqrt{\left(4 * \frac{As}{\pi}\right)}$$

$$Ds = \sqrt{\left(4 * \frac{34.81 \text{ m}^2}{\pi}\right)} = 6.66 \text{ m} \cong 7 \text{ m}$$

**Altura del cono (hc) del sedimentador primario es:**

La inclinación del fondo será de 45° con respecto a la horizontal para el diámetro efectivo (De) en el sedimentador se considerará el diámetro más el ancho que corresponde a las dos pantallas deflectoras de 15 cm de espesor cada una, por lo que se considerará un diámetro De=7.3:

La altura del sedimentador será:

$$hc = \frac{De}{2} \tan \beta = \frac{7.3 \text{ m}}{2} \tan 45 = 3.65 \text{ m}$$

**Volumen del cono sedimentador**

$$Vc = \pi * r^2 \left( \frac{hc}{3} \right)$$

$$Vc = \pi * (3.65 \text{ m})^2 \left( \frac{3.65 \text{ m}}{3} \right) = 50.95 \text{ m}^3$$

Debido a que el volumen del cono es menor al volumen necesario del sedimentador, será necesario agregarle una sección cilíndrica en la parte superior.

$$V_{cil} = V_s - V_c$$

$$V_{cil} = 106.45 \text{ m}^3 - 50.95 \text{ m}^3 = 55.5 \text{ m}^3$$

**Altura del cilindro adicional**

$$h_{cil} = \frac{V_{cil}}{A_{cil}} = \frac{V_{cil}}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

$$h_{cil} = \frac{55.5 \text{ m}^3}{\frac{\pi * (7.0 \text{ m}^2)^2}{4}} = 1.08 \text{ m} \cong 1.10 \text{ m}$$

Al cono de sedimentación se le agregará una sección cilíndrica de 7.3 metros de diámetro efectivo y 1.1 m de altura.

**Altura total del sedimentador (cono + cilindro)**

$$h_{total} = h_{cono} + h_{cil}$$

$$h_{total} = 3.65 \text{ m} + 1.1 \text{ m} = 4.75 \text{ m}$$

## 4.6.5 Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Tabla 56 Parámetros de diseño del FAFA

Descripción	Abrev.	Valor	Unidad
Eficiencia tratamiento primario	Ep	60%	
Población contribuyente	Hb	13782.00	Hb
Carga orgánica por habitante	(gr DBO <sub>5</sub> /hb/d)	27	( gr / Ha.d )
Carga orgánica total	(Kg DBO <sub>5</sub> /d)	372.11	( Kg /d )
Volumen de agua residual		509.32	( m <sup>3</sup> /d )
DBO <sub>5</sub> agua cruda al ingreso del sistema F.A.F.A	DBO <sub>5ard</sub>	102.55	( mg / l )
DBO <sub>5</sub> afluente al filtro anaerobio	DBO <sub>5ard</sub>	41.02	( mg / l )
Carga orgánica a la entrada F.A.F.A	(Kg DBO <sub>5</sub> /d)	20.89	( Kg /d )
Carga orgánica D.B.O <sub>5</sub> aplicada al filtro	(Kg/m <sup>2</sup> /d)	0.15	(Kg/m <sup>2</sup> /d)
Área del filtro	A	139.28	( m <sup>2</sup> )
Rango de concentración orgánica del afluente al filtro	[ ]	Mínima: 80 mg/l Media: 190 mg/l Máxima: 300 mg/l	mg/l de DBO <sub>5total</sub>
Tiempo de retención hidráulico de adoptado	TRH	7.05	(hr)
Volumen del filtro	V	153.86	m <sup>3</sup>
Configuración del material del filtro anaerobio		Piedra partida de 4 a 7 cm	
Porosidad	Po	0.66	( )
Volumen real del filtro	V <sub>f</sub>	233.12	m <sup>3</sup>
Altura útil del filtro	h	2	M
Número de unidades	n	2	Unidades
Área de cada unidad	Au	58.28	m <sup>2</sup>
Ancho	a	7.6	M
Largo	L	7.6	M
Carga orgánica D.B.O <sub>5</sub> aplicada por volumen de filtro	(Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /d)	1.60	(Kg /m <sup>3</sup> /d)

Tabla 57 Remoción estimada de DBO del FAFA

Parámetro	Abrev.	Fórmula	Valor	Unidad
Temperatura	T		27	°C
DBO <sub>5</sub> afluente filtro anaerobio	DBO <sub>5ard</sub>		41.02	( mg / l )
Tiempo de retención hidráulico F.A.F.A	T RH		7.25	hr
Coeficiente sustrato en digestión	K		1.201	
Coeficiente característico digestor	m		0.660	
Coeficiente característico corregido por temperatura	md	$EXP(0.008*(T-15))*m$	0.727	
Eficiencia de remoción mínima esperada	E	$100(1-K/\mu^m)$	71.5%	( % )
D.B.O <sub>5</sub> del efluente (estimada)	DBO <sub>5e</sub>		11.68	( mg / l )
Eficiencia del Sistema F.A.F.A	Ci	$100(1-k/\mu^m)$	89.00	( % )

Tabla 58 Remoción estimada de DBO del sistema completo (UASB+FAFA)

Parámetro	Abrev.	Fórmula	Valor	Unidad
DBO <sub>5</sub> agua cruda al ingreso del U.A.S.B	[DBO <sub>5</sub> ]		341.82	( mg / l )
Remoción de DBO <sub>5</sub> Mínima Esperada U.A.S.B			70	( % )
[D.B.O <sub>5</sub> ] en el efluente del U.A.S.B		$[DBO5]*(1-\%R)$	102.55	( mg/l )
Eficiencia sedimentador secundario	Ep	Ep	60%	
DBO <sub>5</sub> agua cruda al ingreso del sistema F.A.F.A	DBO <sub>5ard</sub>		102.55	( mg / l )
DBO <sub>5</sub> afluente al filtro anaerobio	DBO <sub>5ard</sub>		41.02	( mg / l )
[D.B.O <sub>5</sub> ] en el efluente del F.A.F.A		$[DBO5]*(1-\%R)$	11.68	( mg/l )
Eficiencia Total del Sistema U.A.S.B + F.A.F.A	E	$(DBO_{5a}-DBO_{5e})/DBO_{5a}$	97.00%	( % )

## 4.6.6 Diseño de los patios de secado

Tabla 59 Producción de lodos estimada del sistema (UASB + Sedimentador)

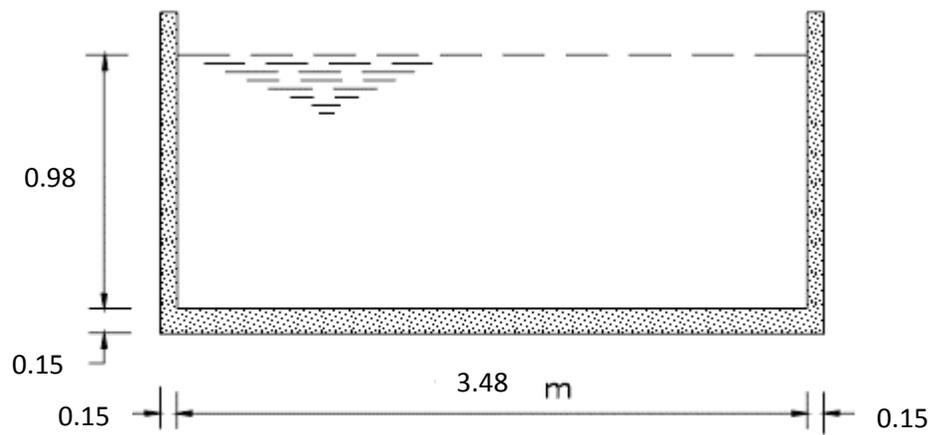
Descripción	Abrev.	Valor	Unidad
Producción Volumétrica de Lodos	V <sub>lodo</sub>	201.25	( m <sup>3</sup> / purga )
Período de Evacuación Lodos		12	(purgas / año)
Altura Útil Lecho Secado Lodos		0.2	( m )
Área Requerida Lecho Secado Lodos		1006.00	( m <sup>2</sup> )
Número de Unidades Requerida		3	( unidades )
Relación Largo/Ancho	l/a	4	
Ancho de cada Lecho	A-lecho	9.2	( m )
Largo Lecho	L-lecho	36.8	( m )

Tabla 60 Producción de biogás estimada para el reactor UASB

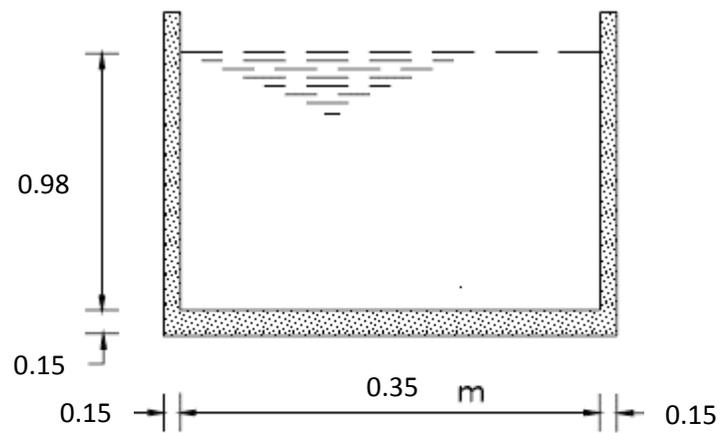
Parámetro	Abrev.	Fórmula	Valor	Unidad
Remoción de DBO <sub>5</sub> del U.A.S.B	E	$E = 100 * (1 - 0.70 * q^{-0.50})$	73.64	( % )
Tasa de Metabolización de Sustrato	dS/dt		1285.30	g / m <sup>3</sup> -día
Coef. de Producción Total Digestión Anaerobia	Y	$Y = Y_a + Y_m$	0.21	g SST / g DQO
Tiempo de Retención Hidráulico	TRH		7.05	( hr )
Volumen del reactor	VR	$QmdU * 3600 * TRH$	74.81	( m <sup>3</sup> )
Temperatura	T	°C	27.00	°C
Volumen de Producción esperada de Metano	V <sub>CH4</sub>	$0.35(1 - 1.22Y)(dS/dT)V(273/273+°C)$	22778.71	L CH <sub>4</sub> / día
Volumen de Producción esperada de Metano	V <sub>CH4</sub>	$0.35(1 - 1.22Y)(dS/dT)V(273/273+°C)$	0.95	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / hr
Volumen de Producción de Biogás	V		1.46	m <sup>3</sup> Biogás / hr

## 4.7. Diseño estructural: Sistema de tratamiento de aguas residuales

### 4.7.1 Diseño estructural de la criba



CORTE A - A



CORTE B - B

Concreto	$f'_c$	210	kg/cm <sup>2</sup>
Acero	$f_y$	2800	kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del líquido	$w$	1.600	Ton/m <sup>3</sup>
Espesor de pared	$e$	0.15	m
Long efectiva	$b$	3.48	m
Ancho efectivo	$c$	0.35	m
Altura efectiva	$a$	0.98	m
	$b/a$	3.55	
	$c/a$	0.36	
Diámetro de varilla	$\emptyset$	0.64	cm
	Area	0.32	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento	$r$	6.00	cm
Peralte efectivo	$d$	8.68	cm

### Fuerzas Cortantes

Con el propósito de determinar los coeficientes para cortante, se emplea la Tabla VI de PC A. tabla que es la indicada para depósitos con el borde inferior articulado y el superior libre. La expresión utilizada para la obtención de los cortantes es:

$$V = (\text{coeficiente}) \times w \times a^2$$

Donde  $w$  es el peso volumétrico del fluido. Tanto en la Tabla VII como en la VIII (para losas con el borde superior articulado y libre, respectivamente) los coeficientes para las esquinas del borde inferior resultan ser negativos y proporcionan cortantes numéricamente mayores, respecto a los del centro del claro. La publicación de la PC A aclara, que esos valores negativos relativamente altos en las esquinas, tienen lugar debido a que en las ecuaciones básicas se despreciaron las deformaciones en el plano de las losas soportantes y por consiguiente estos valores tienen tan sólo una importancia teórica. Estos cortantes negativos pueden despreciarse al verificar los esfuerzos cortante y de adherencia.

### Coeficientes para cortante

$b/a$	0.36	3.55
Punto central del borde inferior	0.113	0.489
Esquina del borde inferior	-0.207	-0.594
Borde superior de la esquina lateral	0.000	0.201
Punto central de la esquina lateral	0.092	0.423

Tablero largo, borde superior de la esquina lateral:

V2 (z) 0.309 Ton

Tablero corto, borde superior de la esquina lateral:

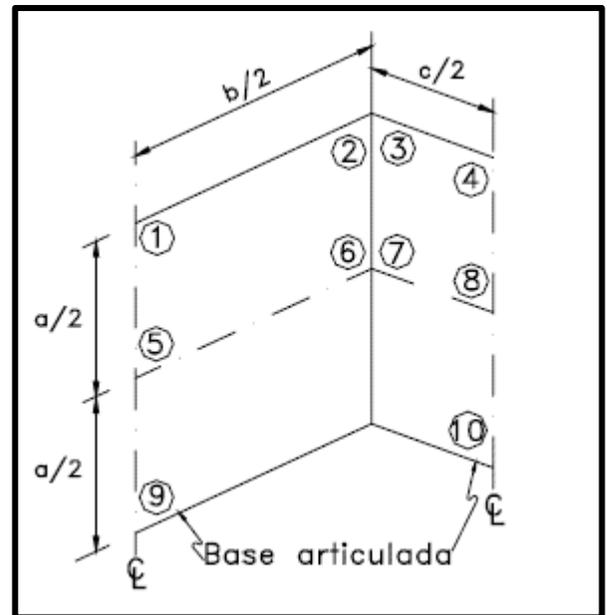
V3 (z) 0.000 Ton

Tablero largo: punto central de la esquina lateral

V6 (z) 0.650 Ton

Tablero corto: punto central de la esquina lateral

V7 (z) 0.141 Ton

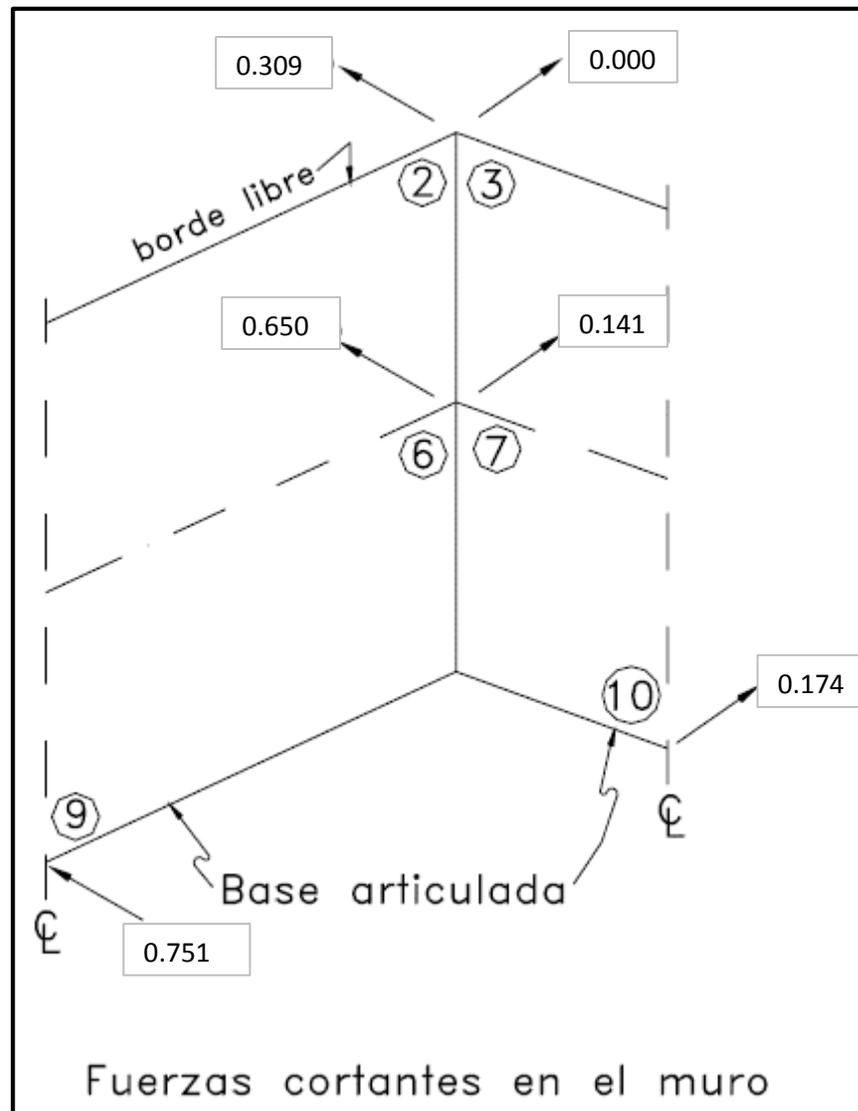


Tablero largo: punto central del borde inferior

V9 (z) 0.751 Ton

Tablero corto: punto central del borde inferior

V10 (z) 0.174 Ton



Nótese lo siguiente:

- i) Una fuerza cortante en el muro largo es una tensión directa en el muro corto.
- ii) Una fuerza cortante en el muro corto es una tensión directa en el muro largo.

### Momentos Flexionantes

Se hace uso de la Tabla V de la referencia citada (PCA) donde se encuentran los coeficientes para la determinación de los momentos en los muros articulados en su base y libres en el extremo superior.

Se emplea la expresión:

$$M = (\text{coeficiente}) \times w \times a^3$$

Coeficientes para momentos ( $\div 1000$ )

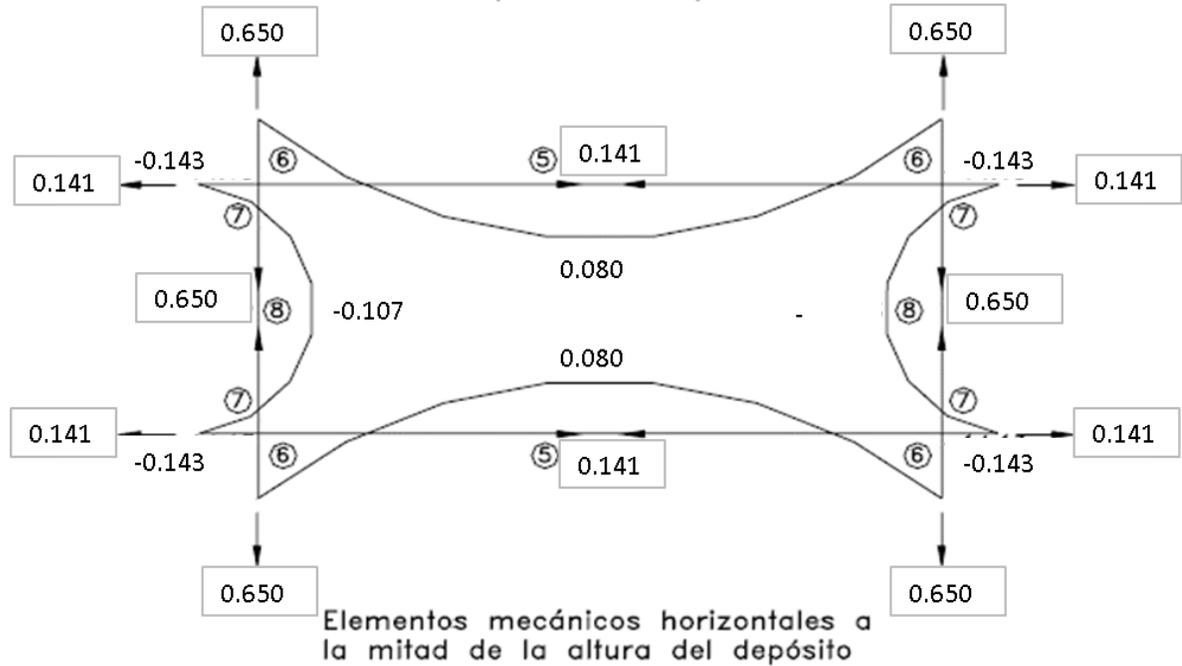
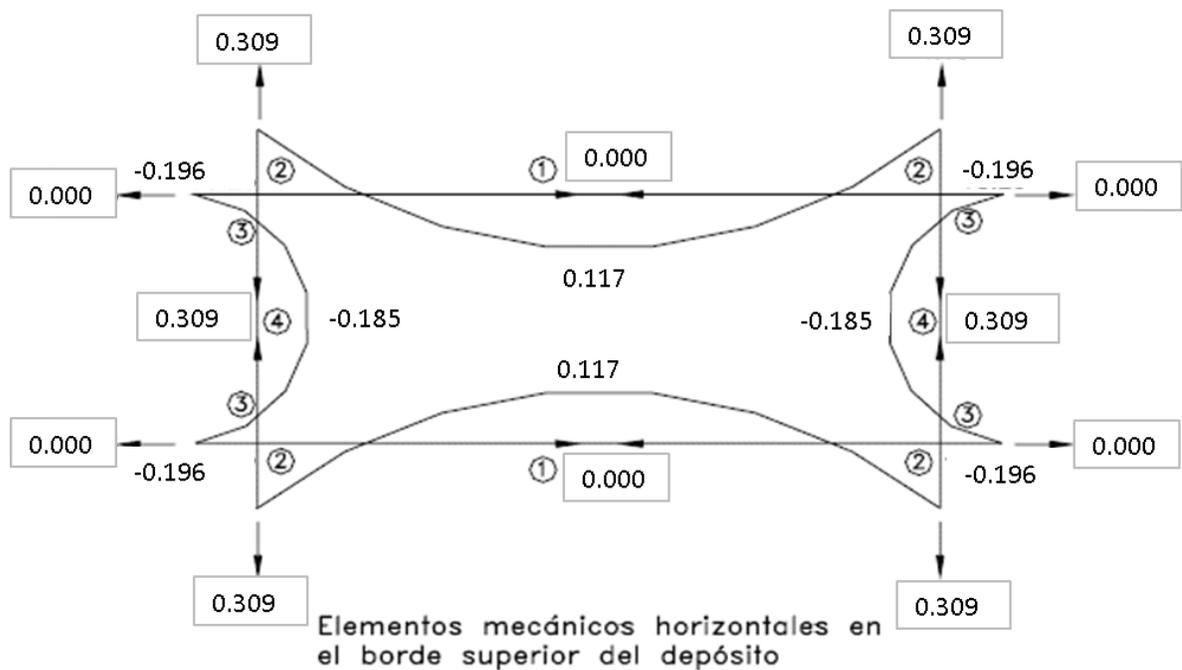
b/a	3.55						
C	X	y=0		y = b/2 = c/2		z = 0	
c/a	x/a	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
0.36	0	0	78	0	-130	0	-123
	½	50	53	-19	-95	-13	-71

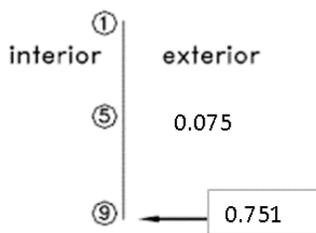
### Momentos horizontales

M1 (y)	0.117	Ton.m
M2 (y)	-0.196	Ton.m
M4 (y)	-0.185	Ton.m
M5 (y)	0.080	Ton.m
M6 (y)	-0.143	Ton.m
M8 (y)	-0.107	Ton.m

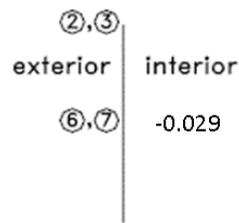
### Momentos verticales

M5 (x)	0.075	Ton.m
M6 (x)	-0.029	Ton.m
M8 (x)	-0.020	Ton.m

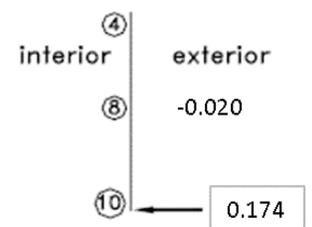




Elementos mecánicos verticales al centro del tablero largo



Elementos mecánicos verticales en la unión de los tableros corto y largo



Elementos mecánicos verticales al centro del tablero corto

## Diseño de las losas de los tableros, mediante el procedimiento de Resistencia Última de ACI 318-95

Verificación de la capacidad al cortante de los tableros

Tablero largo. Cortante en el punto medio del borde inferior (Punto 9)

$$V = C_s \times wa^2$$

x 1.7	<b>Vu</b>	1.277	Ton	
	<b>FR VC</b>	5.346	Ton	> 1.277 Ton <b>Correcto</b>

$$F_R V_c = 0.85(0.5) \sqrt{f'_c} b d$$

Cortante en el punto a media altura en la intersección de los tableros (Punto 6)

$$V = C_s \times wa^2$$

x 1.7	<b>Vu</b>	1.105	Ton
x 1.7	<b>Vu</b>	0.240	Ton

Para determinar la fuerza cortante admisible del concreto en el tablero largo, se hace uso de la sección 11.3.2.3, así como de la ec. 11.8 de ACI 318-95. En efecto:

$$V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

y:

$$F_R V_c = F_R (0.53) \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

FR VC	5.547	Ton	>	1.105	Ton	Correcto
FR VC	5.641	Ton	>	0.240	Ton	Correcto

### Diseño para flexión combinada con tensión directa

**Refuerzo mínimo**

$$\rho = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho = 0.00414$$

**Pero no menor a:**

$$\rho = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho = 0.00500$$

**Refuerzo mínimo**

$$A_{smin} = \rho(bd)$$

$$A_{smin} = 0.50000 \quad d \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

La separación máxima del refuerzo será de 30 cm, según se recomienda en el subcapítulo 2.3 de este Manual, recomendación que se deriva de la disposición del informe ACI 350, tal y como puede verse en dicho subcapítulo 2.3.

En 7.12.2.1, ACI especifica que “en las losas donde el refuerzo consista de varillas corrugadas de grado 60 ( $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ ) o de malla de alambre soldado (liso o corrugado), el área de refuerzo para contracción y temperatura, será al menos 0.0018 del área *total* del concreto.”

**Cálculo del refuerzo necesario en los principales puntos de los tableros según el método de resistencia última**

Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	Tensión N Ton	Tensión factorada $N_u$ Ton	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ cm <sup>2</sup> /m	$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
1	0.117	0.260	8.680	0.018	0.018	1.600	0.000	0.000	0.000	1.600	20.00	2	# 2 @ 20 cm
2	-0.196	-0.433	8.680	0.030	0.031	2.686	0.000	0.000	0.000	2.686	11.91	2	# 2 @ 12 cm
3	-0.196	-0.433	8.680	0.030	0.031	2.686	0.309	0.866	0.172	2.858	11.20	2	# 2 @ 11 cm
4	-0.185	-0.409	8.680	0.029	0.029	2.539	0.309	0.866	0.172	2.711	11.80	2	# 2 @ 12 cm
5	0.080	0.176	8.680	0.012	0.012	1.083	0.141	0.397	0.079	1.162	27.54	2	# 2 @ 28 cm
6	-0.143	-0.316	8.680	0.022	0.023	1.953	0.141	0.397	0.079	2.032	15.75	2	# 2 @ 16 cm
7	-0.143	-0.316	8.680	0.022	0.023	1.953	0.650	1.823	0.362	2.315	13.82	2	# 2 @ 14 cm
8	-0.107	-0.236	8.680	0.017	0.017	1.455	0.650	1.823	0.362	1.816	17.62	2	# 2 @ 18 cm
Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m				$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	
5	0.075	0.166	8.680	0.012	0.012	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
6	-0.029	-0.063	8.680	0.004	0.004	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
7	-0.02861224	-0.063	8.680	0.004	0.004	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
8	-0.01957679	-0.043	8.680	0.003	0.003	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm

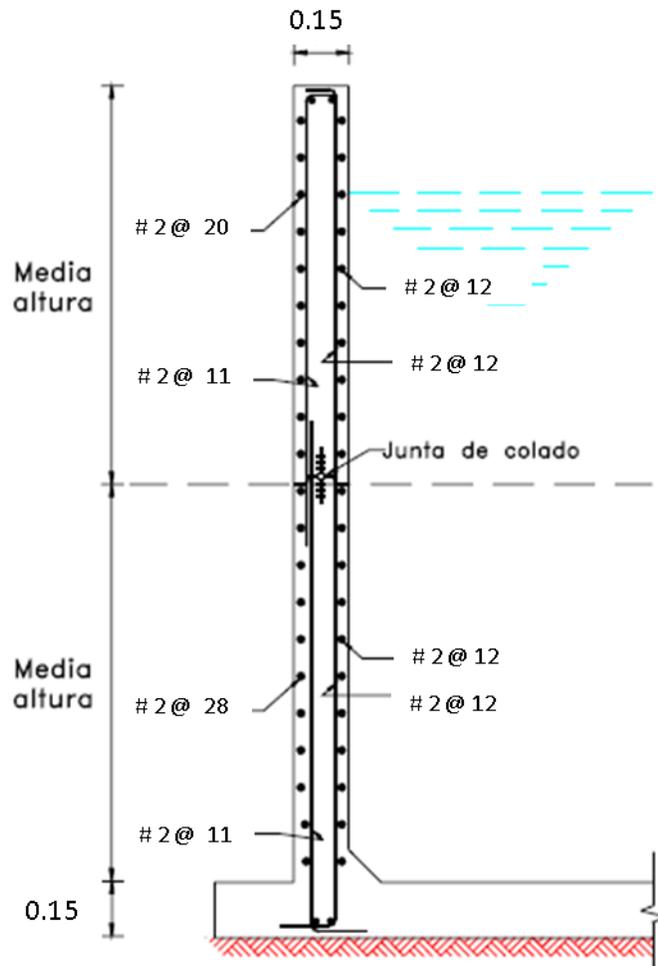
$$K_u = \frac{M_u}{F_R f'_c b d^2} \quad \frac{M_u}{f'_c b d^2} = \omega (1 - 0.59\omega) \quad A_{s,flex} = \rho b d \quad A_{st} = \frac{N_u}{2 F_R f_y}$$

**Refuerzo horizontal de contracción y temperatura, además del necesario para tensión directa en el lecho interior de los claros largo y corto**

El momento es positivo en el lecho interior de la parte central de los tableros largo y corto, por lo que es necesario colocar un refuerzo para contracción y temperatura, así como el refuerzo para la tensión directa.

El refuerzo para contracción y temperatura se especifica en la sección 7.12 de ACI 318-95. Para las losas con varillas de acero corrugado de Grado 60 ( $f_y = 4.200 \text{ kg/cm}^2$ ) (o malla de alambre soldado, lisa o corrugada), el área de refuerzo para contracción y temperatura será igual a 0.0018 del área bruta del concreto.

<b>Refuerzo por contracción</b>	$A_s$	2.700	<b>cm<sup>2</sup>/m</b>	# 2 @ 12 cm
Parte superior del tablero largo	$A_{st}$	2.700	<b>cm<sup>2</sup>/m</b>	# 2 @ 12 cm
Parte inferior del tablero largo	$A_{st}$	2.779	<b>cm<sup>2</sup>/m</b>	# 2 @ 12 cm
Parte superior del tablero corto	$A_{st}$	2.872	<b>cm<sup>2</sup>/m</b>	# 2 @ 11 cm
Parte inferior del tablero corto	$A_{st}$	3.062	<b>cm<sup>2</sup>/m</b>	# 2 @ 10 cm

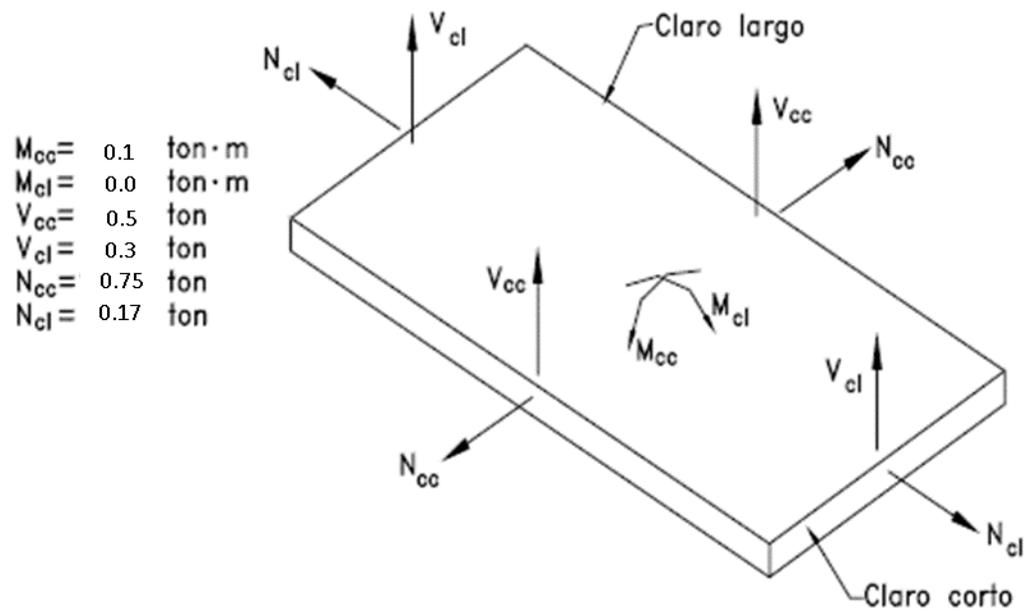


Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

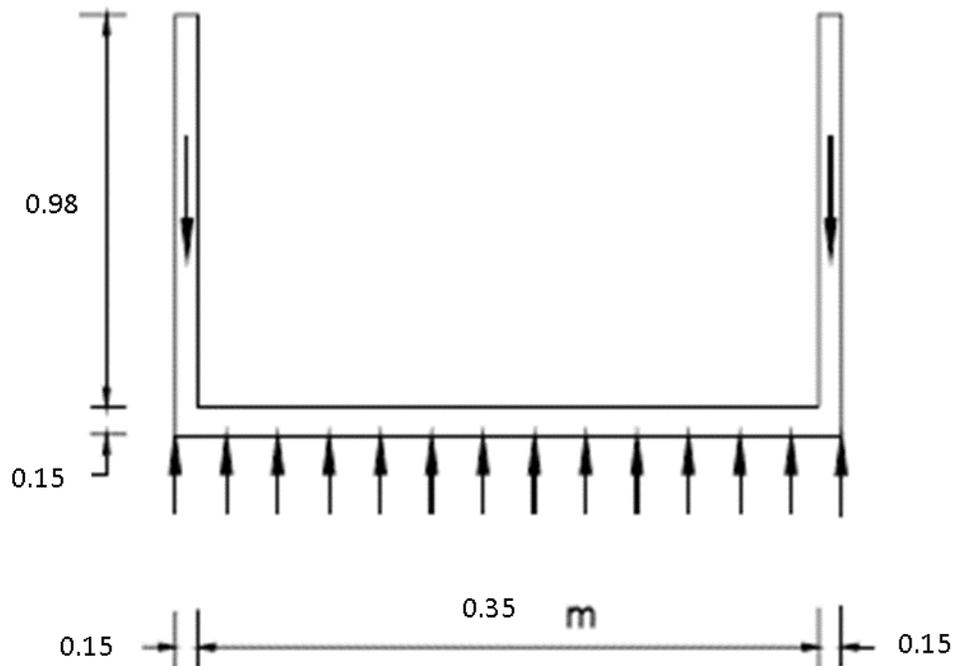
Cara exterior:           H     # 2 @ 20  
                                   V     # 2 @ 10

Cara interior:           H     # 2 @ 10  
                                   V     # 2 @ 10

## Diseño de la losa de fondo



Elementos mecánicos en la losa de fondo



### Presión de paredes sobre losa

**p** 1.186 Ton/m<sup>2</sup>

### Momentos flexionantes

Se emplea la Tabla IV de la PCA, que resulta útil cuando se considera una losa con una carga uniformemente repartida, como es el caso.

X/A	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
½	0.118	0.029

M<sub>x</sub> 0.134 **Ton.m**

M<sub>y</sub> 0.033 **Ton.m**

### Fuerzas cortantes

V<sub>x</sub> 0.581 **Ton**

V<sub>y</sub> 0.384 **Ton**

### Las fuerzas de tensión directa sobre la losa de fondo

N<sub>1</sub> 0.751 **Ton**

N<sub>2</sub> 0.174 **Ton**

### Diseño por flexión y tensión directa mediante el procedimiento de resistencia última

Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	Tensión directa N Ton	Tensión factorada $N_u$ Ton	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ cm <sup>2</sup> /m	$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
Claro Corto	0.134	0.297	8.680	0.021	0.021	1.834	0.751	2.108	0.418	2.252	14.21	2	# 2 @ 14 cm
Claro Largo	0.033	0.073	8.360	0.006	0.006	0.464	0.174	0.487	0.097	0.560	57.12	2	# 2 @ 57 cm

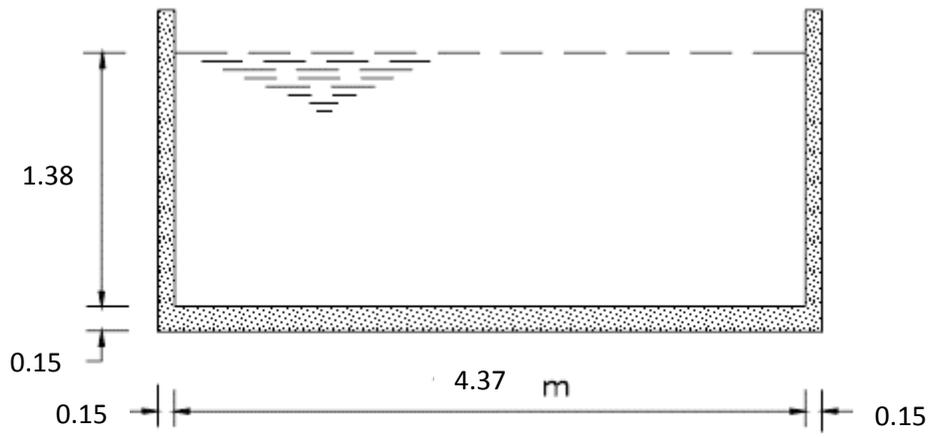
Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

Losa de piso:           Ref. Long   # 2 @ 15

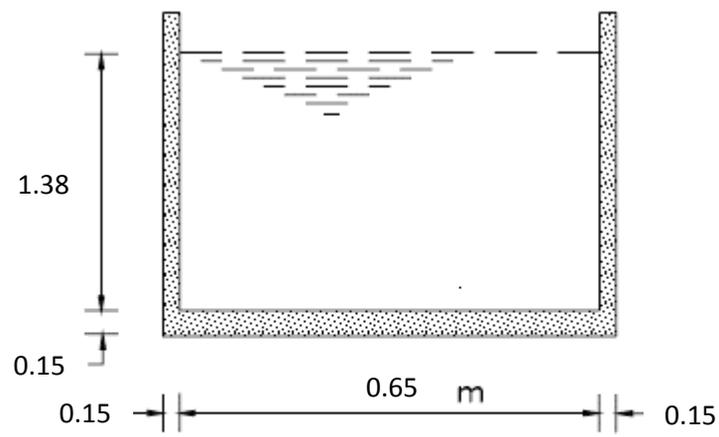
                                  Ref. Transv   # 2 @ 55

Para evitar esta amplia separación entre varillas podemos  
sustituir este refuerzo por una electromalla calibre 10

### 4.7.2 Diseño estructural del desarenador



CORTE A - A



CORTE B - B

<b>Concreto</b>	<b>f'c</b>	210	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Acero</b>	<b>fy</b>	2800	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Densidad del líquido</b>	<b>w</b>	1.600	Ton/m <sup>3</sup>
<b>Espesor de pared</b>	<b>e</b>	0.15	m
<b>Long efectiva</b>	<b>b</b>	4.37	m
<b>Ancho efectivo</b>	<b>c</b>	0.65	m
<b>Altura efectiva</b>	<b>a</b>	1.38	m
	<b>b/a</b>	3.17	
	<b>c/a</b>	0.47	
<b>Diámetro de varilla</b>	<b>∅</b>	0.64	cm
	<b>Area</b>	0.32	cm <sup>2</sup>
<b>Recubrimiento</b>	<b>r</b>	6.00	cm
<b>Peralte efectivo</b>	<b>d</b>	8.68	cm

### Fuerzas Cortantes

Con el propósito de determinar los coeficientes para cortante, se emplea la Tabla VIII de PC A. tabla que es la indicada para depósitos con el borde inferior articulado y el superior libre. La expresión utilizada para la obtención de los cortantes es:

$$V = (\text{coeficiente}) \times w a^2$$

Donde w es el peso volumétrico del fluido. Tanto en la Tabla VII como en la VIII (para losas con el borde superior articulado y libre, respectivamente) los coeficientes para las esquinas del borde inferior resultan ser negativos y proporcionan cortantes numéricamente mayores, respecto a los del centro del claro. La publicación de la PCA aclara, que esos valores negativos relativamente altos en las esquinas, tienen lugar debido a que en las ecuaciones básicas se despreciaron las deformaciones en el plano de las losas soportantes y por consiguiente estos valores tienen tan sólo una importancia teórica. Estos cortantes negativos pueden despreciarse al verificar los esfuerzos cortante y de adherencia.

### Coeficientes para cortante

b/a	0.47	3.17
Punto central del borde inferior	0.135	0.462
Esquina del borde inferior	-0.247	-0.591
Borde superior de la esquina lateral	0.000	0.176
Punto central de la esquina lateral	0.120	0.411

Tablero largo, borde superior de la esquina lateral:

$$V2(z) = 0.536 \text{ Ton}$$

Tablero corto, borde superior de la esquina lateral:

$$V3(z) = 0.000 \text{ Ton}$$

Tablero largo: punto central de la esquina lateral

$$V6(z) = 1.252 \text{ Ton}$$

Tablero corto: punto central de la esquina lateral

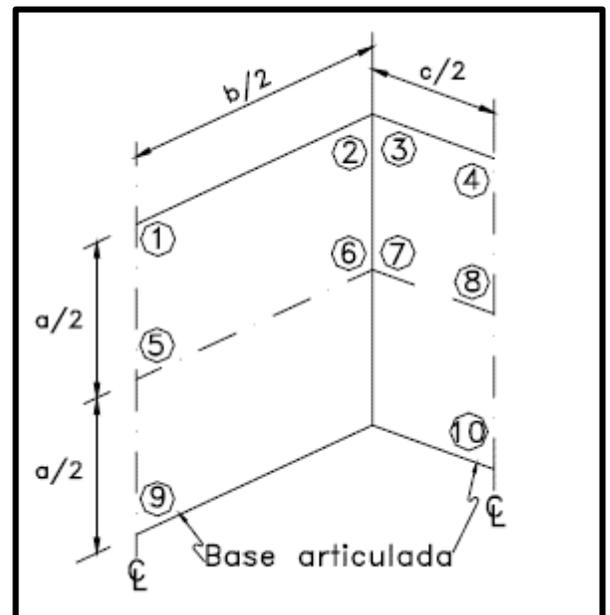
$$V7(z) = 0.366 \text{ Ton}$$

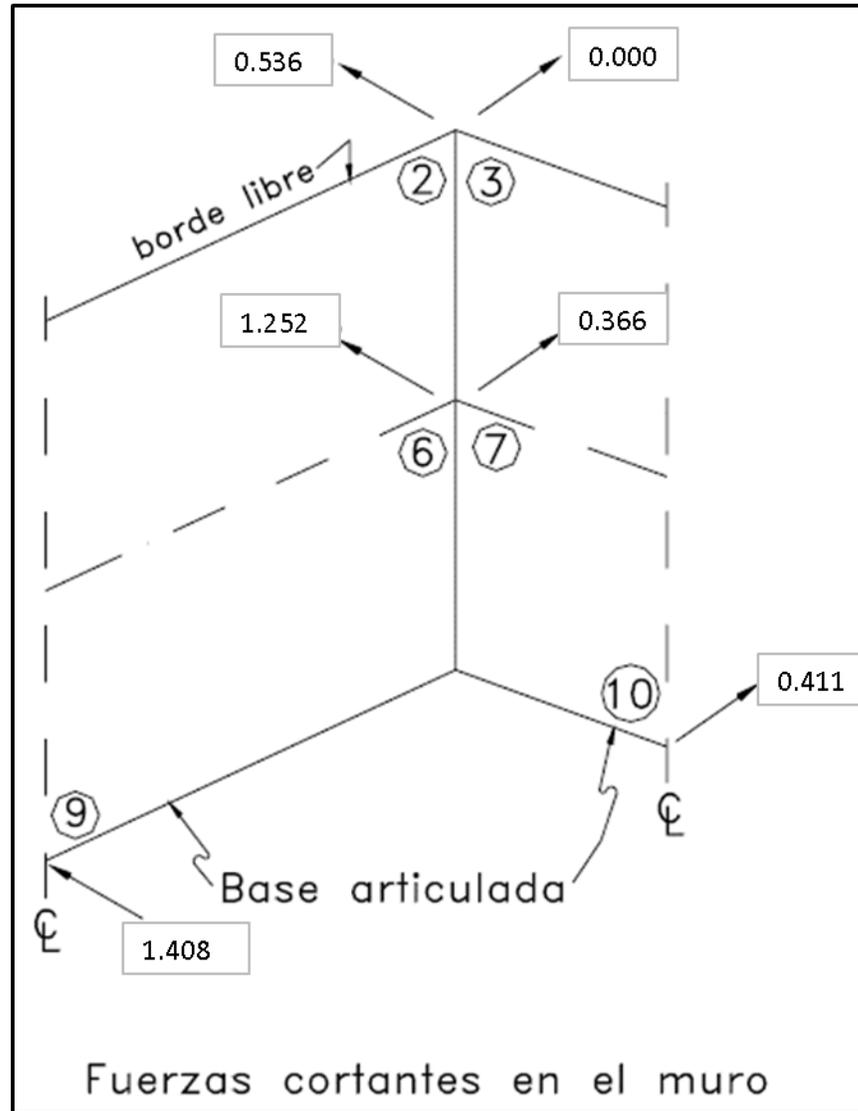
Tablero largo: punto central del borde inferior

$$V9(z) = 1.408 \text{ Ton}$$

Tablero corto: punto central del borde inferior

$$V10(z) = 0.411 \text{ Ton}$$





Nótese lo siguiente:

- i) Una fuerza cortante en el muro largo es una tensión directa en el muro corto.
- ii) Una fuerza cortante en el muro corto es una tensión directa en el muro largo.

### Momentos Flexionantes

Se hace uso de la Tabla V de la referencia citada (PCA) donde se encuentran los coeficientes para la determinación de los momentos en los muros articulados en su base y libres en el extremo superior.

Se emplea la expresión:

$$M = (\text{coeficiente}) \times w \times a^3$$

Coeficientes para momentos ( $\div 1000$ )

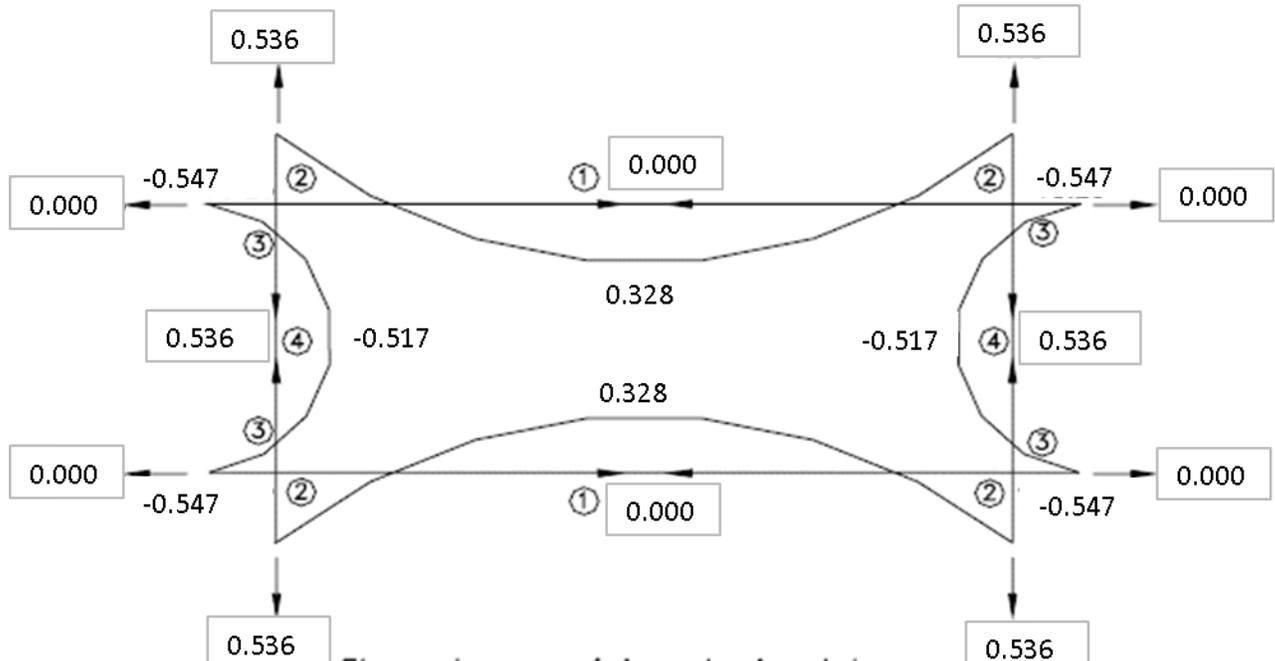
b/a	3.17						
C	X	y=0		y = b/2 = c/2		z = 0	
c/a	x/a	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
0.47	0	0	78	0	-130	0	-123
	½	50	53	-19	-95	-13	-71

### Momentos horizontales

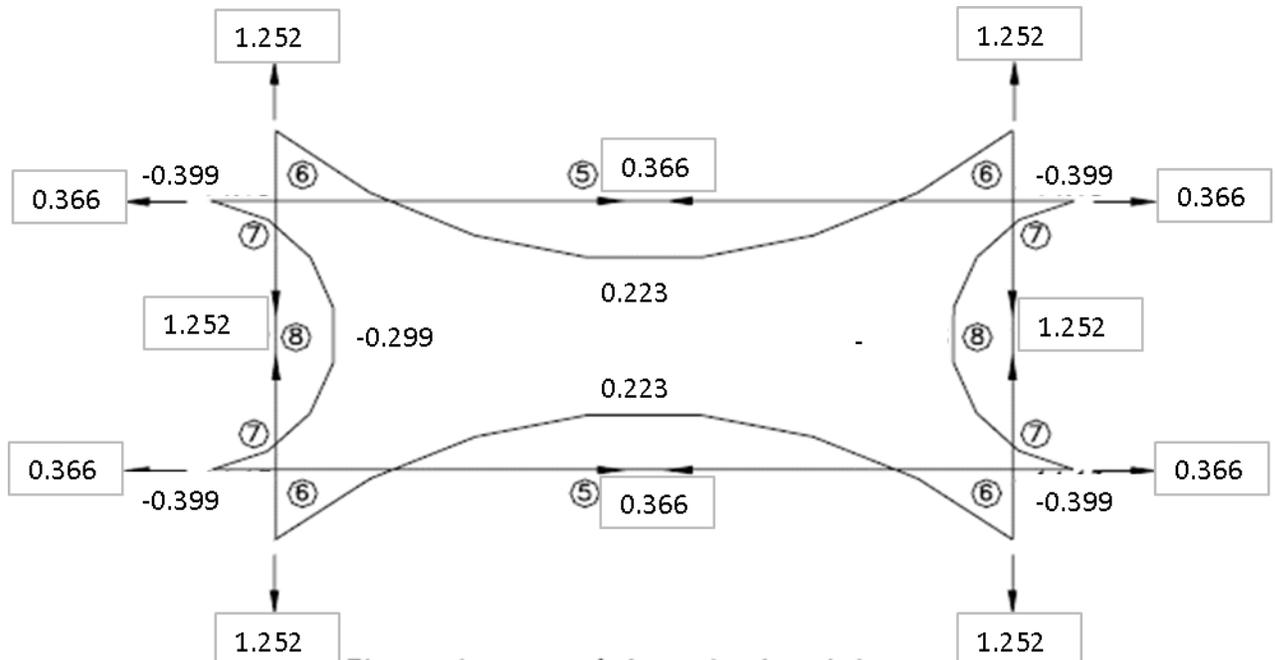
<b>M1 (y)</b>	0.328	Ton.m
<b>M2 (y)</b>	-0.547	Ton.m
<b>M4 (y)</b>	-0.517	Ton.m
<b>M5 (y)</b>	0.223	Ton.m
<b>M6 (y)</b>	-0.399	Ton.m
<b>M8 (y)</b>	-0.299	Ton.m

### Momentos verticales

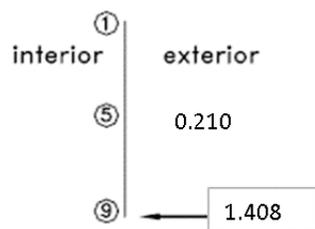
<b>M5 (x)</b>	0.210	Ton.m
<b>M6 (x)</b>	-0.080	Ton.m
<b>M8 (x)</b>	-0.055	Ton.m



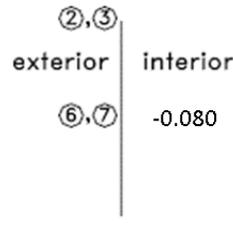
Elementos mecánicos horizontales en el borde superior del depósito



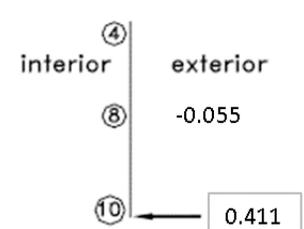
Elementos mecánicos horizontales a la mitad de la altura del depósito



Elementos mecánicos verticales al centro del tablero largo



Elementos mecánicos verticales en la unión de los tableros corto y largo



Elementos mecánicos verticales al centro del tablero corto

## Diseño de las losas de los tableros, mediante el procedimiento de Resistencia Última de ACI 318-95

Verificación de la capacidad al cortante de los tableros

Tablero largo. Cortante en el punto medio del borde inferior (Punto 9)

$$V = C_s \times w a^2 \quad V_u \quad 2.393 \quad \text{Ton}$$

$$F_R V_c = 0.85(0.5) \sqrt{f'_c} b d \quad F_R V_c \quad 5.346 \quad \text{Ton} \quad > \quad 2.393 \quad \text{Ton} \quad \text{Correcto}$$

Cortante en el punto a media altura en la intersección de los tableros (Punto 6)

$$V = C_s \times w a^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 2.129 \quad \text{Ton}$$

$$V = C_s \times w a^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 0.622 \quad \text{Ton}$$

Para determinar la fuerza cortante admisible del concreto en el tablero largo, se hace uso de la sección 11.3.2.3, así como de la ec. 11.8 de ACI 318-95. En efecto:

$$V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{N_u}{35 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

y:

$$F_R V_c = F_R (0.53) \left( 1 + \frac{N_u}{35 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

<b>FR Vc</b>	5.437	Ton	>	2.129	Ton	<b>Correcto</b>
<b>FR Vc</b>	5.600	Ton	>	0.622	Ton	<b>Correcto</b>

Diseño para flexión combinada con tensión directa

Refuerzo mínimo

Pero no menor a:

$$\rho = \frac{0.8 \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad \rho \quad 0.00414$$

$$\rho = \frac{14}{f_y} \quad \rho \quad 0.00500$$

**Refuerzo  
mínimo**

$$A_{smin} = \rho(bd) \quad A_{smin} \quad 0.50000 \quad d \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

La separación máxima del refuerzo será de 30 cm. según se recomienda en el subcapítulo 2.3 de este Manual, recomendación que se deriva de la disposición del informe ACI 350, tal y como puede verse en dicho subcapítulo 2.3.

En 7.12.2.1. ACI especifica que "en las losas donde el refuerzo consista de varillas corrugadas de grado 60 ( $f_y = 4.200 \text{ kg cm}^2$ ) o de malla de alambre soldado (liso o corrugado), el área de refuerzo para contracción y temperatura, será al menos 0.0018 del área total del concreto."

**Cálculo del refuerzo necesario en los principales puntos de los tableros según el método de resistencia última**

Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	Tensión N Ton	Tensión factorada $N_u$ Ton	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ cm <sup>2</sup> /m	$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
1	0.328	0.725	8.680	0.051	0.053	2.864	0.000	0.000	0.000	2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
2	-0.547	-1.208	8.680	0.085	0.090	2.864	0.000	0.000	0.000	2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
3	-0.547	-1.208	8.680	0.085	0.090	2.864	0.536	1.504	0.298	3.163	10.12	2	# 2 @ 10 cm
4	-0.517	-1.143	8.680	0.080	0.084	2.864	0.536	1.504	0.298	3.163	10.12	2	# 2 @ 10 cm
5	0.223	0.493	8.680	0.035	0.035	2.864	0.366	1.026	0.203	3.068	10.43	2	# 2 @ 10 cm
6	-0.399	-0.883	8.680	0.062	0.064	2.864	0.366	1.026	0.203	3.068	10.43	2	# 2 @ 10 cm
7	-0.399	-0.883	8.680	0.062	0.064	2.864	1.252	3.513	0.697	3.561	8.99	2	# 2 @ 9 cm
8	-0.299	-0.660	8.680	0.046	0.048	2.864	1.252	3.513	0.697	3.561	8.99	2	# 2 @ 9 cm
Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m				$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	
5	0.210	0.465	8.680	0.033	0.033	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
6	-0.080	-0.177	8.680	0.012	0.012	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
7	-0.07989339	-0.177	8.680	0.012	0.012	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm
8	-0.0546639	-0.121	8.680	0.008	0.009	2.864				2.864	11.17	2	# 2 @ 11 cm

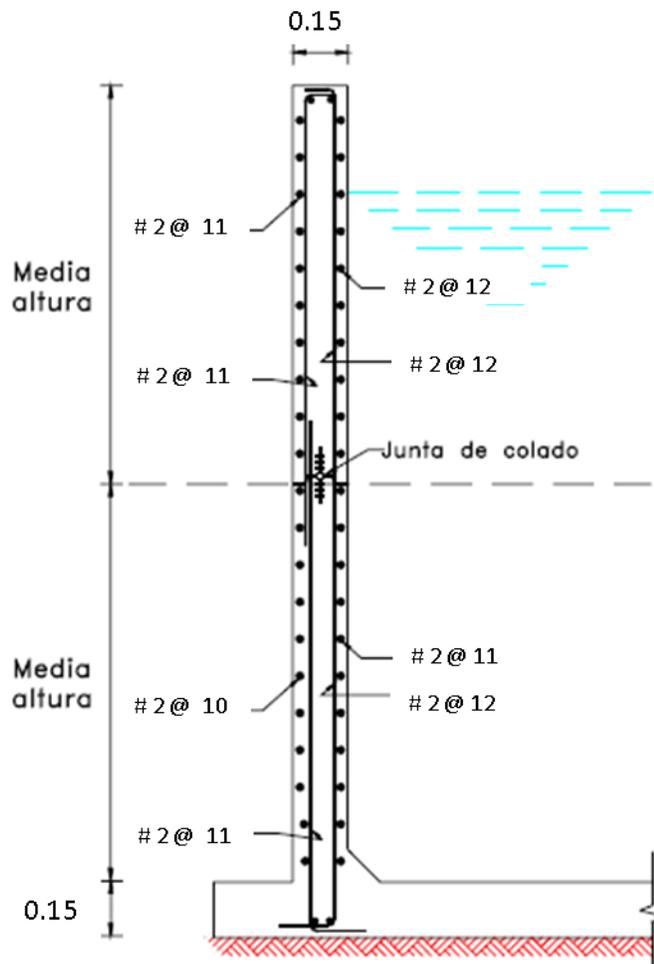
$$K_u = \frac{M_u}{F_R f'_c b d^2} \quad \frac{M_u}{f'_c b d^2} = \omega (1 - 0.59\omega) \quad A_{s, flex} = \rho b d \quad A_{st} = \frac{N_u}{2 F_R f_y}$$

**Refuerzo horizontal de contracción y temperatura, además del necesario para tensión directa en el lecho interior de los claros largo y corto.**

El momento es positivo en el lecho interior de la parte central de los tableros largo y corto, por lo que es necesario colocar un refuerzo para contracción y temperatura, así como el refuerzo para la tensión directa.

El refuerzo para contracción y temperatura se especifica en la sección 7.12 de ACI 318-95. Para las losas con varillas de acero corrugado de Grado 60 ( $f_y = 4.200 \text{ kg/cm}^2$ ) (o malla de alambre soldado, lisa o corrugada), el área de refuerzo para contracción y temperatura será igual a 0.0018 del área bruta del concreto.

Refuerzo por contracción	$A_s$		$\text{cm}^2/\text{m}$	# 2 @
		2.700		12 cm
Parte superior del tablero largo	$A_{st}$	2.700	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 2 @ 12 cm
Parte inferior del tablero largo	$A_{st}$	2.903	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 2 @ 11 cm
Parte superior del tablero corto	$A_{st}$	2.998	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 2 @ 11 cm
Parte inferior del tablero corto	$A_{st}$	3.397	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 2 @ 9 cm

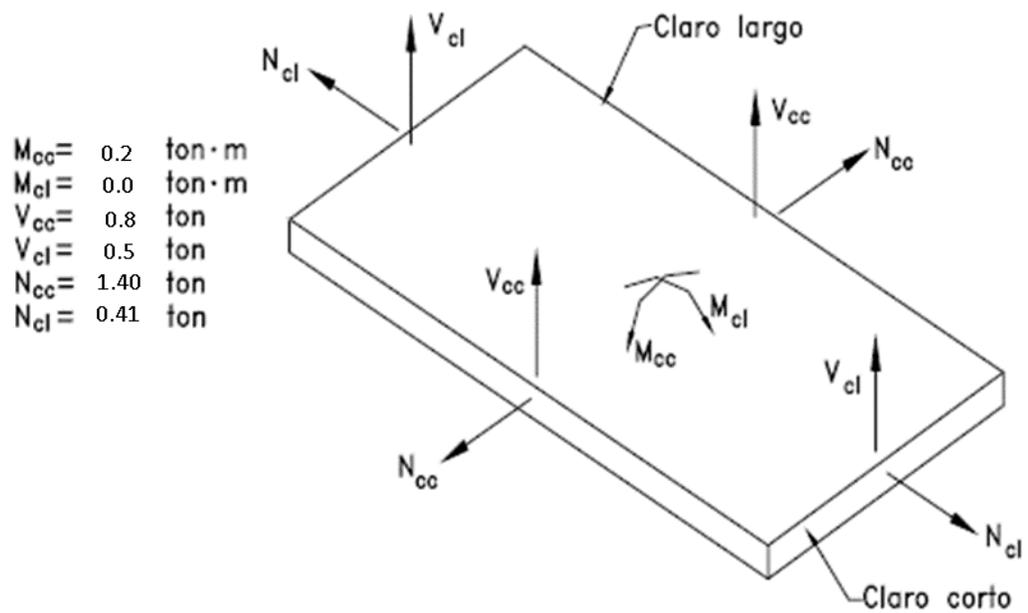


Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

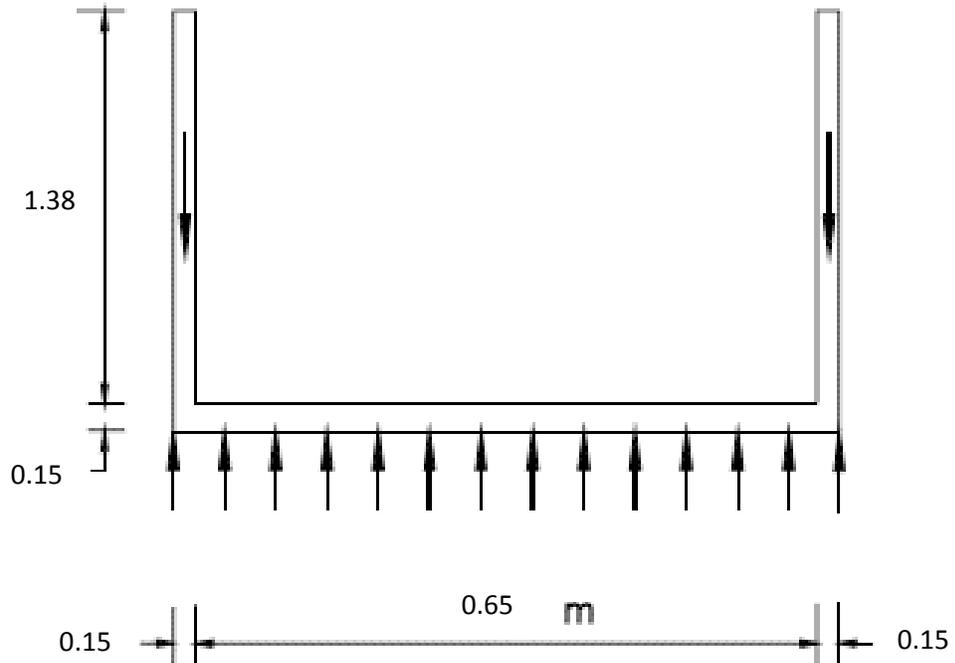
Cara exterior:	H	# 2 @ 10
	V	# 2 @ 10
Cara interior:	H	# 2 @ 10
	V	# 2 @ 10

## Diseño de la losa de fondo

Cálculo del peso de los muros del recipiente y su presión sobre el terreno



Elementos mecánicos en la losa de fondo



**Presión de paredes sobre losa**

**p**                      1.191                      Ton/m<sup>2</sup>

**Momentos flexionantes**

Se emplea la Tabla IV de la PCA, que resulta útil cuando se considera una losa con una carga uniformemente repartida, como es el caso.

X/A	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
½	0.118	0.029

M<sub>x</sub>                      0.268                      **Ton.m**

M<sub>y</sub>                      0.066                      **Ton.m**

**Fuerzas cortantes**

V<sub>x</sub>                      0.822                      **Ton**

V<sub>y</sub>                      0.543                      **Ton**

**Las fuerzas de tensión directa sobre la losa de fondo**

N<sub>1</sub>                      1.408                      **Ton**

N<sub>2</sub>                      0.411                      **Ton**

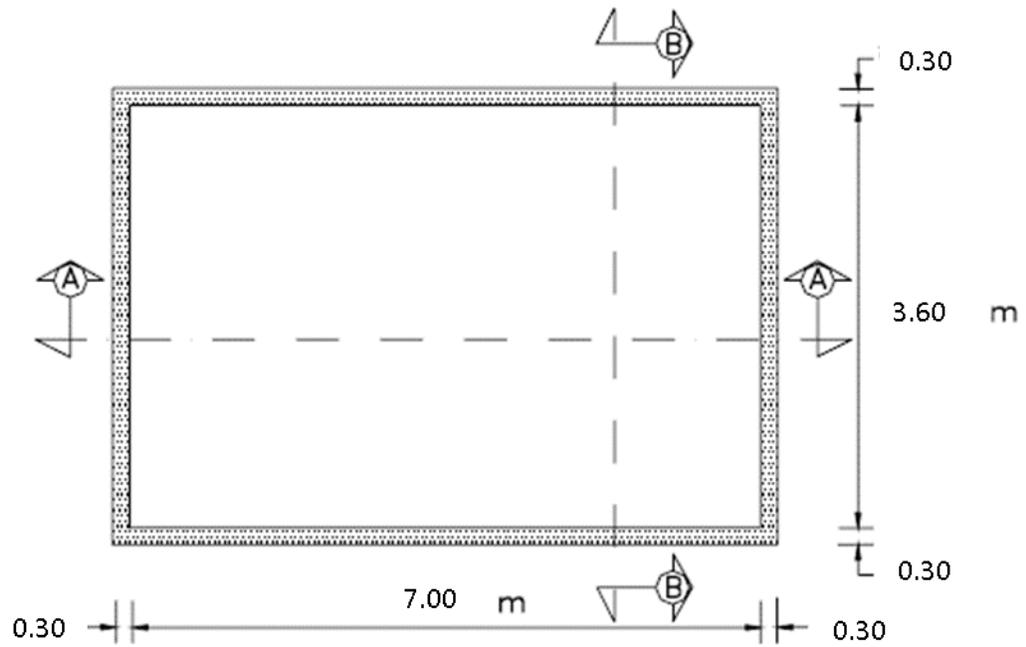
## Diseño por flexión y tensión directa mediante el procedimiento de resistencia última

Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	Tensión directa N Ton	Tensión factorada $N_u$ Ton	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ cm <sup>2</sup> /m	$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
Claro Corto	0.268	0.592	8.680	0.042	0.043	2.864	1.408	3.949	0.783	3.648	8.77	2	# 2 @ 9 cm
Claro Largo	0.066	0.145	8.360	0.011	0.011	0.926	0.411	1.154	0.229	1.155	27.70	2	# 2 @ 28 cm

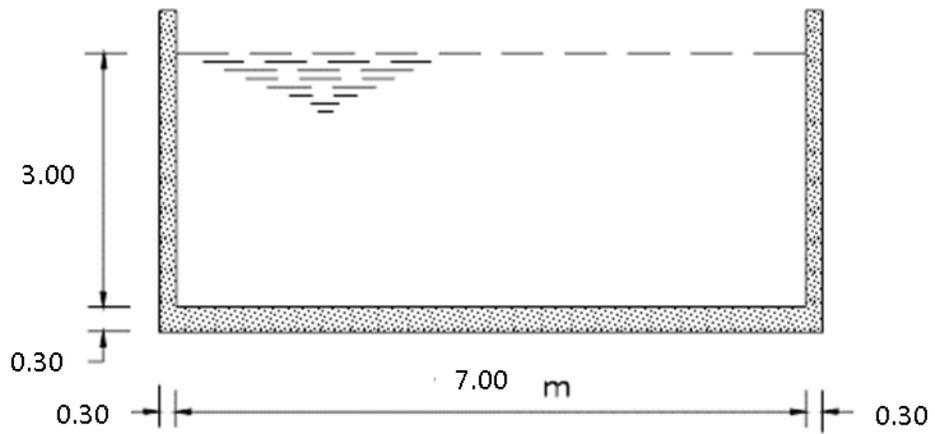
Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

Losa de piso:           Ref. Long    # 2 @ 10  
                                   Ref. Transv   # 2 @ 25

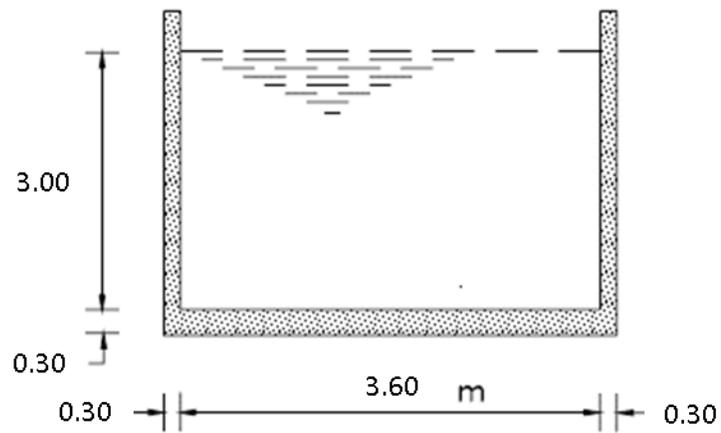
### 4.7.3 Diseño estructural del reactor UASB



VISTA EN PLANTA  
DEL DEPÓSITO



CORTE A - A



### CORTE B - B

Concreto	$f'_c$	250	kg/cm <sup>2</sup>
Acero	$f_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del líquido	$w$	1.600	Ton/m <sup>3</sup>
Espesor de pared	$e$	0.30	m
Long efectiva	$b$	7.00	m
Ancho efectivo	$c$	3.60	m
Altura efectiva	$a$	3.00	m
	$b/a$	2.33	
	$c/a$	1.20	
Diámetro de varilla	$\phi$	0.95	cm
	Area	0.71	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento	$r$	5.00	cm
Peralte efectivo	$d$	24.53	cm

## **Fuerzas Cortantes**

### **Coefficientes para cortante**

b/a	1.20	2.33
Punto central del borde inferior	0.270	0.403
Esquina del borde inferior	-0.469	-0.585
Borde superior de la esquina lateral	0.028	0.121
Punto central de la esquina lateral	0.281	0.385

### **Tablero largo, borde superior de la esquina lateral:**

V2 (z)                      1.742                      Ton

### **Tablero corto, borde superior de la esquina lateral:**

V3 (z)                      0.403                      Ton

### **Tablero largo: punto central de la esquina lateral**

V6 (z)                      5.544                      Ton

### **Tablero corto: punto central de la esquina lateral**

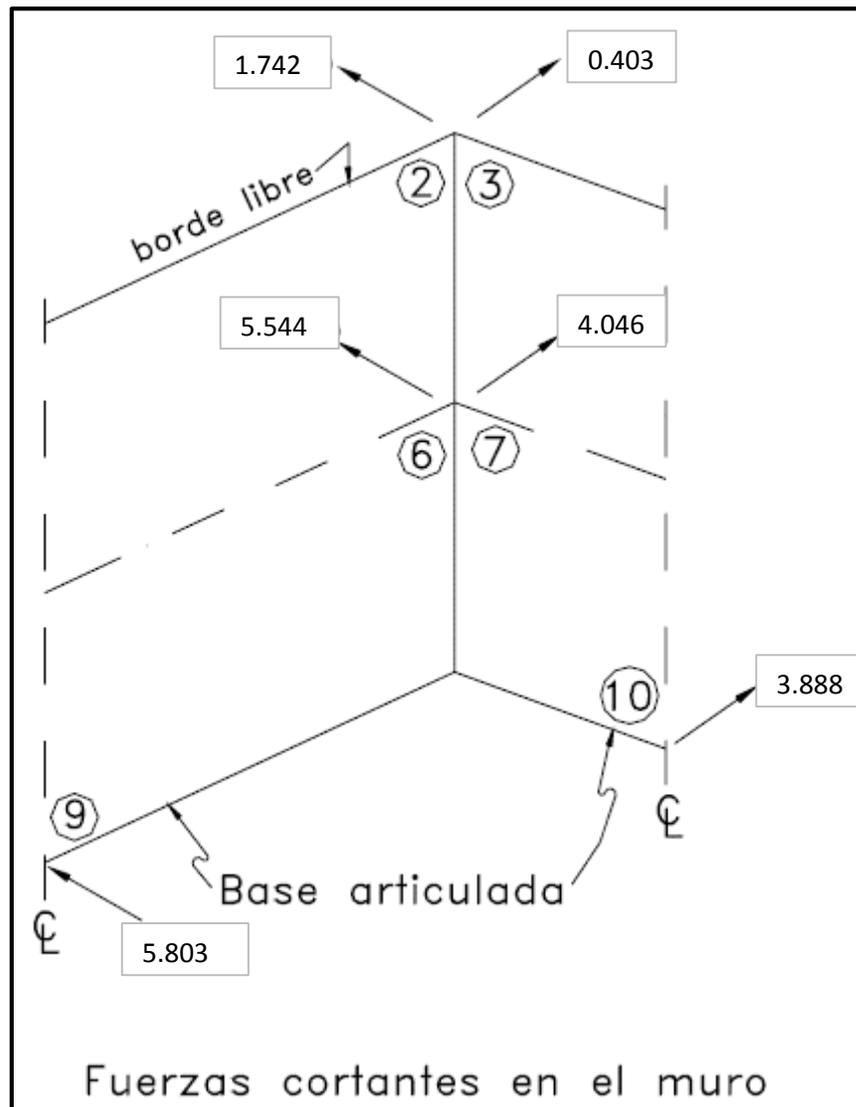
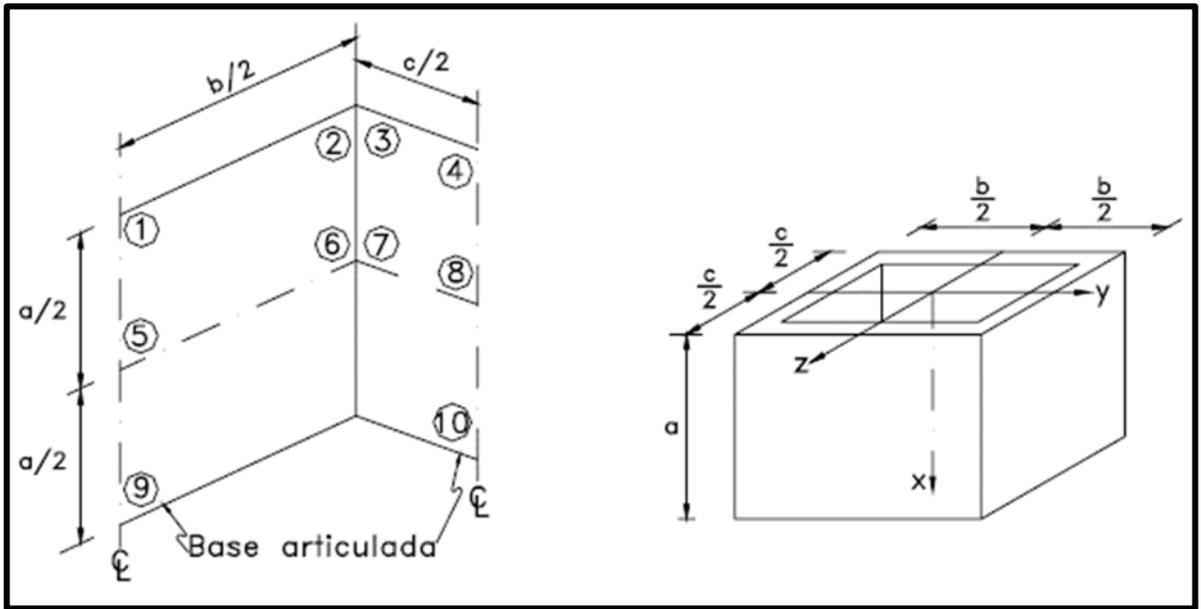
V7 (z)                      4.046                      Ton

### **Tablero largo: punto central del borde inferior**

V9 (z)                      5.803                      Ton

### **Tablero corto: punto central del borde inferior**

V10 (z)                      3.888                      Ton



### **Momentos Flexionantes**

Se hace uso de la Tabla V de la referencia citada (PCA) donde se encuentran los coeficientes para la determinación de los momentos en los muros articulados en su base y libres en el extremo superior.

Se emplea la expresión:

$$M = (\text{coeficiente}) \times w \times a^3$$

Coeficientes para momentos ( $\div 1000$ )

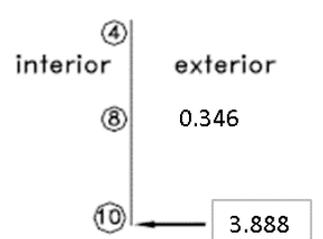
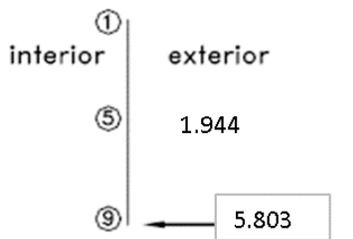
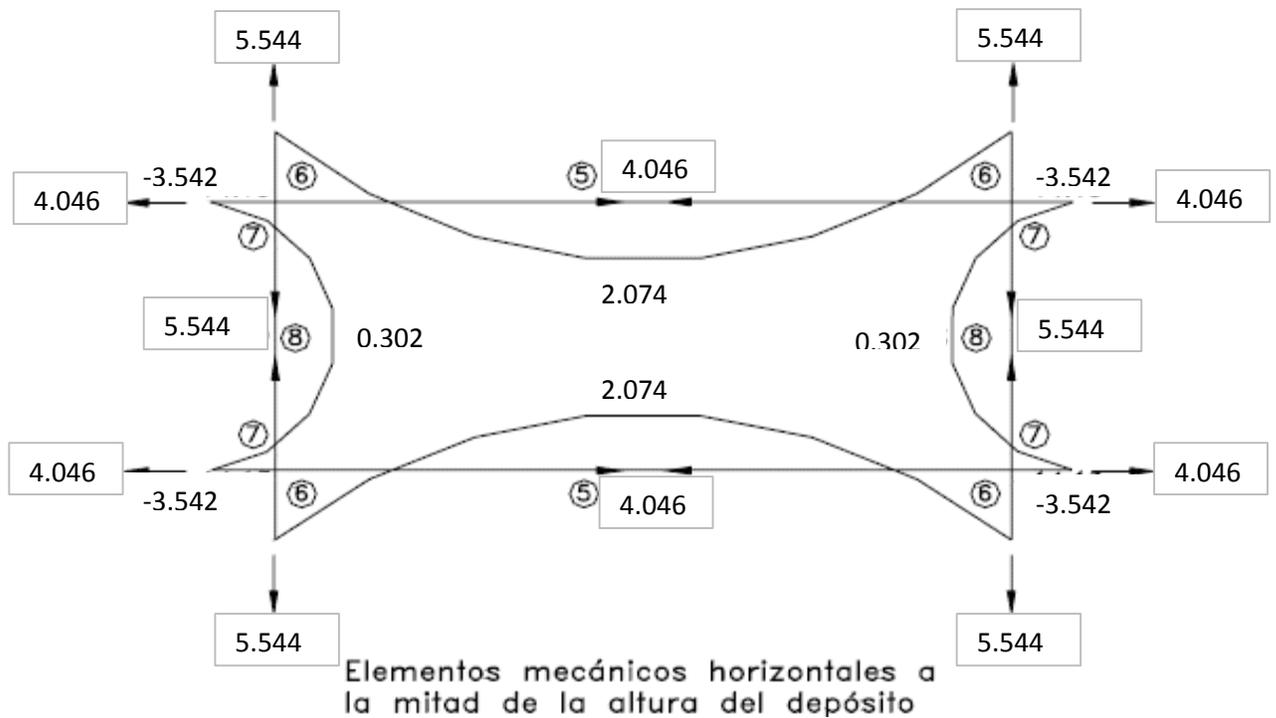
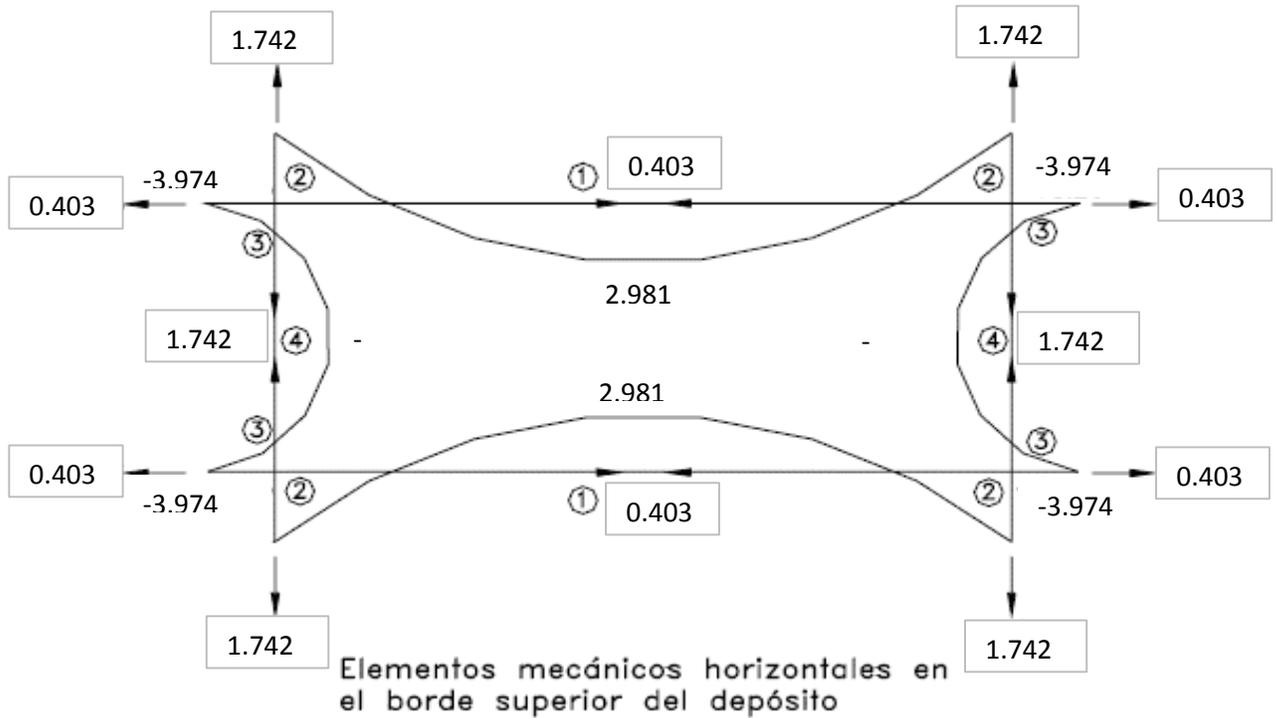
b/a	2.33						
	X	y=0		y = b/2 = c/2		z = 0	
C	x/a	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
1.20	0	0	69	0	-92	0	-10
	½	45	48	-16	-82	8	7

#### **Momentos horizontales**

<b>M1 (y)</b>	2.981	Ton.m
<b>M2 (y)</b>	-3.974	Ton.m
<b>M4 (y)</b>	-0.432	Ton.m
<b>M5 (y)</b>	2.074	Ton.m
<b>M6 (y)</b>	-3.542	Ton.m
<b>M8 (y)</b>	0.302	Ton.m

#### **Momentos verticales**

<b>M5 (x)</b>	1.944	Ton.m
<b>M6 (x)</b>	-0.691	Ton.m
<b>M8 (x)</b>	0.346	Ton.m



## Diseño de las losas de los tableros, mediante el procedimiento de Resistencia Última de ACI 318-95

Verificación de la capacidad al cortante de los tableros

Tablero largo. Cortante en el punto medio del borde inferior (Punto 9)

$$V = C_s \times wa^2 \times 1.7 \quad V_u \quad 9.865 \quad \text{Ton}$$

$$F_R V_c = 0.85(0.5) \sqrt{f'_c} b d \quad F_R V_c \quad 16.480 \quad \text{Ton} > 9.865 \quad \text{Ton} \quad \text{Correcto}$$

Cortante en el punto a media altura en la intersección de los tableros (Punto 6)

$$V = C_s \times wa^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 9.425 \quad \text{Ton}$$

$$V = C_s \times wa^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 6.879 \quad \text{Ton}$$

Para determinar la fuerza cortante admisible del concreto en el tablero largo, se hace uso de la sección 11.3.2.3, así como de la ec. 11.8 de ACI 318-95. En efecto:

$$V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

y:

$$F_R V_c = F_R (0.53) \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

Diseño de las losas de los tableros, mediante el procedimiento de Resistencia Última de ACI 318-95

Verificación de la capacidad al cortante de los tableros

Tablero largo. Cortante en el punto medio del borde inferior (Punto 9)

$$V = C_s \times wa^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 9.865 \quad \text{Ton}$$

$$F_R V_c = 0.85(0.5) \sqrt{f'_c} b d \quad F_R V_c \quad 16.480 \quad \text{Ton} > 9.865 \quad \text{Ton} \quad \text{Correcto}$$

Cortante en el punto a media altura en la intersección de los tableros (Punto 6)

$$V = C_s \times wa^2 \times 1.7 \quad V_u \quad 9.425 \quad \text{Ton}$$

$$V = C_s \times wa^2 \times 1.7 \quad V_u \quad 6.879 \quad \text{Ton}$$

Para determinar la fuerza cortante admisible del concreto en el tablero largo, se hace uso de la sección 11.3.2.3. Así como de la ec. 11.8 de ACI 318-95. En efecto:

$$V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} bd$$

Y:

$$F_R V_c = F_R (0.53) \left( 1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} bd$$

FR Vc	15.901	Ton	>	9.425	Ton	Correcto
FR Vc	16.325	Ton	>	6.879	Ton	Correcto

#### Diseño para flexión combinada con tensión directa

Refuerzo mínimo

$$\rho = \frac{0.8 \sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho \quad 0.00301$$

Pero no menor a:

$$\rho = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho \quad 0.00333$$

#### Refuerzo mínimo

$$A_{smin} = \rho (bd) \quad A_{smin} \quad 0.33333 \text{ d} \quad \text{cm}^2/\text{m}$$

La separación máxima del refuerzo será de 30 cm. según se recomienda en el subcapítulo 2.3 de este Manual, recomendación que se deriva de la disposición del informe ACI 350, tal y como puede verse en dicho subcapítulo 2.3.

En 7.12.2.1. ACI especifica que "en las losas donde el refuerzo consista de varillas corrugadas de grado 60 ( $f_y = 4.200 \text{ kg cm}^2$ ) o de malla de alambre soldado (liso o corrugado), el área de refuerzo para contracción y temperatura, será al menos 0.0018 del área total del concreto."

**Cálculo del refuerzo necesario en los principales puntos de los tableros según el método de resistencia última**

Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	Tensión N Ton	Tensión factorada $N_u$ Ton	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ cm <sup>2</sup> /m	$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo	
1	2.981	6.588	24.525	0.049	0.050	8.093	0.403	1.131	0.150	8.243	8.61	3	# 3 @ 9 cm	
2	-3.974	-8.783	24.525	0.065	0.068	8.093	0.403	1.131	0.150	8.243	8.61	3	# 3 @ 9 cm	
3	-3.974	-8.783	24.525	0.065	0.068	8.093	1.742	4.887	0.646	8.740	8.12	3	# 3 @ 8 cm	
4	-0.432	-0.955	24.525	0.007	0.007	1.379	1.742	4.887	0.646	2.025	35.06	3	# 3 @ 35 cm	
5	2.074	4.583	24.525	0.034	0.035	6.728	4.046	11.350	1.501	8.230	8.63	3	# 3 @ 9 cm	
6	-3.542	-7.829	24.525	0.058	0.060	8.093	4.046	11.350	1.501	9.595	7.40	3	# 3 @ 7 cm	
7	-3.542	-7.829	24.525	0.058	0.060	8.093	5.544	15.551	2.057	10.150	6.99	3	# 3 @ 7 cm	
8	0.302	0.668	24.525	0.005	0.005	0.964	5.544	15.551	2.057	3.021	23.50	3	# 3 @ 24 cm	
Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m					$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	
5	1.944	4.296	24.525	0.032	0.032	8.093					8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm
6	-0.691	-1.528	24.525	0.011	0.011	8.093					8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm
7	-0.6912	-1.528	24.525	0.011	0.011	8.093					8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm
8	0.3456	0.764	24.525	0.006	0.006	8.093					8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm

**Fórmulas:**

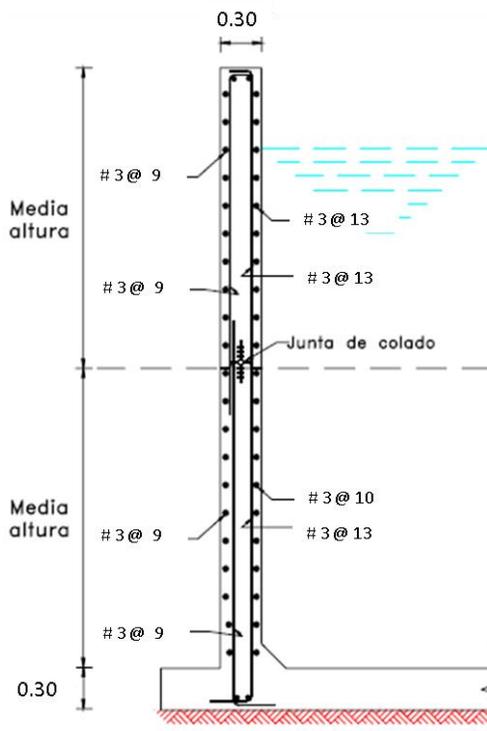
$$K_u = \frac{M_u}{F_R f_c' b d^2} \quad \frac{M_u}{f_c' b d^2} = \omega (1 - 0.59\omega) \quad A_{s, flex} = \rho b d \quad A_{st} = \frac{N_u}{2 F_R f_y}$$

**Refuerzo horizontal de contracción y temperatura, además del necesario para tensión directa en el lecho interior de los claros largo y corto.**

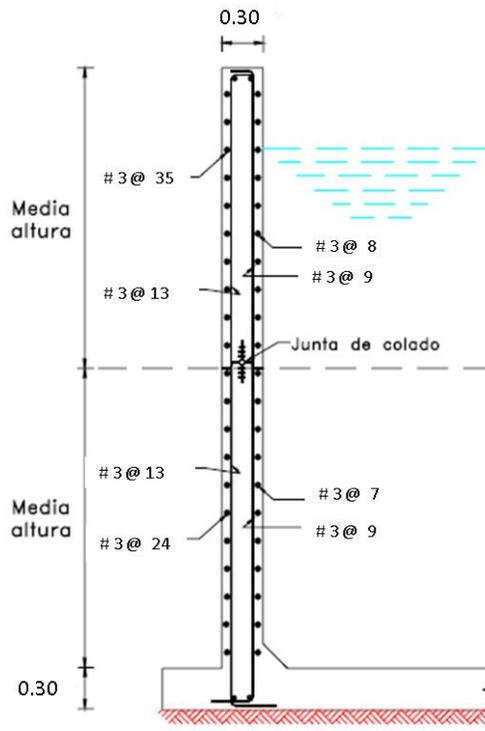
El momento es positivo en el lecho interior de la parte central de los tableros largo y corto, por lo que es necesario colocar un refuerzo para contracción y temperatura, así como el refuerzo para la tensión directa.

El refuerzo para contracción y temperatura se especifica en la sección 7.12 de ACI 318-95. Para las losas con varillas de acero corrugado de Grado 60 ( $f_y = 4.200 \text{ kg/cm}^2$ ) (o malla de alambre soldado, lisa o corrugada), el área de refuerzo para contracción y temperatura será igual a 0.0018 del área bruta del concreto.

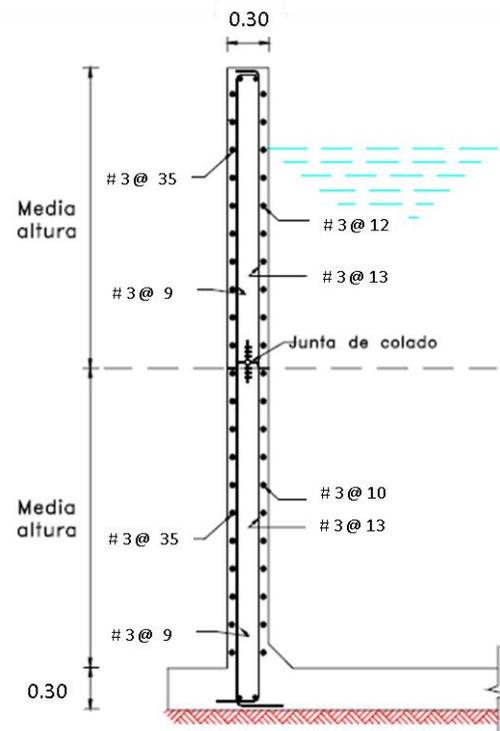
	Refuerzo por contracción	$A_s$		$\text{cm}^2/\text{m}$	
					# 3 @ 13 cm
	Parte superior del tablero largo	$A_{st}$	5.550	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 3 @ 13 cm
	Parte inferior del tablero largo	$A_{st}$	6.901	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 3 @ 10 cm
	Parte superior del tablero corto	$A_{st}$	6.046	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 3 @ 12 cm
	Parte inferior del tablero corto	$A_{st}$	7.457	$\text{cm}^2/\text{m}$	# 3 @ 10 cm



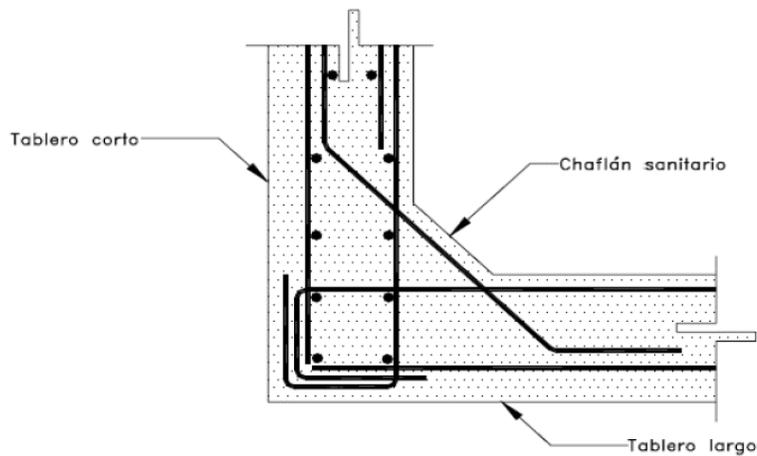
Sección al  $\zeta$  del tablero largo



Sección en el vértice del tablero corto con el tablero largo



Sección al  $\zeta$  del tablero corto



Detalle del refuerzo en las esquinas

Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

**Tablero Largo**

Cara exterior:                   H       # 5 @ 25  
   V       # 5 @ 25

Cara interior:                   H       # 5 @ 30  
   V       # 4 @ 25

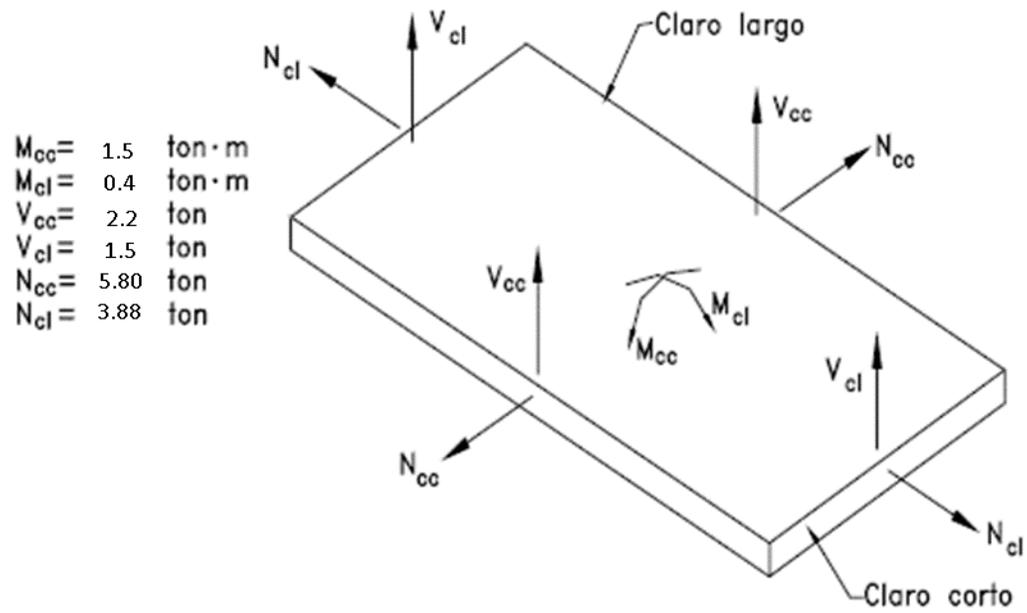
**Tablero Corto**

Cara exterior:                   H       # 3 @ 30  
   V       # 5 @ 25

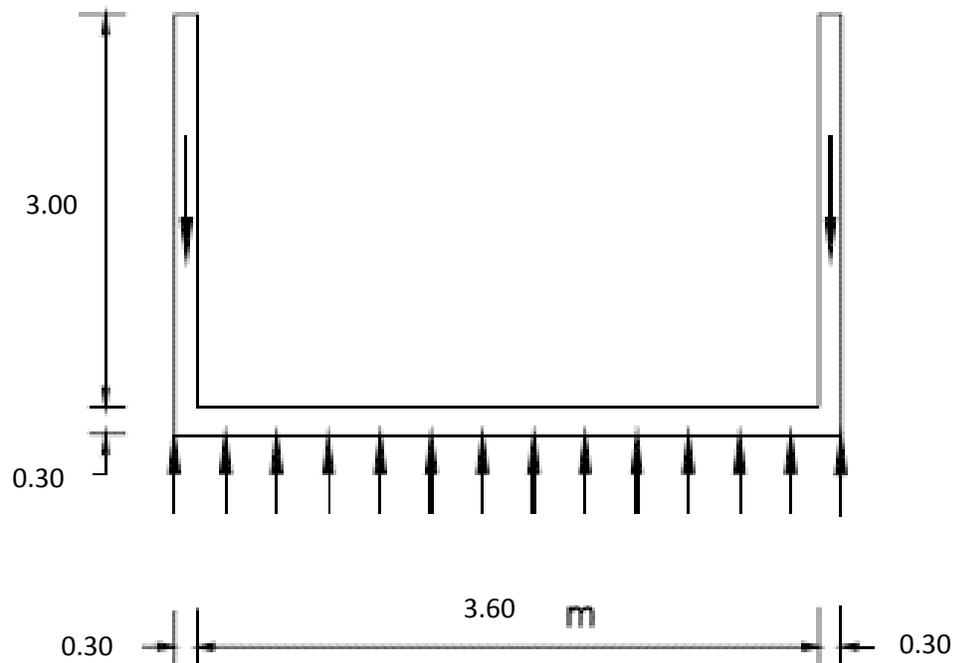
Cara interior:                   H       # 5 @ 25  
   V       # 4 @ 25

## Diseño de la losa de fondo

Cálculo del peso de los muros del recipiente y su presión sobre el terreno



Elementos mecánicos en la losa de fondo



### Presión de paredes sobre losa

**p** 1.516 Ton/m<sup>2</sup>

#### Momentos flexionantes

Se emplea la Tabla IV de la PCA, que resulta útil cuando se considera una losa con una carga uniformemente repartida, como es el caso.

X/A	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
½	0.112	0.032

Para el claro corto: M<sub>x</sub> 1.528 **Ton.m**  
 Para el claro largo: M<sub>y</sub> 0.437 **Ton.m**

#### Fuerzas cortantes

Cortante en el claro corto V<sub>x</sub> 2.274 **Ton**  
 Cortante en el claro largo V<sub>y</sub> 1.501 **Ton**

#### Las fuerzas de tensión directa sobre la losa de fondo

Sobre el claro corto N 5.803 **Ton**  
 Sobre el claro largo N 3.888 **Ton**

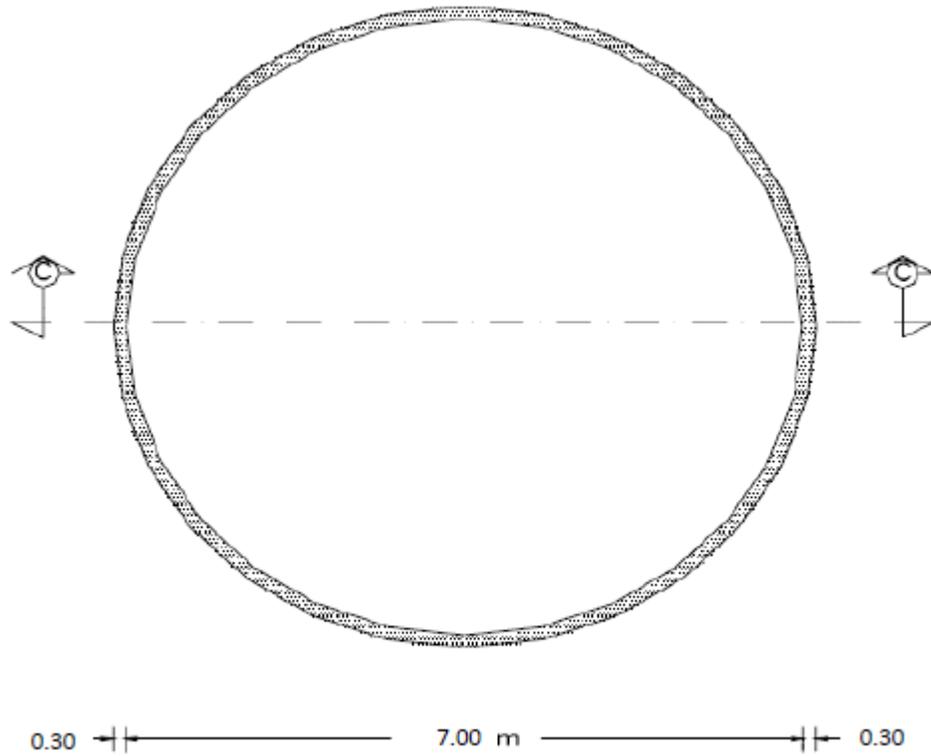
### Diseño por flexión y tensión directa mediante el procedimiento de resistencia última

Punto	Momento horizontal M <sub>y</sub> (Ton-m)	Momento horizontal factorado M <sub>y</sub> (Ton-m)	d	K <sub>u</sub>	ω	A <sub>s</sub> cm <sup>2</sup> /m	Tensión directa N Ton	Tensión factorada N <sub>u</sub> Ton	Refuerzo para N <sub>u</sub> , A <sub>st</sub> cm <sup>2</sup> /m	A <sub>s</sub> Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
Claro Corto	1.528	3.377	24.525	0.025	0.025	4.930	5.803	16.278	2.153	7.083	10.02	3	# 3 @ 10 cm
Claro Largo	0.437	0.965	24.050	0.007	0.007	1.421	3.888	10.906	1.443	2.864	24.79	3	# 3 @ 25 cm

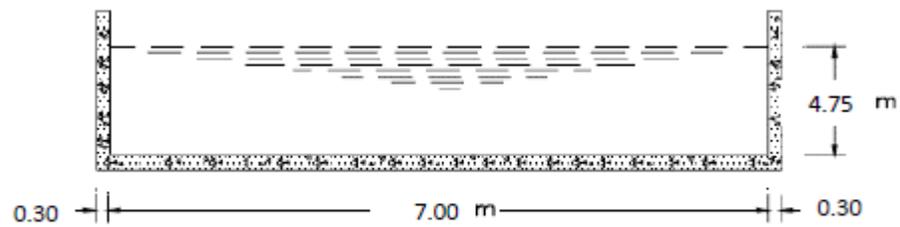
Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

Losa de piso: Ref. Long # 3 @ 10  
 Ref. Transv # 3 @ 25

#### 4.7.4 Diseño estructural del sedimentador



VISTA EN PLANTA



CORTE C - C

Concreto	f'c	250	kg/cm <sup>2</sup>
Acero de Refuerzo a flexión	f <sub>y</sub>	2800	kg/cm <sup>2</sup>
Acero para Tensión directa	f <sub>s</sub>	1400	kg/cm <sup>2</sup>
Mod. de elasticidad Acero	E <sub>s</sub>	2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Mod. de elasticidad Concreto	E <sub>c</sub>	221359	kg/cm <sup>2</sup>
Relación de módulos	n	9.04	
Densidad del líquido	w	1.010	Ton/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico del suelo	w	1.600	Ton/m <sup>3</sup>
Altura del tanque	H	4.75	m
Diámetro del tanque	D	7.00	m
Espesor de pared	t	0.30	m
Para tablas de coeficientes	H <sup>2</sup> /Dt	10.74	
Diámetro ref. vertical exterior	∅	1.59	cm
	Area	1.99	cm <sup>2</sup>
Diámetro ref. vertical interior	∅	1.59	cm
	Area	1.99	cm <sup>2</sup>
Diámetro ref. horizontal	∅	1.91	cm
	Area	2.84	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento	r	5.00	cm
Peralte efectivo	d	24.21	cm

De conformidad con las disposiciones contenidas en el informe del Comité 350 de ACI, se debe considerar un coeficiente sanitario de 1.65 para la tensión directa y de 1.3 para flexión. Por consiguiente, la carga última para tensión directa vale:

$$w_u = (\text{Coeficiente sanitario para tensión directa}) * (\text{Factor de carga}) * w$$

$$w_u = 2833.05 \text{ Kg/m}^3$$

Y para flexión:

$$w_u = (\text{Coeficiente sanitario para flexión}) * (\text{Factor de carga}) * w$$

$$w_u = 2232.10 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

**Condición de carga 1: Determinación de las fuerzas de tensión anular y los momentos Flexionantes producidos por la presión hidrostática interna del líquido.**

Punto	Coefficientes para fuerza anular - Tabla A.5	Fuerza anular (Kg)	Coefficientes para momento flexionante	Momento flexionante kg.m
0.0 H	-0.008	-376.80	0.0000	0.00
0.1	0.095	4474.45	0.0000	0.00
0.2	0.200	9419.89	0.0000	0.00
0.3	0.311	14647.93	-0.0002	-47.84
0.4	0.428	20158.57	-0.0001	-23.92
0.5	0.552	25998.90	0.0002	47.84
0.6	0.666	31368.24	0.0011	263.14
0.7	0.730	34382.60	0.0025	598.05
0.8	0.678	31933.43	0.0043	1028.64
0.9	0.433	20394.06	0.0045	1076.48
1.0	0.000	0.00	0.0000	0.00

**Revisión de cortante en la base**

$$V_c = 0.5 \sqrt{f_c'} bd$$

$$V_c = 19135.73 \text{ Kg}$$

$$\phi V_c = 16265.37 \text{ Kg}$$

Coefficiente de tabla A.12  
0.087

$$W_u = 1717.00 \text{ kg/m}^3$$

$$W_u H^2 = 38739.81 \text{ kg/m}$$

$$V_c = 3370.36 \text{ Kg} < 16265.37 \text{ Kg} \text{ Correcto}$$

**Condición de carga 2: Presión de tierras por el lado exterior.**

$$W_u H R = -74613.00 \text{ kg/m}^3$$

$$P_u H^2 R = -14137.20 \text{ kg/m}^3$$

$$W_u H^3 = -378959.75 \text{ kg/m}^3$$

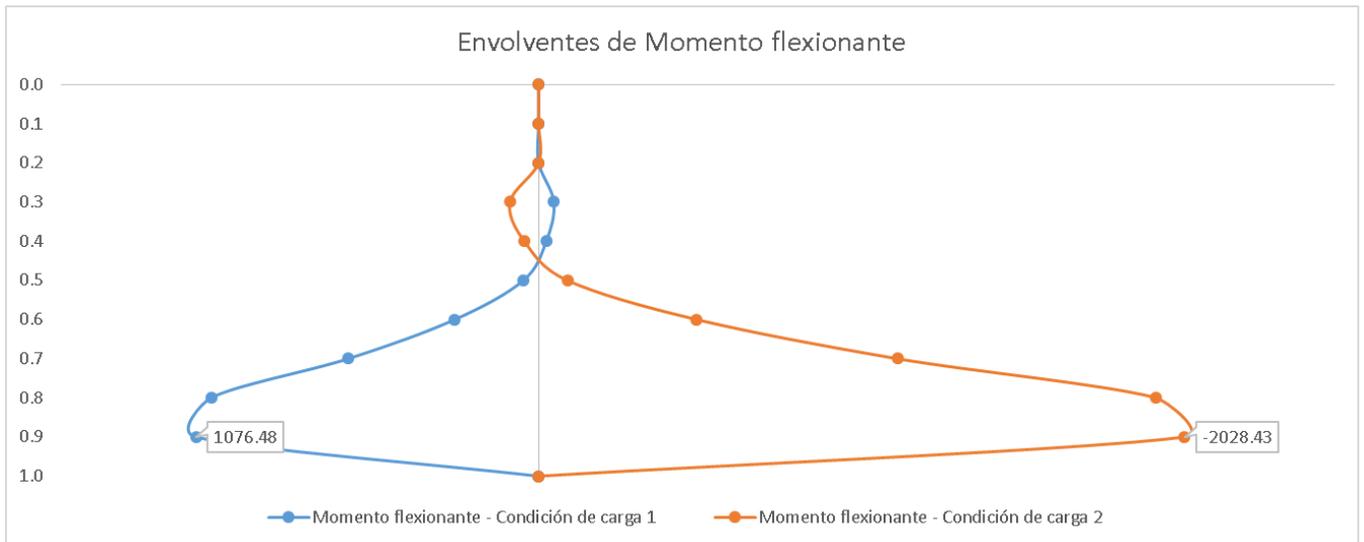
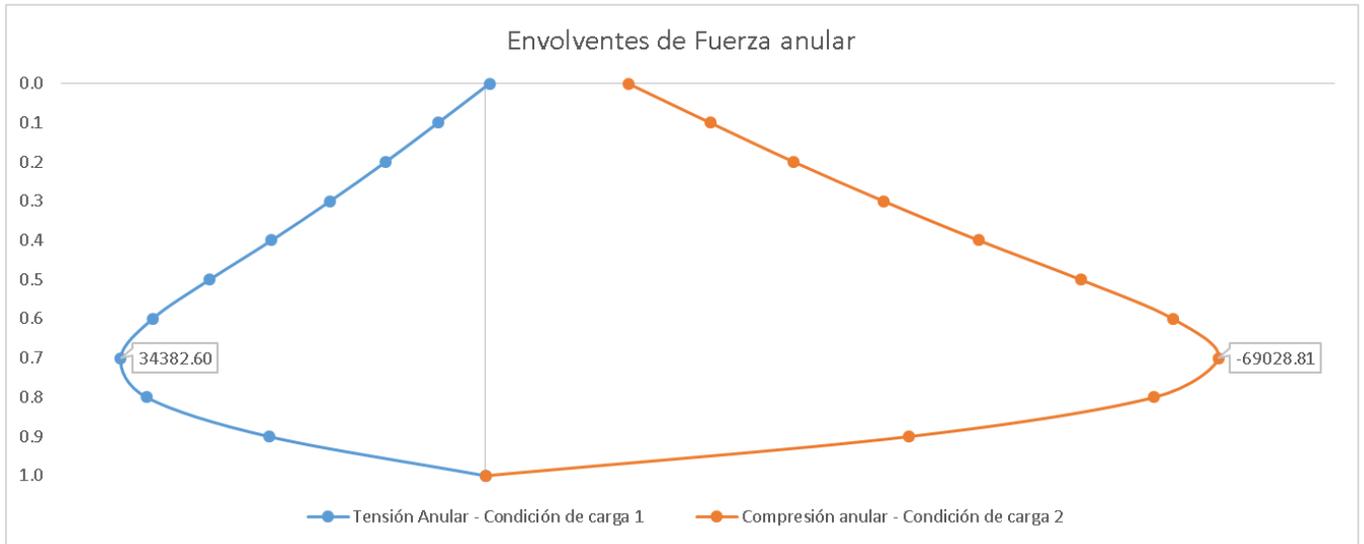
$$P_u H^2 H^2 = -71802.90 \text{ kg/m}^3$$

Punto	Coefficientes para fuerza anular - Tabla A.5	Fuerza anular triangular (Kg)	Coefficientes para fuerza anular - Tabla A.6	Fuerza anular rectangular (Kg)	Resultante de fuerza anular (Kg)	Coefficientes para momento flexionante - Tabla A.7	Momento flexionante kg.m
0.0 H	-0.008	596.90	0.9920	-14024.10	-13427.20	0.0000	0.00
0.1	0.095	-7088.24	0.9950	-14066.51	-21154.75	0.0000	0.00
0.2	0.200	-14922.60	1.0000	-14137.20	-29059.80	0.0000	0.00
0.3	0.311	-23204.64	1.0110	-14292.71	-37497.35	-0.0002	90.15
0.4	0.428	-31934.36	1.0280	-14533.04	-46467.41	-0.0001	45.08
0.5	0.552	-41186.38	1.0520	-14872.33	-56058.71	0.0002	-90.15
0.6	0.666	-49692.26	1.0660	-15070.26	-64762.51	0.0011	-495.84
0.7	0.730	-54467.49	1.0300	-14561.32	-69028.81	0.0025	-1126.91
0.8	0.678	-50587.61	0.8780	-12412.46	-63000.08	0.0043	-1938.28
0.9	0.433	-32307.43	0.5330	-7535.13	-39842.56	0.0045	-2028.43
1.0	0.000	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.00

### Condición de carga 3: Etapa de servicio del depósito.

Esta condición corresponde a la etapa de servicio del depósito: la losa de cubierta está ya en su sitio, el depósito se encuentra lleno de agua y se ha completado el relleno. Sin embargo, ACI 350 no reconoce que la resistencia perimetral del empuje de suelo sobre la pared del depósito, se tome en cuenta para resistir la presión hidrostática interior.

Punto	Coefficientes para fuerza anular - Tabla A.8	Fuerza anular obtenida al aplicar V en el borde libre (kg)	Fuerza anular de la carga hidrostática (kg)	Resultante de fuerzas anulares (kg)	Coefficientes para momento flexionante - Tabla A.9	Momentos obtenidos al aplicar V en el borde libre (kg.m)	Momentos flexionantes de la carga hidrostática (kg.m)	Resultante de momentos flexionantes (kg.m)
0.0 H	-11.670	376.80	-376.80	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
0.1	-5.430	175.32	4474.45	4649.77	0.053	-8.69	0.00	-8.69
0.2	-1.430	46.17	9419.89	9466.06	0.049	-8.04	0.00	-8.04
0.3	0.380	-12.27	14647.93	14635.66	0.029	-4.76	-47.84	-52.60
0.4	0.780	-25.18	20158.57	20133.38	0.012	-1.97	-23.92	-25.89
0.5	0.620	-20.02	25998.90	25978.88	0.002	-0.33	47.84	47.52
0.6	0.330	-10.65	31368.24	31357.58	-0.002	0.33	263.14	263.47
0.7	0.120	-3.87	34382.60	34378.73	-0.002	0.33	598.05	598.37
0.8	0.020	-0.65	31933.43	31932.79	-0.002	0.33	1028.64	1028.97
0.9	0.000	0.00	20394.06	20394.06	-0.001	0.16	1076.48	1076.65
1.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00



## Refuerzo mínimo

Según el subcapítulo 2.3 de este Manual, el refuerzo mínimo en una losa de concreto debe ser:

$$A_{s,min} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

$A_{s,min}$       10.935       $\text{cm}^2/\text{m}$

pero no menor a:

$$\frac{14}{f_y} b_w d$$

$A_s$  12.103  $\text{cm}^2/\text{m}$

Punto	Momento flexionante (Condición 1) (Ton-m)	d	$\omega$	$A_s$ $\text{cm}^2/\text{m}$	Separación cm	Calibre de acero	Refuerzo en la cara <b>exterior</b>
0.0 H	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.1	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.2	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.3	-47.844	24.205	0.0004	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.4	-23.922	24.205	0.0002	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.5	47.844	24.205	0.0004	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.6	263.140	24.205	0.0020	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.7	598.046	24.205	0.0045	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.8	1028.639	24.205	0.0078	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.9	1076.483	24.205	0.0082	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
1.0	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm

Punto	Momento flexionante (Condición 2) (Ton-m)	d	$\omega$	$A_s$ $\text{cm}^2/\text{m}$	Separación cm	Calibre de acero	Refuerzo en la cara <b>interior</b>
0.0 H	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.1	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.2	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.3	90.153	24.205	0.0007	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.4	45.076	24.205	0.0003	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.5	-90.153	24.205	0.0007	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.6	-495.839	24.205	0.0038	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.7	-1126.907	24.205	0.0085	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.8	-1938.279	24.205	0.0147	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
0.9	-2028.432	24.205	0.0154	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm
1.0	0.000	24.205	0.0000	12.103	16.44	5	# 5 @ 16 cm

Punto	Tensión N (Condición 3) (Ton)	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ $\text{cm}^2/\text{m}$	Separación cm	Calibre de acero	Refuerzo <b>horizontal</b>
0.1	4649.770	1.845	153.92	6	# 6 @ 154 cm
0.2	9466.062	3.756	75.60	6	# 6 @ 76 cm
0.3	14635.662	5.808	48.90	6	# 6 @ 49 cm
0.4	20133.383	7.989	35.55	6	# 6 @ 36 cm
0.5	25978.882	10.309	27.55	6	# 6 @ 28 cm
0.6	31357.583	12.443	22.82	6	# 6 @ 23 cm
0.7	34378.729	13.642	20.82	6	# 6 @ 21 cm
0.8	31932.786	12.672	22.41	6	# 6 @ 22 cm
0.9	20394.065	8.093	35.09	6	# 6 @ 35 cm

### Fórmulas

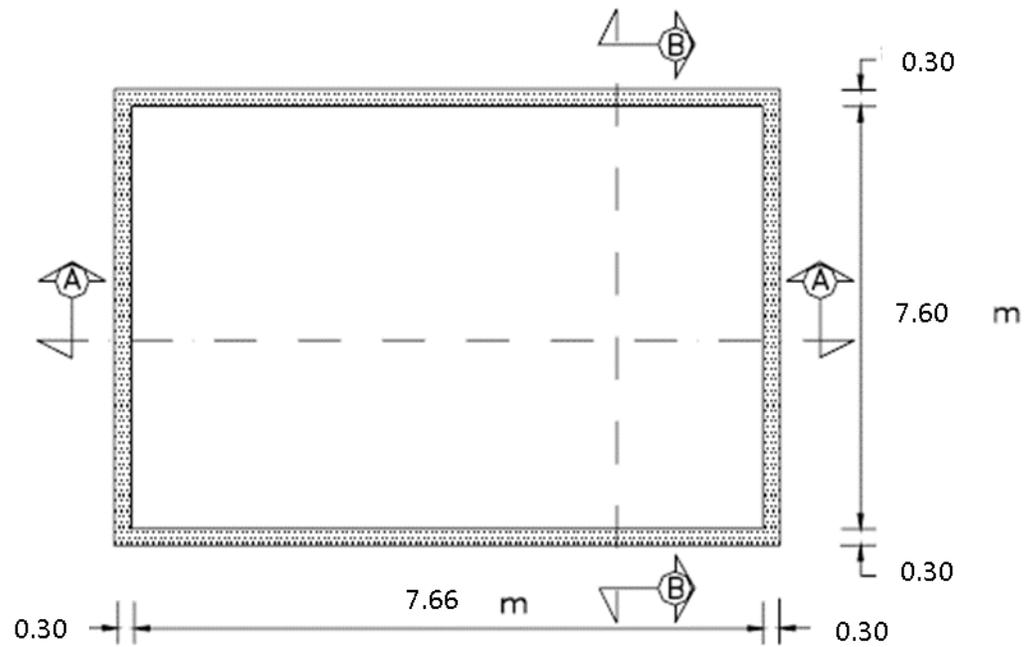
$$\frac{M_u}{F_R f'_c b d^2}$$

$$A_s = \omega \frac{f'_c}{f_y} b d$$

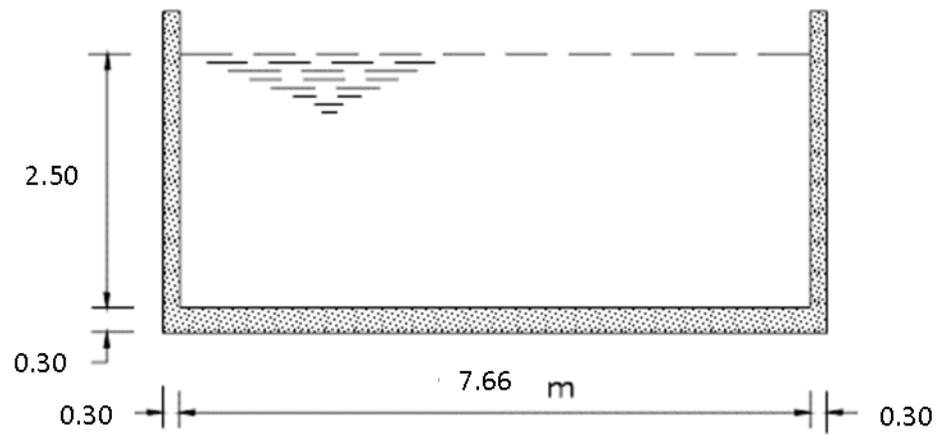
Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

Ref. Vertical en cara exterior	# 5 @ 15
Ref. Vertical en cara interior	# 5 @ 15
Ref. Horizontal	# 6 @ 20

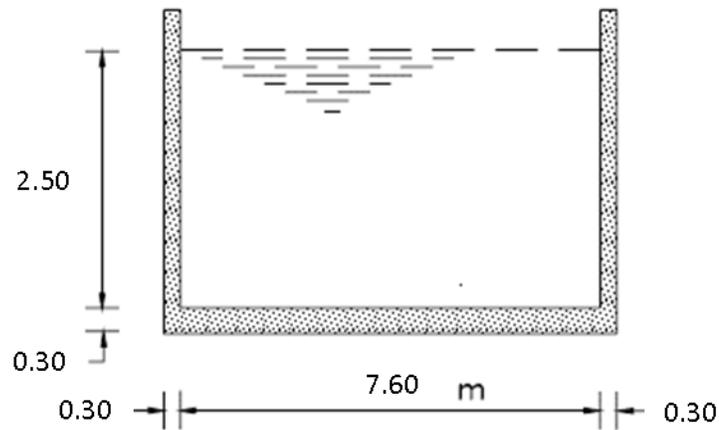
#### 4.7.5 Diseño estructural del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente



VISTA EN PLANTA  
DEL DEPÓSITO



CORTE A - A



CORTE B – B			
Concreto	$f'c$	250	kg/cm <sup>2</sup>
Acero	$f_y$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del líquido	$w$	1.600	Ton/m <sup>3</sup>
Espesor de pared	$e$	0.30	m
Long efectiva	$b$	7.66	m
Ancho efectivo	$c$	7.60	m
Altura efectiva	$a$	2.50	m
	$b/a$	3.06	
	$c/a$	3.04	
Diámetro de varilla	$\emptyset$	0.95	cm
	Area	0.71	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento	$r$	5.00	cm
Peralte efectivo	$d$	24.53	cm

### Fuerzas Cortantes

Con el propósito de determinar los coeficientes para cortante, se emplea la Tabla VIII de PC A. tabla que es la indicada para depósitos con el borde inferior articulado y el superior libre. La expresión utilizada para la obtención de los cortantes es:

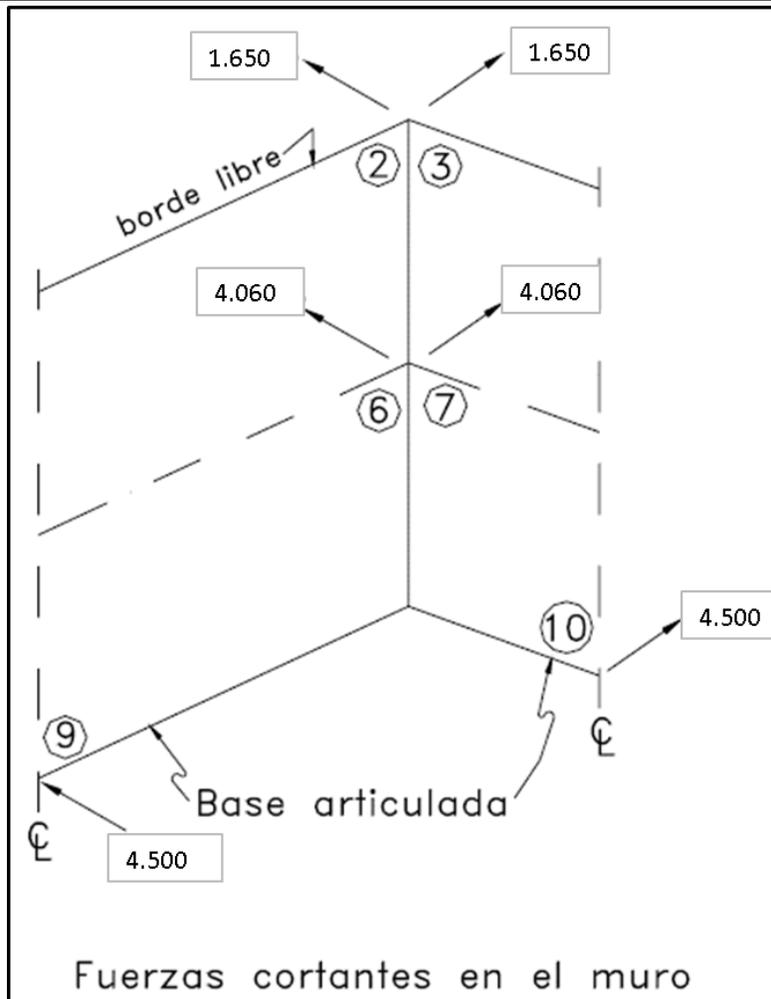
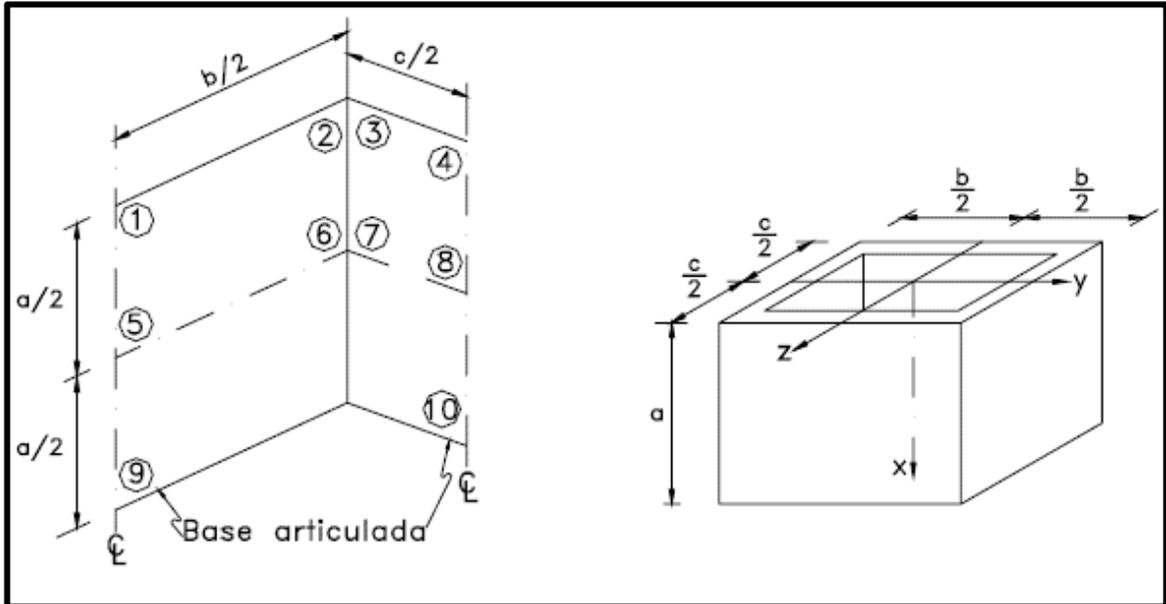


Tablero corto: punto central del borde inferior

$V_{10}(z)$

4.500

Ton



Nótese lo siguiente:

- i) Una fuerza cortante en el muro largo es una tensión ditecta en el muro corto.
- ii) Una fuerza cortante en el muro coito es una tensión directa en el muro largo.

**Momentos Flexionantes**

Se hace uso de la Tabla V de la referencia citada (PCA) donde se encuentran los coeficientes para la determinación de los momentos en los muros articulados en su base y libres en el extremo superior.

Se emplea la expresión:

$$M = (\text{coeficiente}) \times w \times a^3$$

Coeficientes para momentos ( $\div 1000$ )

b/a	3.06						
	C	X	y=0		y = b/2 = c/2		z = 0
c/a	x/a	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
3.04	0	0	70	0	-196	0	70
	½	49	49	-27	-137	49	49

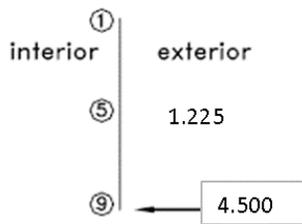
**Momentos horizontales**

<b>M1 (y)</b>	1.750	Ton.m
<b>M2 (y)</b>	-4.900	Ton.m
<b>M4 (y)</b>	1.750	Ton.m
<b>M5 (y)</b>	1.225	Ton.m
<b>M6 (y)</b>	-3.425	Ton.m
<b>M8 (y)</b>	1.225	Ton.m

**Momentos verticales**

<b>M5 (x)</b>	1.225	Ton.m
<b>M6 (x)</b>	-0.675	Ton.m
<b>M8 (x)</b>	1.225	Ton.m





Elementos mecánicos verticales al centro del tablero largo



Elementos mecánicos verticales en la unión de los tableros corto y largo



Elementos mecánicos verticales al centro del tablero corto

## Diseño de las losas de los tableros, mediante el procedimiento de Resistencia Última de ACI 318-95

Verificación de la capacidad al cortante de los tableros

Tablero largo. Cortante en el punto medio del borde inferior (Punto 9)

$$V = C_s \times w a^2 \times 1.7 \quad V_u \quad 7.650 \quad \text{Ton}$$

$$F_R V_c = 0.85(0.5) \sqrt{f'_c} b d \quad F_R V_c \quad 16.480 \quad \text{Ton} > 7.650 \quad \text{Ton} \quad \text{Correcto}$$

Cortante en el punto a media altura en la intersección de los tableros (Punto 6)

$$V = C_s \times w a^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 6.902 \quad \text{Ton}$$

$$V = C_s \times w a^2 \quad \times 1.7 \quad V_u \quad 6.902 \quad \text{Ton}$$

Para determinar la fuerza cortante admisible del concreto en el tablero largo, se hace uso de la sección 11.3.2.3, así como de la ec. 11.8 de ACI 318-95. En efecto:

$$V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{N_u}{35 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

y:

$$F_R V_c = F_R (0.53) \left( 1 + \frac{N_u}{35 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d$$

FR VC 16.321 Ton > 6.902 Ton **Correcto**  
FR VC 16.321 Ton > 6.902 Ton **Correcto**

### Cálculo del refuerzo necesario en los principales puntos de los tableros según el método de resistencia última

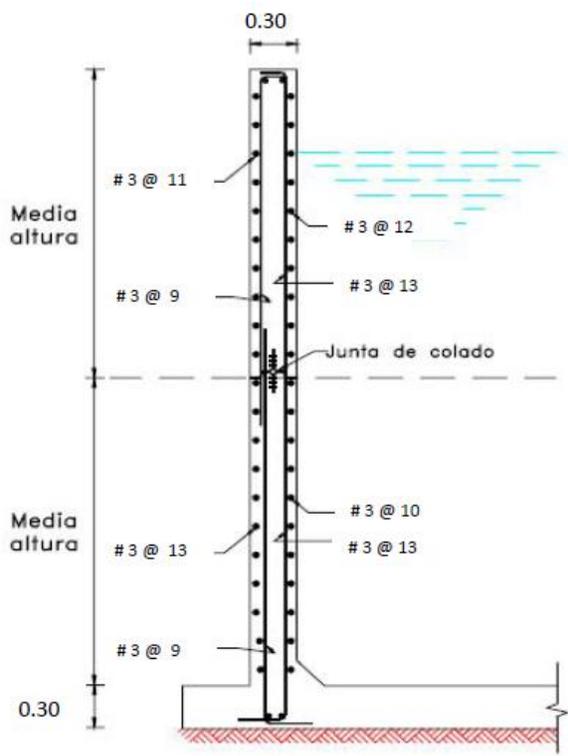
Punto	Momento horizontal My (Ton-m)	Momento horizontal factorado My (Ton-m)	d	Ku	$\omega$	As cm2/m	Tensión N Ton	Tensión factorada Nu Ton	Refuerzo para Nu, Ast cm2/m	As Total cm2/m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
1	1.750	3.868	24.525	0.029	0.029	5.660	1.650	4.628	0.612	6.272	11.32	3	# 3 @ 11 cm
2	-4.900	-10.829	24.525	0.080	0.084	8.093	1.650	4.628	0.612	8.705	8.16	3	# 3 @ 8 cm
3	-4.900	-10.829	24.525	0.080	0.084	8.093	1.650	4.628	0.612	8.705	8.16	3	# 3 @ 8 cm
4	1.750	3.868	24.525	0.029	0.029	5.660	1.650	4.628	0.612	6.272	11.32	3	# 3 @ 11 cm
5	1.225	2.707	24.525	0.020	0.020	3.941	4.060	11.388	1.506	5.447	13.03	3	# 3 @ 13 cm
6	-3.425	-7.569	24.525	0.056	0.058	8.093	4.060	11.388	1.506	9.600	7.40	3	# 3 @ 7 cm
7	-3.425	-7.569	24.525	0.056	0.058	8.093	4.060	11.388	1.506	9.600	7.40	3	# 3 @ 7 cm
8	1.225	2.707	24.525	0.020	0.020	3.941	4.060	11.388	1.506	5.447	13.03	3	# 3 @ 13 cm
Punto	Momento horizontal My (Ton-m)	Momento horizontal factorado My (Ton-m)	d	Ku	$\omega$	As cm2/m				As Total cm2/m	Separación cm	Calibre de acero	
5	1.225	2.707	24.525	0.020	0.020	8.093				8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm
6	-0.675	-1.492	24.525	0.011	0.011	8.093				8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm
7	-0.675	-1.492	24.525	0.011	0.011	8.093				8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm
8	1.225	2.707	24.525	0.020	0.020	8.093				8.093	8.77	3	# 3 @ 9 cm

### Refuerzo horizontal de contracción y temperatura, además del necesario para tensión directa en el lecho interior de los claros largo y corto

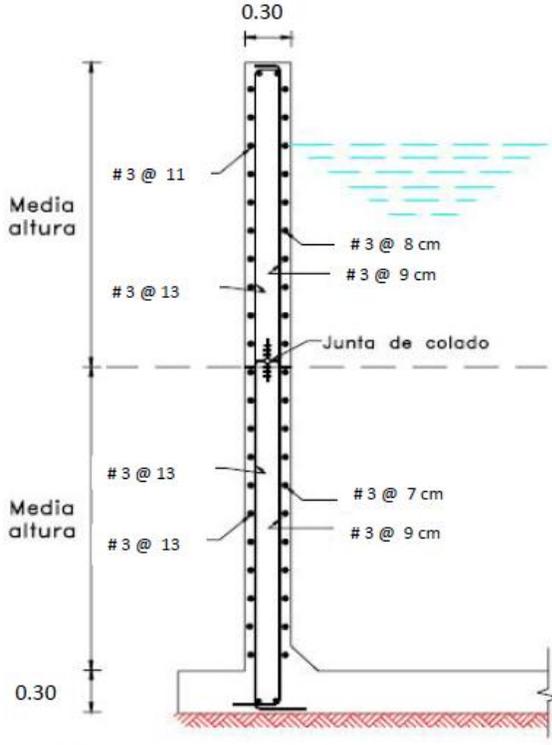
El momento es positivo en el lecho interior de la parte central de los tableros largo y corto, por lo que es necesario colocar un refuerzo para contracción y temperatura, así como el refuerzo para la tensión directa.

El refuerzo para contracción y temperatura se especifica en la sección 7.12 de ACI 318-95. Para las losas con varillas de acero corrugado de Grado 60 ( $f_y = 4.200 \text{ kg/cm}^2$ ) (o malla de alambre soldado, lisa o corrugada), el área de refuerzo para contracción y temperatura será igual a 0.0018 del área bruta del concreto.

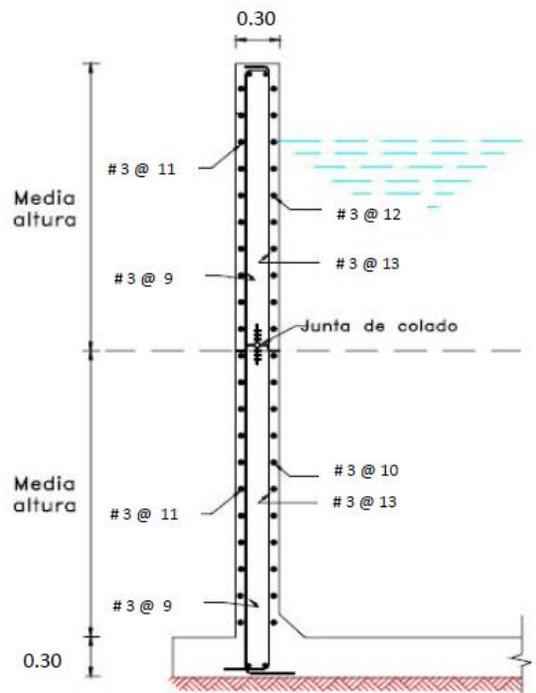
<b>Refuerzo por contracción</b>	As	5.400	<b>cm2/m</b>	# 3 @ 13 cm
Parte superior del tablero largo	Ast	6.012	<b>cm2/m</b>	# 3 @ 12 cm
Parte inferior del tablero largo	Ast	6.906	<b>cm2/m</b>	# 3 @ 10 cm
Parte superior del tablero corto	Ast	6.012	<b>cm2/m</b>	# 3 @ 12 cm
Parte inferior del tablero corto	Ast	6.906	<b>cm2/m</b>	# 3 @ 10 cm



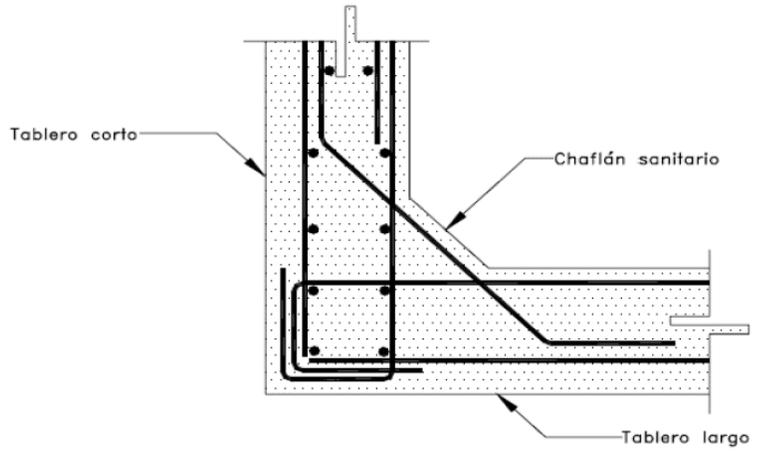
Sección al  $C$  del tablero largo



Sección en el vértice del tablero corto con el tablero largo



Sección al  $C$  del tablero corto



Detalle del refuerzo en las esquinas

Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

#### Tablero Largo

Cara exterior: H # 5 @ 30  
V # 5 @ 25

Cara interior: H # 5 @ 30  
V # 4 @ 25

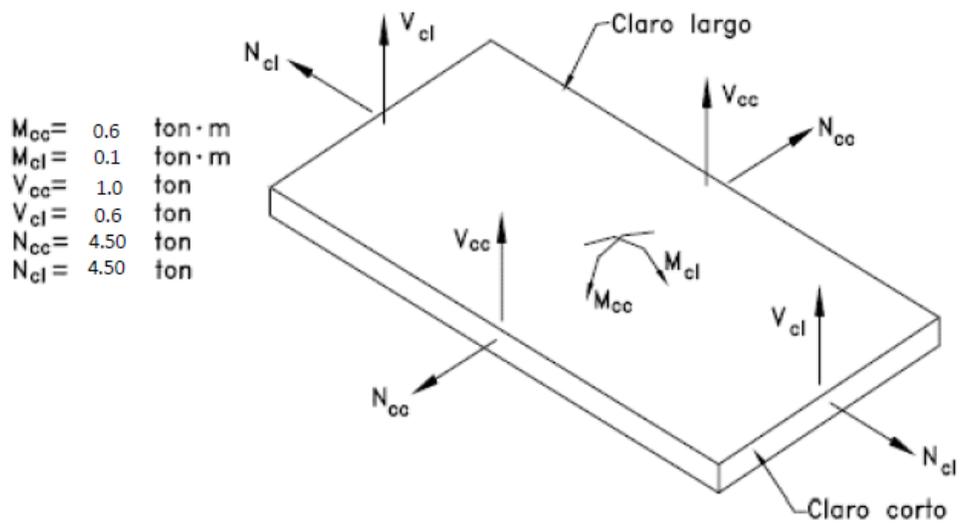
#### Tablero Corto

Cara exterior: H # 5 @ 30  
V # 5 @ 25

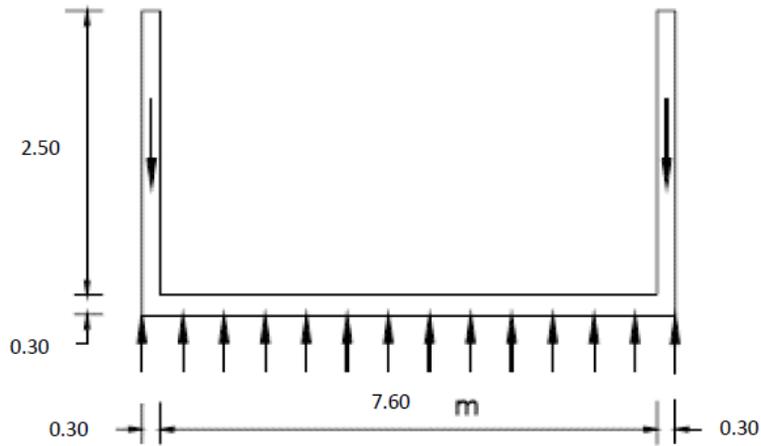
Cara interior: H # 5 @ 30  
V # 4 @ 25

## Diseño de la losa de fondo

Cálculo del peso de los muros del recipiente y su presión sobre el terreno



Elementos mecánicos en la losa de fondo



### Presión de paredes sobre losa

**p** 0.843 Ton/m<sup>2</sup>

### Momentos flexionantes

Se emplea la Tabla IV de la PCA, que resulta útil cuando se considera una losa con una carga uniformemente repartida, como es el caso.

X/A	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
½	0.118	0.029

Para el claro corto: M<sub>x</sub> 0.622 **Ton.m**  
 Para el claro largo: M<sub>y</sub> 0.153 **Ton.m**

### Fuerzas cortantes

Cortante en el claro corto V<sub>x</sub> 1.054 **Ton**  
 Cortante en el claro largo V<sub>y</sub> 0.695 **Ton**

### Las fuerzas de tensión directa sobre la losa de fondo

Sobre el claro corto N 4.500 **Ton**  
 Sobre el claro largo N 4.500 **Ton**

## Diseño por flexión y tensión directa mediante el procedimiento de resistencia última

Punto	Momento horizontal $M_y$ (Ton-m)	Momento horizontal factorado $M_y$ (Ton-m)	d	$K_u$	$\omega$	$A_s$ cm <sup>2</sup> /m	Tensión directa N Ton	Tensión factorada $N_u$ Ton	Refuerzo para $N_u, A_{st}$ cm <sup>2</sup> /m	$A_s$ Total cm <sup>2</sup> /m	Separación cm	Calibre de acero	Descripción de refuerzo
Claro Corto	0.622	1.374	24.525	0.010	0.010	1.988	4.500	12.623	1.670	3.658	19.41	3	# 3 @ 19 cm
Claro Largo	0.153	0.338	24.050	0.003	0.003	0.496	4.500	12.623	1.670	2.166	32.78	3	# 3 @ 33 cm

Por simplicidad y ventaja constructiva el refuerzo a utilizar será el siguiente:

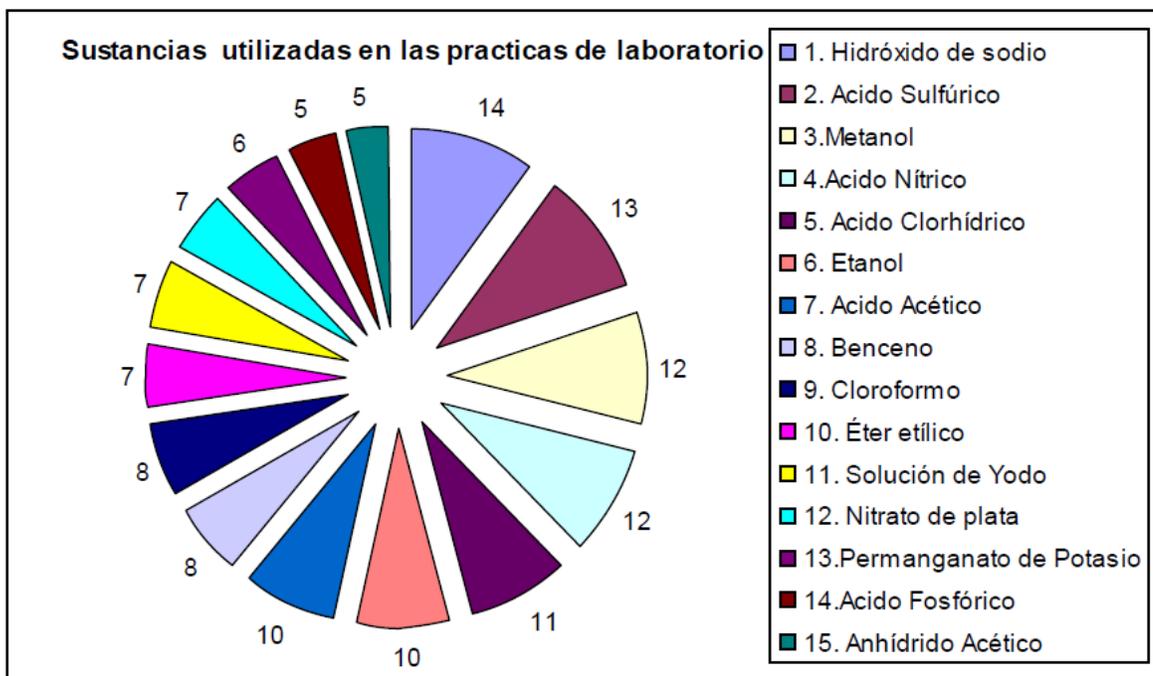
Losa de piso:           Ref. Long    # 3 @ 20  
                                   Ref. Transv   # 3 @ 30

## 4.7. Propuesta de evaluación para tratar agua residual del laboratorio de química

Un estudio realizado en la Universidad de El Salvador titulado “PROPUESTA DE UNA GUIA PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS QUIMICOS GENERADOS EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR” da a conocer los componentes utilizados en los laboratorios de química para las prácticas de los estudiantes, y se clasifican de acuerdo a su grado de peligrosidad o grado de contaminación.

Los componentes indicados en el gráfico 9 corresponden a los compuestos químicos que son utilizados por todas las asignaturas que hacen uso del laboratorio. Estos resultados corresponden a la Universidad de El Salvador sede central; pero estos resultados podrían inferirse para la Facultad Multidisciplinaria Oriental en donde las prácticas de laboratorio son similares y los desechos de laboratorio podrían presentar una proporción muy similar al tipo de químico señalado, aunque en una menor proporción con respecto al caudal generado en la sede.

Gráfica 9 Sustancias utilizadas en las prácticas de laboratorio



Se tiene que el caudal de aguas residuales proyectado para el laboratorio de química para un periodo de diseño de 22 años es de 0.23 Lts/seg, dato que utilizaremos para conocer el pre dimensionamiento del sistema de tratamiento.

El estudio concluye que las 5 sustancias que más se utilizan en las diferentes prácticas de laboratorio son el hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, metanol, ácido nítrico y ácido clorhídrico.

Como puede observarse la mayor proporción se la llevan las sustancias que por su pH se categorizan como ácidos y bases fuertes, en una gran proporción también se utilizan sustancias de origen orgánico, y en menor proporción están las sustancias de origen inorgánico.

Se determina que la mejor solución para tratar las aguas residuales del laboratorio de química es a través de tratamiento de aireación más filtro granular de carbón activo, determinado por la agencias estadounidense de protección ambiental como la mejor tecnología disponible para el tratamiento de químicos orgánicos volátiles. El dimensionamiento de estas propuestas, como anteriormente se ha descrito, dependen de los contaminantes más predominantes presentes en el agua, así como también de la calidad final del efluente requerido. Otros parámetros como la eficiencia del equipo de aireación también deberán ser considerados de acuerdo a la carta de especificaciones del fabricante.

### **Eliminación por aireación**

Esta alternativa de tratamiento consiste en someter el agua a una torre de aireación, la cual inyecta aire al sistema y oxida los componentes orgánicos e inorgánicos del agua, permitiendo su precipitación.

Para el cálculo de esta forma de tratamiento se requiere de conocer las características químicas del agua residual, con el fin de determinar las proporciones de los contaminantes y así poder determinar mediante un análisis de estos cual es el que tiene mayores necesidades de aireación y la concentración a la cual quiere reducirse este contaminante.

Para el diseño de esta propuesta es importante la selección del material de empaque que se distribuirá sobre la altura de la torre de aireación; algunos materiales tendrán una mayor eficiencia en la aireación.

A continuación se presenta una tabla con las dimensiones de diseño típico para una torre de aireación:

Tabla 61 Valores típicos de diseño de torre de aireación

Parameter	Value	Comment
Tower height	1.5 to 9 m	Prefab will be sized to fit on flat bed trailer
Diameter	0.3 to 3.6 m	Restriction to 3.6 m for transport of prefab units
Height:diameter	> 1:1	Without liquid redistribution use > 4:1 for proper liquid distribution
Pressure drop	50 to 100 Pa/m of packing	Economics favor 50 Pa/m
$Q_d/Q$	5:1 to 300:1	
Ratio of diameter to packing size	8:1 to 15:1	> 15:1 preferred

### Filtro de carbón activado

Esta técnica permite retener la mayoría de componentes orgánicos presentes en el agua, así como también algunos ácidos fuertes, entre otros.

Este mecanismo de tratamiento funciona a partir del lecho filtrante, el cual puede estar compuesto de varias clases o tipos de carbón activo; materia prima la cual posee en su interior una cantidad muy elevada de poros que permite la adsorción y absorción de varios compuestos. Otra ventaja que presenta este método es que el lecho de carbón activo puede ser regenerado y puesto de nuevo en servicio con procesos no muy sofisticados

Es importante la selección correcta del material filtrante, ya que de ello depende la economía de nuestro proyecto.

El dimensionamiento del filtro de carbón activado dependerá de las pruebas pilotos que determinen, a partir de ensayos que permitan conocer la cantidad de carbón añadido versus cantidad de compuesto contaminante extraído del agua. Además a esto se le suman las propias necesidades o demanda de caudal de cada caso.

En esta tecnología de tratamiento es crítico el tiempo al que estará sometido el líquido contaminado con el carbón activo, ya que a mayor contacto se le proporcione, mayor será la absorción del contaminante.

La tabla siguiente presenta el rango típico del dimensionamiento de los filtros de carbón activo:

Tabla 62 Valores típicos de diseño para filtros de carbón activado

Parameter	Value	Comment
Carbon mesh size	8 × 30 12 × 40	Downflow beds and upflow packed beds Upflow expanded beds
Hydraulic loading rate		
Single fixed column	60 to 230 m <sup>3</sup> /d · m <sup>2</sup>	
Parallel fixed column	60 to 230 m <sup>3</sup> /d · m <sup>2</sup>	
Series columns	175 to 400 m <sup>3</sup> /d · m <sup>2</sup>	
Moving bed	290 to 600 m <sup>3</sup> /d · m <sup>2</sup>	
EBCT	10 to 60 min	There is a diminishing return on time to exhaustion and CUR at EBCTs greater than 30 min. Pilot tests are essential.
Carbon use rate (CUR)	20 to 100 kg/1,000 m <sup>3</sup>	Lower CURs are associated with longer EBCTs
Column height	1 to 5 m	Prefab will be sized to fit on flat bed trailer.
Diameter	< 3.6 m	Restriction to 3.6 m for transport of prefab units
Height:Diameter	> 1:1	Without liquid redistribution use > 4:1 for proper liquid distribution
Pressure drop	0.2 to 8 kPa/m of carbon	
Backwash rate	600 to 1,200 m <sup>3</sup> /d · m <sup>2</sup>	
Backwash expansion	10 to 50%	

En conclusión se pretende que el agua proveniente del laboratorio de química sea previamente tratada con este sistema antes de ser ingresada al sistema de alcantarillado sanitario ordinario.

## 4.8 Operación y mantenimiento: Reactor UASB

El sistema UASB fue adaptado para el tratamiento de aguas residuales domésticas con la idea que podría ser una solución relativamente sencilla, económica y eficiente para el tratamiento de estas aguas en zonas subtropicales.

El diseño de una planta de tratamiento es la fase en la que se define en gran parte la forma y la facilidad de la operación de esta. Por lo tanto el ingeniero de diseño debe contemplar la función de la planta, la forma en la cual se va a operar y las implicaciones de los detalles del diseño para su operación.

Puntos de importancia son:

- Escoger la ubicación de la planta
- Evaluar los componentes de que la planta debe consistir
- Utilización de máquinas y equipos.
- Criterios de diseño relevantes para operación y mantenimiento.

### 1. ESCOGER LA UBICACION DE LA PLANTA

La planta debe tener acceso para el equipo previsto para la operación y mantenimiento, como por ejemplo volquetes para la llevada de los lodos y grúas.

### 2. EVALUAR LOS COMPONENTES DE QUE LA PLANTA DEBE CONSISTIR :

→ Caja de Separación

Esto puede omitirse en el caso de un colector estrictamente alimentado por aguas negras. La caja puede servir también para ubicar el by-pass que siempre se requiere, para poder aislar la planta para mantenimiento 1.

Si la planta tiene bombas para elevar el afluente, las rejillas sirven para protegerlas. La segunda función de las rejillas es la de retener material que puede obstruir el paso de agua en vertederos y así perjudicar el buen funcionamiento de la planta.

Si el terreno se presta, es preferible diseñar el sistema con alimentación a gravedad sin embargo teniendo en cuenta criterios para la facilidad de operación que se mencionarán más adelante.

Cuando el bombeo es inevitable se prefiere utilizar el montaje de bombas en pozo seco, por su seguridad de operación, facilidad de acceso y la economía de tal montaje en el tiempo.

→ Desarenadores

Desarenadores son indispensables para evitar la acumulación de arena y demás material inerte en el reactor. La eficiencia del desarenador determina la frecuencia de una vaciada completa y tediosa de los reactores UASB. También de la eficiencia del desarenador depende la calidad y el factor de crecimiento del lodo.

Es buena práctica construir un desarenador extra para facilitar la limpieza y mantenimiento de los demás. Los desarenadores solo pueden omitirse en el caso de absoluta ausencia de arena.

→ Reactores UASB

Según el tamaño requerido se debe diseñar uno o más reactores. La razón para construir dos módulos o más es poder continuar operando la planta en capacidad parcial, cuando se está efectuando mantenimiento a un módulo. Además en caso del vaciado de un módulo este puede ser inoculado con lodo del otro módulo para agilizar el re-arranque.

→ Sistema de disposición de lodo en exceso

El sistema más económico es el del secado de lodo en lechos de arena, operados manualmente. De acuerdo con el tamaño de la planta y la cantidad de lodos en exceso se debe implementar cierto grado de mecanización hasta aplicar otros métodos, cuando la disponibilidad de terreno es limitante o reducción de mano de obra sea requerido.

→ Sistema de pos tratamiento

En el caso de requerirse por exigencias de la entidad controladora se debe contemplar un sistema de pos tratamiento que tenga un mismo nivel de tecnificación que el resto de la planta y que esté de acuerdo con el tratamiento adicional requerido.

### 3. UTILIZACION DE MAQUINAS Y EQUIPOS

En lo posible se debe limitar la Utilización de equipos a lo más mínimo posible, para reducir costos de inversión, de mantenimiento y de personal. El equipo se debe escoger de acuerdo con la capacidad de los técnicos en la región. Sin embargo, la simplificación de la planta nunca se puede hacer a costo del control de proceso o facilidad de operación del mismo.

#### 4. CRITERIOS DE DISEÑO RELEVANTES PARA OPERACION Y MANTENIMIENTO

##### *Escogencia de materiales de construcción*

La calidad de los materiales utilizados para la construcción de una planta determina la frecuencia e intensidad del mantenimiento. Por lo tanto se debe evaluar el costo de la inversión contra costos de mantenimiento y reemplazo de materiales.

Materiales que son considerados aceptables son: fibra de vidrio, acero inoxidable, PVC, PE y hierro fundido. Sin embargo se debe estar consciente de los límites de los materiales en cada aplicación.

##### *Espaciamiento de las rejillas y su ubicación*

El espacio entre las barras de la rejilla determina la cantidad y el tipo de material que pasa por ella y la frecuencia de su taponamiento. Se debe evaluar el tamaño del material permisible en la planta para garantizar su funcionamiento hidráulico adecuado, sin perder de vista la operación de la rejilla. La rejilla preferible mente se debe ubicar de tal forma que el acceso sea fácil. De no ser posible, se construye un sistema de doble rejilla que minimice el trabajo donde el acceso es difícil. Normalmente se utilizan dos rejillas:

- Rejilla gruesa de 7 cm. de separación para protección de las bombas colocadas en la entrada del pozo de succión a una profundidad de 4 metros, que remueven solamente el material grueso, como protección para las bombas.
- Rejilla fina de 2 cm. de separación en la salida de los desarenadores para protección del sistema de distribución del afluente en un sitio donde el acceso es fácil, ya que se colmata con mayor frecuencia.

##### *Desarenadores*

Para el diseño se debe tomar en cuenta el tipo de material sedimentable que aporta el colector y la influencia de su entrada al reactor UASB para el funcionamiento de este. La arena gruesa fácilmente se remueve en un desarenador, bajando así la frecuencia de la vaciada del reactor.

El material fino se debe remover en el caso de desear un lodo de mayor actividad.

### Reactor UASB

En el reactor UASB existen diferentes criterios que determinan su operación y mantenimiento:

- La altura de la estructura sobre el terreno determina la facilidad de acceso a las partes que necesitan control, más importante aun cuando el control es diario. Se debe contemplar el acceso de maquinaria para limpieza general del reactor y la seguridad del personal operativo. Por lo tanto se sugiere colocar el borde del reactor a 0.5 - 1 m. sobre el nivel de terreno.

- Altura cajas de distribución (Imagen 39). La altura de las cajas de distribución sobre el nivel de agua en el reactor determina la capacidad de auto-destaponamiento de la tubería y el margen en las pérdidas dentro de la tubería de alimentación antes de alterar el buen funcionamiento de la tubería. Se recomienda un nivel mínimo de 50 cm. entre el fondo de las cajas de distribución y la superficie del agua.

- Campanas abiertas o cerradas (Imagen 40). Si se quiere evitar el máximo la proliferación de malos olores de la planta o, utilizar el biogás, este último se debe recoger.

Una campana cerrada debe estar provista de cajas de acceso para la remoción de la capa flotante que se forma dentro de la campana en el tiempo y para el acceso en el caso de una limpieza general o reparaciones.

Campanas abiertas permiten un acceso fácil al interior del reactor y permiten remover fácilmente la capa flotante.

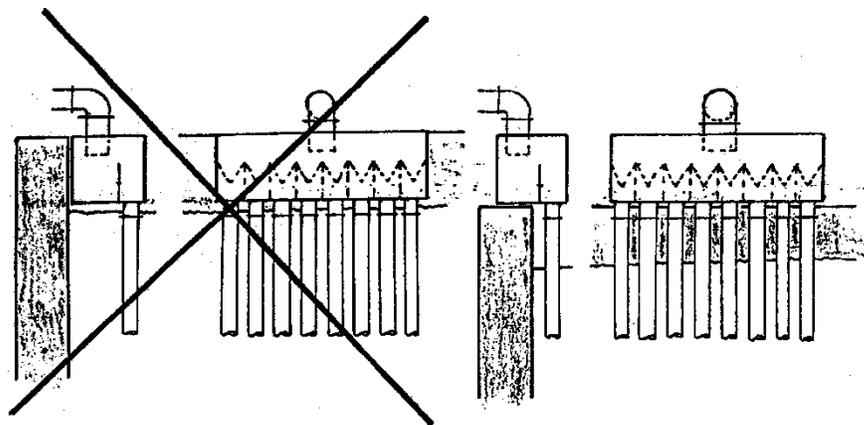


Imagen 39 Colocación de la caja de distribución

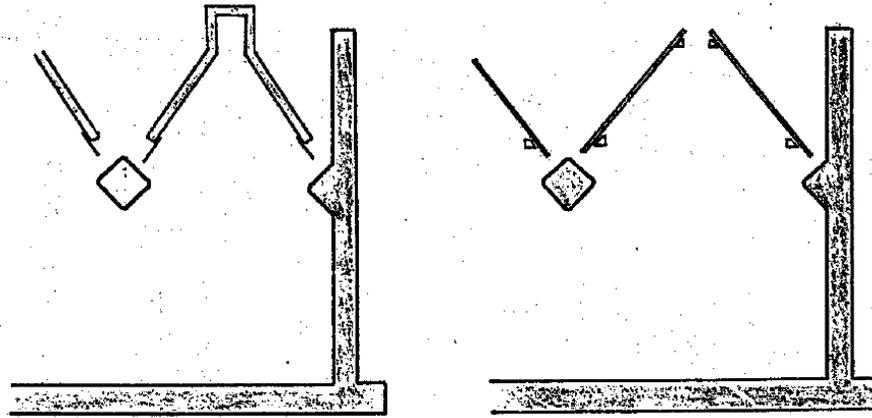


Imagen 40 Ejemplo de campanas abiertas y cerradas

- Colocar baffles frente a las canaletas de efluente. Su colocación protege los vertederos de las canaletas de taponamiento por material flotante, y por lo tanto facilita la operación de la planta. El material retenido por los baffles causará la formación de una capa flotante, creando la necesidad de limpieza periódica. La capa flotante sobre la superficie del reactor funciona como una tapa y ayuda a impedir la cría de insectos en el agua y posiblemente limita la proliferación de olores.

- Puntos de purga de lodo (Imagen 41). Para el monitoreo y la operación de la planta es necesario poder muestrear el lodo del reactor por lo menos a tres diferentes alturas. Así mismo es necesario poder purgar una fracción del lodo para mantener la cantidad de lodo en el reactor constante. Al escoger la forma de muestrear y purgar lodo se debe tener en cuenta cómo se va a vaciar la planta. Si la diferencia en nivel de terreno lo permite o cuando el bombeo de lodo está previsto, se puede considerar colocar un pozo hasta el fondo del reactor, al lado de este, en el cual se colocan las válvulas de muestreo. En el caso de menores diferencias de nivel se puede implementar el llamado sistema de "flautas". Para la facilidad de operación este debe ser diseñado con una cabeza estática suficiente (1 metro) y deben de tener la posibilidad de destaponamiento. Con este sistema de muestreo de lodos la vaciada del reactor puede ser más complicada, ya que se debe trabajar desde el interior del reactor.

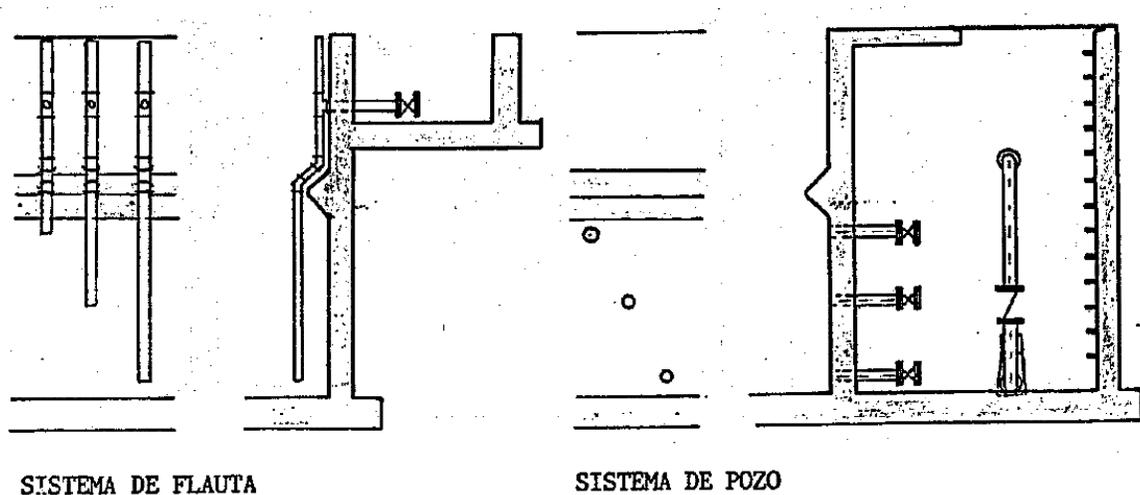


Imagen 41 Dos sistemas para el muestreo y la purga de lodos de un reactor UASB

## OPERACION

Por operación se entienden las acciones que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico de una planta.

La operación de una planta contempla un trabajo rutinario con frecuencia diaria o semanal y trabajo ocasional.

En general el trabajo diario consiste de la limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de la planta, y de los muestreos y observaciones al afluente y efluente necesarios para la evaluación del funcionamiento biológico del reactor.

El trabajo ocasional más que todo se refiere a la evaluación del comportamiento del lodo.

## OPERACION FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

### Rejillas

Las rejillas deben limpiarse cuando su colmatación causa represamiento del agua. La frecuencia de la limpieza depende de diferentes factores como:

- La procedencia de las aguas negras; aguas negras solas o con aportes de agua lluvia.
- Estado del tiempo; la lluvia causa arrastre de material grueso.

- Tamaño de la rejilla. La frecuencia de la limpieza será entonces a juicio del operador, pero por lo menos debe ser diaria.

### Bombas

Diariamente se debe controlar el funcionamiento de las bombas mediante: control del tiempo de funcionamiento; amperaje en la línea para detectar sobrecarga. En tal caso se debe efectuar limpieza de la bomba. Mediante observación visual se debe controlar el caudal de bombeo. En el caso de obstrucciones en la bocatoma de la bomba o en el impulsor, el caudal disminuirá.

### Desarenador

De acuerdo con la cantidad de arena acumulada y los límites estipulados en el diseño hidráulico de la estructura se debe efectuar la limpieza del desarenador. Normalmente la frecuencia será cada 2 a 3 días. En tiempo de lluvia un colector combinado aportará más arena y por lo tanto la frecuencia de limpieza será entonces mayor.

### Estructuras de repartición de caudal

La repartición del caudal se hace normalmente sobre vertederos en V. El caudal del agua que pasa sobre un vertedero "V" es muy sensible a obstrucciones y más aún para la repartición de un caudal, donde la obstrucción de un vertedero resulta en mayor caudal en los demás vertederos. Ya que el buen funcionamiento de un reactor UASB depende de una distribución igual sobre el fondo del reactor, el mantener limpio los vertederos en las cajas de división de caudal y de distribución es de vital importancia. Esta limpieza debe efectuarse por lo menos una vez al día.

### Tubería de alimentación

Estas tuberías llevan el afluente desde las cajas de distribución al fondo del reactor. Los puntos de entrega cubren uniformemente el área del fondo del reactor. En el tiempo se pueden formar obstrucciones en estos tubos, lo que se puede observar en la cabeza estática entre la columna de agua en el tubo y el nivel del agua en el reactor. En el caso de obstrucción completa el vertedero correspondiente al tubo de alimentación estará ahogado.

Diariamente se debe observar el funcionamiento de los tubos de alimentación. Cuando la cabeza estática en un tubo aumenta se debe limpiar el tubo. Esto se realiza con un chorro de agua,

introduciendo una manguera de 3/4" por la tubería, hasta que el tubo funciona normalmente. Bajo ninguna circunstancia se pueden introducir varillas, palos o elementos rígidos.

#### Canaletas de recolección

La recolección uniforme del efluente es de igual importancia que la distribución del afluente sobre el fondo. Para lograr una recolección uniforme es importante que todos los vertederos de las canaletas tengan un flujo libre. Esto puede ser impedido por obstrucción de vertederos o por cambios en el comportamiento hidráulico de las canaletas por acumulación de sólidos en ellos. Para garantizar el buen funcionamiento se deben limpiar los vertederos de las canaletas mínimo diariamente. Cada semana o más frecuente según la situación se deben barrer las canaletas.

#### Sistema de muestreo y purga de lodo

El sistema de flauta tiene una tendencia a taparse después de un tiempo de no utilizarlo, más que todo en el punto más bajo. Esto se debe a la longitud de la tubería y la densidad del lodo, que hacen que se forme un tapón de lodo espeso en el final de la tubería. En este caso se debe limpiar la tubería desde arriba con una manguera, en la misma forma que la tubería de alimentación.

#### Tubería de conducción de lodo

La tubería que conduce el lodo del pozo de purga de lodo hacia los lechos de secado u otro sistema de disposición de lodo debe ser lavada con agua después de cada utilización, ya que esta está propensa a obstruirse debido a la sedimentación de lodo en la tubería.

#### Sedimentador secundario

Las descargas de los lodos se hará una vez a la semana, además se deben retirar diariamente las natas, espumas y sólidos flotantes, con una malla de alambre galvanizado.

Diariamente se debe limpiar el canal perimetral con una escoba plástica, para evitar sedimentos y que se vuelva resbaloso, además revisar las válvulas.

Semanalmente se hará limpieza con agua a presión de la caja de inspección, distribución y de conexión al reactor para evitar obstrucciones.

Vaciar una vez al año el tanque y revisar la estructura de concreto, localizar los puntos de corrosión de los vertederos, placa deflectora y cincho metálico y pintar con anticorrosivo si es necesario, para evitar el deterioro del material.

#### Patios de secado de lodos

Cada purga de lodos se deberá hacer en celdas diferentes cada vez. Extender los lodos sobre los lechos en capas de 20 a 25 centímetros y dejarlos secar.

El lodo debe extraerse del área de secado después de que se haya drenado y secado suficientemente para ser paleable, este lodo seco posee una superficie agrietada y es de color negro o marrón oscuro después de estar expuesto de 10 a 15 días, en condiciones favorables.

El mantenimiento del lecho consistirá en reemplazar la arena perdida durante la remoción del lodo seco, por arena nueva de igual calidad a la señalada en el proyecto, además se deberá prevenir el crecimiento de vegetación de todo tipo.

### **OPERACIÓN PROCESO BIOLÓGICO**

#### Medición de caudal

Para garantizar un funcionamiento apropiado el caudal con la cual la planta está funcionando debe ser de acuerdo con los criterios con los cuales la planta fue diseñada. Como medida de control el aforo del caudal se emplea ocasionalmente, durante diferentes horas del día para determinar el tiempo de retención hidráulico (TRH) promedio, mínimo y pico.

#### Muestreo de afluente y efluente

EL muestreo de afluente y efluente es la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento biológico del reactor UASB.

En el transcurso de un día grandes variaciones en caudal y carga contaminante ocurren en un colector. Por lo tanto un dato confiable del funcionamiento de un reactor solamente puede ser obtenido con base en muestras compuestas y en ningún caso de muestras puntuales. Esto se puede ilustrar por el hecho que el efluente saliendo del reactor en cierto momento corresponde a un afluente que entró en promedio hace un tiempo igual al TRH. Entonces la muestra toma da del

afluente no tiene relación con la muestra del efluente del mismo momento. Este efecto se disminuirá con la toma de muestras compuestas.

La frecuencia de los muestreos de afluente y efluente depende del fin que tenga el muestreo. Estos muestreos se pueden realizar semanalmente o mensualmente, complementados con observaciones visuales.

Parámetros que son de importancia para la evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes:

DQO, DBO, SST, SSV, Temperatura, Alcalinidad, pH, Nitrógeno, Fósforo.

#### Medición de la producción de gas.

Para un control óptimo es aconsejable colocar un medidor de gas en la tubería de gas para tomar una lectura diariamente. En el caso de tener un reactor con campanas abiertas, se puede evaluar la producción de gas a ojo (intensidad de burbujeo), y por experiencia evaluar un comportamiento normal. Una baja considerable en la producción de gas significa en general la presencia de condiciones no favorables al ambiente óptimo para las bacterias metanogénicas, como pH alto o bajo o la presencia de tóxicos en el afluente. Aunque la probabilidad que tal circunstancia se presente con plantas operadas con aguas residuales domésticas es muy baja, la observación de la producción de gas debe ser considerada fundamental en la operación de la planta, ya que es un indicador del funcionamiento del corazón del reactor: el lodo metanogénico.

#### Observación del efluente

La observación visual de la calidad del efluente da una indicación del funcionamiento de la planta. En una situación normal el efluente debe tener un aspecto claro y debe contener muy poco lodo. Una sobrecarga del reactor se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y la presencia de sólidos sin digerir (gris) en el efluente. Esta situación se presenta en el arranque del reactor y debe ser considerado como normal para esta fase. A medida que se desarrolla el lodo, la calidad del efluente mejorará. Cuando se observa los síntomas de sobrecarga en un reactor en pleno funcionamiento, la producción de gas, aforos de caudal y muestreos de afluente y efluente deben aclarar la razón para la sobrecarga.

La presencia de altas concentraciones de lodo en el efluente indica arrastre del lodo. Esta situación se presenta cuando el reactor contiene demasiado lodo, en cuyo caso se debe purgar lodo, o cuando la carga hidráulica es demasiado grande. Ya que ambas situaciones pueden ocurrir solamente durante parte del día, la observación de la calidad del efluente se debe efectuar a diferentes horas del día.

#### Muestreo y purga de lodo

El muestreo de lodo se realiza para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad.

La calidad se expresa como actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad que son pruebas de laboratorio y se observa mediante la forma del lecho de lodo.

Las pruebas de laboratorio aquí mencionadas son fáciles de realizar y deben ser ejecutadas en forma rutinaria mensualmente.

La forma del lecho de lodo en condiciones normales será así: en el fondo el lodo tiene una concentración de alrededor de 100 g/l. En la mitad del comportamiento de digestión la concentración está alrededor de 50 mg/l y justamente debajo de las campanas la concentración es muy baja. En el caso que la concentración de lodo sea parecida a diferentes niveles en el reactor, significa que el lodo es de mala calidad.

La purga de lodo se debe hacer cuando el lodo alcanza el nivel inferior de las campanas. Normalmente la purga se realiza por el punto de muestreo en la mitad del reactor. Se recomienda establecer una rutina semanal o quincenal de tal forma que se mantenga la cantidad de lodo en el reactor más o menos constante. En la práctica la forma de operar los lechos de secado determinará la frecuencia de la purga de lodo.

#### Capa flotante

Cuando las canaletas de efluente están provistas de baffles, siempre se formará una capa flotante en la superficie. Esta capa alcanzará un espesor de unos centímetros y no causará molestias.

Bajo ciertas condiciones, por ejemplo sobrecarga o presencia de altas concentraciones de grasa la capa flotante tiene una tendencia de crecer. En este caso se debe remover la capa periódicamente

para evitar que cause daños en los baffles. Se debe remover la capa del reactor y disponer el material como desechos sólidos. Bajo ninguna circunstancia se debe devolver el material al reactor vía el sistema de distribución o dejarlo arrastrar con el efluente. Lo primero porque la capa flotante consiste de un material que ya fue rechazado por el lodo y lo más probable es que el mismo material forma una nueva capa flotante. Lo segundo porque el material flotante tiene una alta carga orgánica.

## MANTENIMIENTO

Al mantenimiento corresponden los actos dedicados al sostenimiento de las estructuras y equipos de la planta. El mantenimiento de una planta es muy diverso y depende en gran parte de la calidad y cantidad de materiales y equipos que comprenden la planta.

El mantenimiento de los equipos generalmente está prescrito por el fabricante de estos. En cuanto a las estructuras el sentido común proveerá la guía para efectuar el mantenimiento necesario para maximizar el tiempo de servicio de estas.

Tipos de mantenimiento a desarrollar:

**Mantenimiento preventivo:** incluye limpieza, reparaciones, inspecciones y supervisión. Para alcanzar esas metas se deben tomar en cuenta algunas actividades como: visitas técnicas frecuentes, limpieza general en cada reactor, medición de caudal, evacuación de lodos, funcionamiento de tuberías, análisis de laboratorio, conformación y disposición final de lodos en los patios de secado.

**Mantenimiento correctivo:** son operaciones de emergencia como resultado de problemas observados en el funcionamiento como reemplazo de tuberías, fugas o infiltraciones detectadas.

El mantenimiento asociado con el proceso de tratamiento se reduce a remover el material sólido del fondo del reactor, cuando este está obstruyendo las salidas de la tubería de alimentación. Este hecho se observa en un taponamiento frecuente de estos tubos, localizado en la salida de la tubería. El mantenimiento consiste en vaciar el reactor y remover el material sólido. La frecuencia se estima en una vez en 5 a 10 años, dependiendo de la eficiencia del desarenador y el aporte de arena del colector.

Cuando la planta está provista de lechos de secado, el mantenimiento periódico consiste en reemplazar la arena pérdida por arena nueva.

En el caso que el lecho muestre una tendencia a colmatarse, toda la capa de arena debe ser reemplazada.

## 4.9 Arranque del reactor UASB

### 4.8.1. Inoculación del Reactor

#### Procedimientos

La inoculación de un reactor UASB puede ser muy sencilla. Inicialmente no son necesarias condiciones estrictas de anaerobiosis. Si el agua no está en condiciones anaerobias, éstas se alcanzan el primer día, debido al consumo de oxígeno de las bacterias presentes en el inóculo.

En el laboratorio, puede ser útil desoxigenar el agua en la que Vd. quiere colocar el lodo. Esto puede conseguirse burbujeando nitrógeno a través del líquido durante 5 minutos y sellando a continuación el recipiente del reactor. Si Vd. quiere asegurarse de que el líquido está en condiciones anaerobias estrictas, puede añadir pequeñas cantidades de  $\text{Na}_2\text{S}$  (máximo 0.5 mm), para reducir el potencial redox.

#### Selección del inóculo

El inóculo de su reactor debe tener alguna actividad metanogénica. Cuanta mayor sea la actividad metanogénica, más corto será el periodo de arranque. El uso de lodo proveniente de un reactor anaerobio es, por supuesto, altamente recomendable. Sin embargo, no siempre es posible obtener este tipo de lodo. En ese caso, Vd. debe elegir algún tipo de inóculo que contenga gran cantidad de materia orgánica en condiciones anaerobias, tal como estiércol de vaca u otros estiércoles, e incluso lodo doméstico.

El fango de los canales y ríos puede ser adecuado, pero contiene gran cantidad de arena, que puede ser de difícil eliminación una vez dentro del reactor.

Usted debe intentar conseguir un inóculo con una concentración de, como mínimo, 10 kg SSV/m<sup>3</sup>. No debe llenar con este lodo más de un 60% del volumen de su reactor.

#### **4.8.2. El Arranque de un Reactor UASB**

Cuando no se dispone de un inóculo de buena calidad, un reactor UASB debe ser arrancado con exquisito cuidado. Si la velocidad superficial (ascensional) del agua residual es muy elevada, las bacterias pueden ser arrastradas fuera del reactor y el arranque debe volver a iniciarse. Esto es algo que Vd. debe pensar constantemente: No superar nunca los límites del arrastre de las bacterias durante la primera fase del arranque del reactor.

Caso de que Vd. disponga de un buen lodo para inocular el reactor, como lodo granular o lodo municipal digerido con alta actividad metanogénica, Vd. puede comenzar alimentando el reactor con una carga máxima de 3 kg DQO/m<sup>3</sup> d y un tiempo mínimo de retención hidráulico de 24 h; esto es, si la velocidad de carga orgánica es mayor de 3 kg DQO/m<sup>3</sup> -d, aplique una carga inferior, de tal forma que el tiempo hidráulico de retención sea 24 h.

#### **4.8.3. Arranque con un inóculo de Baja Calidad**

La actitud que debe Vd. tener ante el arranque de un reactor UASB es la de tomárselo con calma. En este periodo es fácil conseguir arruinar el reactor, no quiera ir demasiado rápido.

Esto supone que no pueden aplicarse elevadas cargas o altas concentraciones de agua residual. Su principal interés debe ser poner en funcionamiento el reactor, sin que sean muy importantes los primeros resultados. Entonces, cuando ya funcione el reactor, será cuando Vd. deba preocuparse de mejorar la productividad del biogás o la calidad última de su efluente.

El incremento de la carga hasta valores realmente elevados es el último paso que Vd. deberá intentar; esto sólo podrá suceder cuando todo funcione bien y no se hayan encontrado problemas previos.

### **3.1 Primera Fase del arranque: Puesta en marcha del reactor**

El verdadero primer paso del arranque es el más importante de todos. Nuestra intención es hacer crecer las bacterias metanogénicas, pues están en una muy pequeña concentración en el inóculo. Por ello, el primer paso puede ser eventualmente el que más tiempo consuma del proceso de arranque.

Procedamos con el siguiente cuestionario:

**(1) ¿Cuál es la concentración del agua residual?**

Cuando la concentración del agua residual es menor de 5000 mg DQO/L, no hay mayor problema, excepto si el agua residual contiene altas concentraciones de compuestos tóxicos. Si el agua residual tiene una concentración mayor de DQO, es preferible diluirla hasta una concentración de DQO cercana a 5000 mg/L.

Si no hay agua disponible para diluir el agua residual, debe procederse a recircular el efluente. Esto requiere un mayor cuidado que la dilución, ya que una sobrecarga puede conducir a un incremento en la concentración de AGV en el efluente y, consecuentemente, a mayores concentraciones del afluente. El efluente de un reactor sobrecargado no es capaz de diluir la DQO del afluente, ya que él mismo contiene DQO debida a los AGV. Por ello, debe Vd. descartar la recirculación del efluente cuando tenga noticia de la existencia de sobrecarga.

**(2) ¿Cuál es la actividad metanogénica de su inóculo?**

Se puede medir la actividad metanogénica de su lodo utilizado como inóculo en un simple experimento discontinuo (batch), en el que se controla la producción de biogás a partir de AGV.

**(3) ¿Se puede ahora arrancar su reactor aplicando la mitad de la velocidad volumétrica de carga máxima calculada, con un mínimo de 0.2 kg DQO/m<sup>3</sup> d, o un tiempo de retención hidráulico mínimo de 24 horas?**

Por razones de seguridad, no es recomendable arrancar inmediatamente con la carga máxima que Vd. puede aplicar, sino con una carga mínima de 0.2 kg DQO/m<sup>3</sup> que no es nociva para su reactor.

El que el tiempo hidráulico de retención sea como mínimo de 24 h significa que Vd. debe aplicar una menor carga orgánica cuando la concentración del agua residual sea menor de 200 mg DQO /L. Este valor de 24 h ha sido elegido para prevenir el arrastre masivo de bacterias antes de que el reactor esté funcionando en condiciones.

Una vez puesto en marcha el reactor, se comienza un ciclo de tiempos de espera entre incrementos consecutivos de la velocidad volumétrica de carga, hasta que la producción de biogás alcanza ciertos valores y las concentraciones de DQO y AGV caen por debajo de ciertos valores. Este es el

verdadero arranque del reactor, que si se lleva con cuidado, no dura mucho tiempo ya que, dependiendo de la velocidad de carga volumétrica que se pretende conseguir, lleva de uno a tres meses. El procedimiento a seguir se muestra en la siguiente lista de cuestiones.

**(4) Después de los cinco primeros días, ¿Alcanza la producción de biogás el valor de 0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d?**

Si no es así, pare la entrada de afluente y espere a que la producción de biogás aumente durante tres días consecutivos. Entonces prosiga.

Si la producción de biogás es superior a 0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, Vd. puede continuar.

**(5) ¿La concentración de AGV en el efluente está por debajo de 3 meq/L?**

Si no es así, interrumpa la alimentación de reactor y espere durante una semana. Una concentración de 3 meq/L de AGV puede parecer a primera vista un valor extremadamente bajo, pero el arranque procede mejor cuando se mantiene una concentración de AGV muy baja durante todo el periodo.

Si la concentración de AGV está por debajo de 3 meq/L, puede continuar.

Cuando Vd. esté trabajando con un agua residual de color oscuro, algunos compuestos pueden interferir en la determinación de los AGV. Esto indica que puede ser imposible obtener un resultado inferior a 3 meq/l, utilizando el método de valoración. En este caso, Vd. debe determinar la contribución de la acidez de fondo.

**(6) ¿Puede Vd. continuar la alimentación sin que se produzcan grandes incrementos en la concentración de AGV?**

Usted debe comprobar la concentración de AGV en el efluente cada dos días. Cuando esta concentración exceda de 8 meq/L, Vd. debe interrumpir la alimentación y esperar de nuevo a que el valor disminuya por debajo de 3 meq/L. Este procedimiento debe repetirse hasta que sea posible continuar alimentando el reactor a la velocidad volumétrica de carga o al tiempo hidráulico de retención mencionado en el punto 3.

Antes o después, Vd. conseguirá alcanzar esa carga, ya que no es tan elevada; y la velocidad superficial del líquido no es tan elevada como para producir el arrastre de las bacterias. Aún y todo, puede suponer más de un mes de trabajo el que su reactor consiga alcanzar esta carga. ¡No se

preocupe en demasía! Recuerde que este es el primer paso, y que el primer paso es el más difícil de dar.

Una vez que es posible mantener una velocidad de carga de 0.2 Kg DQO/m<sup>3</sup> d continuamente, la primera fase del arranque ha terminado. Ahora es el momento para incrementar la velocidad de carga a niveles superiores o, en caso de que Vd. haya tenido que diluir el agua residual, reducir el factor de dilución.

#### **4.0 Segunda Fase del Arranque: Aumento de la Velocidad de Carga**

##### **(7) ¿Tuvo que diluir el agua residual?**

En este caso, proceda disminuyendo el factor de dilución en un 30% y mantenga constante la velocidad de carga hidráulica. La velocidad volumétrica de carga se aumenta así en un 30%.

Si Vd. no diluyó el agua residual, incremente la velocidad volumétrica de carga.

##### **(8) Después de esperar tres días, ¿disminuye la concentración de AGV por debajo de 3 meq/L?**

Si la concentración de AGV en el efluente es baja, Vd. puede incrementar la velocidad volumétrica de carga, bien disminuyendo el factor de dilución, bien aumentando el caudal de afluente.

Cuando la concentración de AGV en el efluente sobrepase el valor de 8 meq/l, permanezca tranquilo, pero mantenga un rígido control del pH: el reactor está en peligro de acidificarse. Después de un aumento en la velocidad de carga incluso la producción de gas puede disminuir ligeramente.

Este efecto es debido al arrastre de partículas de lodo muy pequeñas que contienen bacterias metanogénicas. No se preocupe, el crecimiento de las bacterias metanogénicas continúa en las partículas mayores. Vd. no debe disminuir la velocidad de carga. En pocos días volverá a aumentar de nuevo la producción de biogás y a disminuir la concentración de AGV en el efluente.

##### **(9) ¿La concentración de AGV supera los 15 meq/L?**

Si la concentración de AGV supera los 15 meq/L, asegúrese de que el pH del efluente no caiga por debajo de 6.5. Si es así, añada NaOH, Ca (OH)<sub>2</sub> o NaHCO<sub>3</sub>, y vuelva un paso atrás en el

procedimiento, reduciendo la carga en un 30 %. Espere entonces a que todo vuelva a la normalidad, como en el punto 7 y vuelva a incrementar la velocidad volumétrica de carga pero, esta vez, en saltos de 20% únicamente.

Básicamente el procedimiento descrito en los puntos 6, 7 y 8 puede ser repetido hasta que se alcance una velocidad volumétrica de carga cercana a 2 kg DQO/m<sup>3</sup> d. Esto supone que Vd. debe repetir la misma rutina entre 8 y 10 veces. La producción de gas irá aumentando progresivamente y Vd. podrá comprobar que un "paso" (un aumento) puede durar dos semanas y otros, únicamente algunos días.

**(10) ¿Ha alcanzado una velocidad de carga de 2 kg DQO/m<sup>3</sup> d?**

Cuando Vd. alcance esta velocidad de carga, es recomendable disminuir el porcentaje de incremento a un 20 % y seguir el mismo procedimiento descrito. En algún tiempo Vd. podrá alcanzar la velocidad volumétrica de carga deseada.

**(11) ¿La velocidad volumétrica de carga deseada es superior a 5 kg DQO/m<sup>3</sup> d?**

Cuando la velocidad volumétrica de carga deseada excede los 5 kg DQO/m<sup>3</sup> d, Vd. debe controlar la cantidad y calidad del lodo presente en su reactor. En este caso, es recomendable medir la actividad del lodo cada tres semanas. Además, Vd. debe controlar periódicamente la cantidad de lodo en el reactor, realizando perfiles del lodo a lo alto del reactor.

**(12) ¿Está interesado en cultivar lodo granular?**

En el caso en que Vd. esté particularmente interesado en el cultivo de lodo granular, (por ejemplo, cuando Vd. tiene agua residual conteniendo elevadas concentraciones de AGV o azúcares), éste es el momento de comprobar su lodo, de acuerdo con las indicaciones descritas en la Tabla 18.

#### 4.8.4. Algunas consideraciones importantes con respecto al arranque de reactores UASB

El arranque de un reactor UASB es motivo de preocupación y aún de frustración para muchas personas que trabajan con estos sistemas. El arranque usualmente toma un largo período de tiempo, debido principalmente a la baja tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas, esto exige una gran paciencia del operador del reactor anaeróbico.

Entre los factores que pueden influir en el periodo de tiempo requerido para el arranque se pueden mencionar cuatro de mayor importancia:

1. La calidad de la semilla de lodo.
2. El contacto del agua residual con el lodo.
3. Una posible inhibición, o escasez de nutrientes esenciales, lo cual puede reducir la tasa de crecimiento de las bacterias formado ras de metano.
4. La tasa a la cual ocurre Ta pérdida del lodo (biomasa) del reactivo.

La Tabla 63 da una idea del número de días necesarios para el arranque hasta una carga de 15 kg DQ0/m<sup>3</sup>-día, bajo condiciones de no inhibición y de 50% de inhibición, para tres casos diferentes. Estas son:

- Ideal (no hay pérdida de biomasa en el reactor y hay 100% de contacto).
- 50% de perdida de biomasa, entendida como una reducción del 50% en la tasa de crecimiento y 100% de contacto.
- 50% de pérdida de biomasa y 50% de contacto.

Estos casos son aplicados a cuatro tipos diferentes de lodo (lodo de rio, estiércol de vaca, lodos de aguas residuales y lodos granulares) con actividades metanogénicas específicas en un rango de 0.005 a 1.000 kg DQ0/ kg SSV-día. Los valores de la tasa de crecimiento son relativamente altos; en la mayoría de mediciones realizadas en nuestro laboratorio, estas son bajas. Como se puede ver en la tabla, bajo condiciones no óptimas el tiempo de arranque será muy largo.

El efecto de la calidad de la semilla de lodo es muy claro. Esto es de especial importancia en Colombia, donde aún no se dispone de un lodo de buena calidad. En el momento el estiércol de vaca y lodos de fondo de lagunas son los más utilizados como semilla de lodo y como se puede ver en la tabla esto conlleva a largos períodos de arranque. Por esto es importante enfatizar que con estos tipos de semillas el arranque requiere paciencia; obtener la cantidad deseada de biomasa metanogénica que pueda recibir altas cargas toma un período de tiempo largo. Por ejemplo en unos pocos meses durante la cosecha de café, un reactor no se puede arrancar completamente.

El contacto entre el agua residual y el lodo depende de la mezcla en el reactor y del diseño del sistema de distribución de la alimentación.

En Holanda muchos reactores están equipados con bombas y pequeñas tuberías de alimentación lo cual produce altas velocidades de entrada y en consecuencia buena mezcla. (Sin embargo en Colombia esta situación no se presenta). Esto implica que se debe tener alrededor de un punto de entrada por cada metro cuadrado. En muchos diseños esto no se cumple y como resultados se pueden esperar la presencia de cortos circuitos y no todo el lodo estará en contacto con el agua residual.

Una reducción de la tasa de crecimiento por inhibición o por escasez en nutrientes es muy probable en aguas residuales industriales. En algunas ocasiones se pueden tomar medidas contra la inhibición, sin embargo muchas veces esto no es posible porque se desconoce por ejemplo el factor inhibitorio. Bajo estas condiciones el arranque puede ser considerablemente largo. Es muy importante conocer, tanto como sea posible, la composición promedio del agua residual con respecto a:

- La presencia de compuestos tóxicos.
- La cantidad de nutrientes.
- La disponibilidad de trazas de elementos como Fe, Co, Ni.

En relación a lo anterior, debe ser claro para el personal responsable de un reactor anaeróbico que este puede ser dañado muy fácilmente. No se deben arrojar compuestos o soluciones muy tóxicos al sistema de alcantarillado.

En Holanda en muchos casos un arranque apropiado fue imposible, porque no hubo suficiente conocimiento, al nivel de producción, de los efectos que produce una descarga de tóxicos en el afluente del reactor.

Con respecto a la pérdida de biomasa, es importante anotar que el reactor debe operar bajo condiciones hidráulicas estables; Si el flujo de agua residual tiene una alta variación durante el día, es necesaria la construcción de un tanque de igualación.

Una operación óptima se obtiene cuando el reactor se alimenta las 24 horas del día, durante los 7 días de la semana. Esto no siempre es posible pero debe entenderse entonces que puede presentarse un retraso en el arranque debido a una pérdida excesiva de biomasa.

#### **4.8.5. Guías Generales para la Aplicación de Recirculación del Efluente**

1. Si la DQO del agua residual no supera los 5 kg/m<sup>3</sup>, no es necesario recircular el efluente.
2. Cuando la DQO del agua residual esté comprendida entre 5 y 20 kg DQO/m<sup>3</sup>, Vd. debe arrancar con un factor de recirculación del efluente tal que diluya el agua residual a un valor efectivo de DQO del afluente no superior a 5 kg DQO/m<sup>3</sup>.

Con aguas residuales más concentradas de 20 kg DQO/m<sup>3</sup>, es recomendable realizar el arranque con agua residual diluida. Estas aguas tan concentradas, a menudo contienen grandes concentraciones de sales que pueden ocasionar bajas velocidades de incremento de la producción de metano. Por ello, se obtiene un mayor crecimiento de las bacterias metanogénicas cuando el agua residual se diluye. En el caso en que no sea posible diluir a 5 kg DQO/m<sup>3</sup>, debe diluirse lo más posible, sin que se lleguen a superar valores de 20 kg DQO/m<sup>3</sup>. En este último caso debe aplicarse simultáneamente dilución y recirculación del efluente.

3. En aguas residuales de color oscuro, algunos compuestos pueden contribuir a formar un fondo (background). Si la determinación de AGV se hace siguiendo el método de valoración, Vd. debe determinar también la acidez del fondo para corregir el valor de la acidez de AGV medido y obtener el valor real de la acidez debida a los AGV.

4. Tenga en cuenta que un incremento en la velocidad de carga puede conducir a un incremento temporal de la concentración de la DQO del efluente, por lo que, si se aplica recirculación, esto puede incrementar la velocidad de carga real aplicada al reactor.

Con:

f = Factor de recirculación

(Caudal recirculado / caudal alimentado)

e = concentración del efluente

a = concentración del afluente la concentración real que entra al reactor es:

$$(a + f * e) / (1 + f)$$

Por ejemplo: Si Vd. utiliza un factor de recirculación de 3 y lo reduce a 2 y la concentración del efluente aumenta temporalmente del 5 al 15% del valor de la concentración del afluente, el aumento efectivo de la concentración que entra al reactor es de un 51%.

#### **4.8.6. Guías Generales para el Arranque a Partir de Velocidades Volumétricas de Carga de 2 kg DQO/m<sup>3</sup>.d con el Fin de Promover la Formación de Lodo Granular**

1. Aumente la carga tan pronto como la concentración de AGV en el efluente baje de 3 meq/L.
2. Permita el arrastre de biomasa finamente dispersa fuera del reactor. No vuelva a reintroducir en el reactor el lodo previamente arrastrado fuera.
3. Mantenga las condiciones de operación óptimas para el crecimiento bacteriano. Esto es, mantenga el pH en el intervalo 7.0-7.8, la temperatura entre 30 y 38°C (termofilico: 53-58°C), y controle el suministro de macronutrientes y elementos traza necesarios.
4. Cuando aumente la velocidad volumétrica de carga, evite aumentos superiores al 50% del valor previo. De esta forma, se evitan en lo posible las sobrecargas.
5. Utilice la actividad metanogénica específica (y la concentración de lodo en el reactor) como una referencia para evaluar la carga a aplicar. No supere la capacidad volumétrica metanogénica del reactor. En el caso en que la concentración de AGV en el efluente supere los 8 meq/L, reduzca la carga aplicada hasta que sea evidente que esta concentración disminuye por debajo de dicho valor. No aumente de nuevo la velocidad de carga hasta que no se cumplan las condiciones antes indicadas.

Tabla 63 Tiempo mínimo requerido en alcanzar 15 g DQO L-1 D-1 (CONCENTRACIÓN INICIAL 10g SSV L-1)

Lodo Actividad	Condiciones	30* c			20' C	
		días				
Tipo g DQO g <sup>-1</sup> SSV d <sup>-1</sup>	no Inhib.	50% inhib.	no inhib.	50% inhib.		
Fango del Rio 0.005	Ideal	58	129	129	286	
	50X Arrastre	115	259	259	573	
	50% Arrastre y 50X Contacto	143	315	315	685	
Estiércol de Vaca 0.020	Ideal	44	101	101	230	
	50% Arrastre	88	202	202	461	
	50% Arrastre y 50X Contacto	116	258	258	573	
Doméstico Digerido 0.100	Ideal	27	69	69	166	
	50% Arrastre	55	138	138	331	
	50% Arrastre y 50% Contacto	83	194	194	443	
Granular 1.000	Ideal	4	22	22	72	
	1 1	50% Arrastre	8	44	44	145
	"V	50% Arrastre y 50% Contacto	36	100	100	257

CAPITULO 5

ENSAYOS DE VIABILIDAD EN  
DISCONTINUO PARA CODIGESTIÓN DE  
ESTIÉRCOL BOVINO CON AGUAS  
RESIDUALES.

## 5.1 Codigestión de residuos orgánicos.

El término codigestión se emplea para expresar la digestión anaerobia conjunta de dos o más substratos de diferente origen. La principal ventaja radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los substratos por separado.

La digestión anaerobia de mezclas de diferentes tipos de residuos ha dado buenos resultados a escala laboratorio y en algunos casos a escala industrial, tal y como se recoge en la literatura internacional. Se han encontrado buenos resultados para mezclas de varios tipos de residuos de industrias cárnicas y mataderos, ricos en grasas, consiguiendo altas producciones de metano, del orden de 47 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de residuo introducido (Brinkman, 1999). También ha dado buenos resultados la codigestión de lodos de depuradora y la fracción orgánica de residuos municipales, FORM (Di Palma et al., 1999; Hamzawi et al., 1998) y la mezcla de residuos sólidos urbanos, principalmente a base de restos de vegetales, y aguas residuales urbanas (Edelmann et al., 1999), así como de lodos de depuradora y residuos de frutas y vegetales (Dinsdale et al., 2000).

## 5.2 Metodología a utilizar para realizar estudios de viabilidad.

Tradicionalmente los ensayos de digestión anaerobia han seguido siempre un esquema que pasa en primer lugar por test sencillos de biodegradabilidad y/o toxicidad en discontinuo, posteriormente, ensayos de biodegradabilidad en continuo y/o ensayos en continuo a escala laboratorio, y finalmente ensayos en planta piloto (Lema, 1995).

Los ensayos en discontinuo, que se plantean en la bibliografía, son ensayos de biodegradabilidad, para medir el potencial de degradación anaerobia del substrato, o ensayos de toxicidad, que consiste en mantener la concentración de tóxico en el medio, y son útiles para conocer el potencial de producción de metano o la toxicidad de un determinado componente del substrato (Field et al., 1988), pero no proporcionan información acerca del comportamiento en condiciones reales del substrato, con la posible presencia de tóxicos no conocidos, o con una concentración relativamente baja de microorganismos.

Para estudiar la viabilidad de las mezclas de residuos, diversos autores han utilizado otro tipo de experimentos en discontinuo, similares a los ensayos de biodegradabilidad y toxicidad empleados en la bibliografía, pero con menor concentración inicial de inóculo, de forma que no se enmascaran los posibles efectos inhibidores. Así se consigue, con un único ensayo, una primera aproximación a la viabilidad del proceso, y realizando determinaciones analíticas de ácidos grasos volátiles a lo largo del experimento, se puede llegar a establecer la posible causa de la existencia del problema, observado mediante la producción de gas, pudiendo determinar cuál es la etapa limitante del proceso.

Para validar los resultados obtenidos en discontinuo, así como para definir una serie de parámetros adicionales de gran importancia, como la velocidad de carga orgánica, velocidad en que se debe introducir el cambio de substrato en el reactor, es necesario realizar ensayos en continuo a escala piloto laboratorio, metodología que está fuera de los alcances de la presente investigación.

Antes del paso a escala industrial, será conveniente realizar una validación de los resultados obtenidos a escala piloto industrial, que presenta la ventaja de poder trabajar con los mismos residuos que la planta industrial, con los mismos problemas de variabilidad, de falta de homogeneización, etc. La planta piloto industrial permite, además, ensayar diferentes parámetros operacionales que pueden tener gran importancia en el reactor real, como parámetros de diseño y forma del reactor, eficiencia del sistema de agitación, necesidades energéticas, etc. (Lema et al., 1995).

Los ensayos a escala laboratorio en discontinuo que se presentan a continuación están encaminados a buscar la proporción de mezcla con mayor rendimiento tanto en producción de biogás como degradación de materia introducida. Los residuos ganaderos en los que se centra este trabajo (estiércol de vaca y cerdo) se mezclan con aguas residuales de tipo doméstico para determinar las mezclas que dan mejores resultados luego, se utiliza la misma proporción de mezcla pero esta vez con agua potable para efectos de comparación.

## 5.3 Objetivos particulares y metodología general de los ensayos en discontinuo.

El objetivo general de esta serie de experimentos fue determinar el rendimiento de los sustratos seleccionados y conocer el potencial de producción de biogás de los mismos. Para la consecución de este objetivo general se plantó la siguiente metodología:

Se cuantifico el estiércol vacuno y porcino generado en el campo experimental del Departamento de Agronomía y se calculó el volumen de aguas residuales de tipo domestico generadas por la Universidad, con ello se estableció las proporciones de mezclas a utilizar en los ensayos de biodegradabilidad para cada uno de los reactores. Inicialmente las proporciones irían acorde a la cantidad generada de cada uno de los residuos, pero, como se muestra más adelante, la cantidad de estiércol vacuno y porcino calculada no fue muy significativa comparado con el volumen total (calculado para el año horizonte) de agua residual generada. En base a lo anterior se eligieron proporciones de mezcla de sustratos basadas en la capacidad (en volumen) de los reactores.

Luego de la cuantificación y selección de las proporciones de mezcla se determinó la cantidad de Sólidos Volátiles alimentados a cada reactor mediante valores teóricos determinados en otras investigaciones. Se realizó el montaje del experimento y diariamente se midió el volumen de biogás generado por cada uno de los reactores.

## 5.4 Materiales y métodos

### 5.4.1 Diseño experimental y procedimientos

El desarrollo experimental consistió en la instalación de los sistemas requeridos para la determinación de la biodegradabilidad anaeróbica de la mezcla homogeneizada de residuos cítricos y agua residual y estiércol bovino, como una adaptación de las técnicas propuestas por diversos autores.

El modelo a escala consta de 5 botellas de vidrio ámbar de 4.5 Lt de capacidad a las cuales se le agregaron las mezclas de sustratos, cada una de ellas están conectadas por la parte superior

mediante mangueras de plástico a botellas de 2.5 Lt (gasómetros) graduadas y llenas de agua que a su vez están comunicadas a recipientes que poseen una columna de agua similar y que se encuentra a presión atmosférica; para los reactores en codigestión con agua potable se utilizaron 4 botellas de vidrio ámbar de 4.5 Lt cada una con sus respectivos gasómetros. El gas generado por los reactores desplaza un volumen similar en las botellas graduadas de forma que la medición simultánea de volúmenes y tiempos en las botellas graduadas permite el cálculo de la producción de biogás en el tiempo de estudio. Un volumen conocido del biogás almacenado en las botellas graduadas es extraído en la etapa media del experimento para determinar el porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>) que posee el biogás generado, con ello se determina el potencial energético del mismo. El procedimiento utilizado es el que sigue:

El volumen conocido de biogás (V<sub>1</sub>) se inyecta en un recipiente sellado el cual posee una solución de 20 mL, conteniendo 20g/L de KOH o Na OH. Este bote hermético debe ser agitado durante 3 ó 4 minutos de tal forma que todo el dióxido de carbono sea absorbido por la solución presente en el recipiente. El volumen de gas que queda en el recipiente (V<sub>2</sub>) puede ser determinado utilizando una jeringa y midiéndola directamente. [University of Central America, Marquette University – Biomechanical Methane Potential (BMP) and Anaerobic Toxicity Assay (ASA) – p.1 a p.3]

De aquí que la concentración porcentual de metano venga dada por la siguiente ecuación:

$$\%CH_4 = \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}} \times 100$$

De ahí el porcentaje de CO<sub>2</sub> y otros contenidos en la muestra se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\%CO_2 \text{ y otros} = 100 - \%CH_4$$

Los rangos normales de gas metano dentro de una muestra de biogás deben rondar entre el 30% al 60% de dióxido de carbono, 50% y el 70% de CH<sub>4</sub> y el 3% de otros gases [ICAITI, 1983 – “Manual de Operación y Construcción de una planta de Biogás” - p.5]

El montaje del experimento así como la descripción de sus componentes se muestra en la siguiente figura:



Imagen 42 Montaje del primer ensayo



Imagen 43 Montaje del segundo ensayo

# REACTOR ANAEROBIO

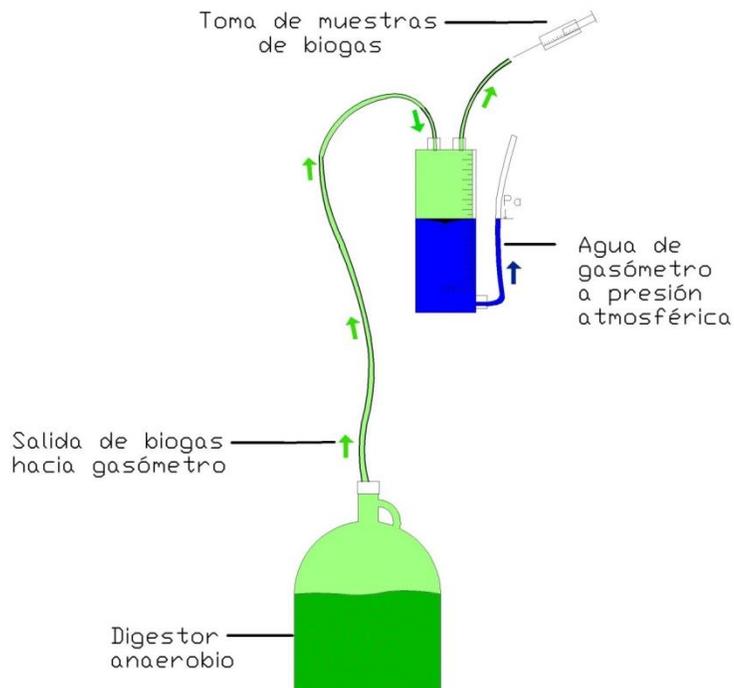


Imagen 44 Descripción de los componentes de los ensayos de viabilidad

## 5.4.2 Diseño de los ensayos

Los materiales utilizados como sustratos han sido estiércol de vaca y aguas residuales de tipo doméstico cuyas en las proporciones indicadas por la tabla 65.

Se realizaron 9 ensayos a escala laboratorio que recibirán en adelante las denominaciones reflejadas en la tabla 65, que recogen las características fundamentales de cada uno. La duración de la fase anaerobia duro aproximadamente 19 días para los primeros 5 ensayos y 23 para los últimos 4.

Las proporciones Estiércol: Agua Residual se escogieron inicialmente en base a la cantidad total generada de cada uno de los residuos pero, como se demuestra a continuación, el volumen de estiércol generado, tanto de vaca como de cerdo, es demasiado bajo comparado con el volumen de agua residual generado y calculado tanto para el año horizonte como para la fecha actual. Por

consiguiente, se escogieron proporciones Estiércol: Agua Residual (Es:AR) de 1:9, 2:8, 3:7, 4:6 y 5:5 que indican que del volumen aprovechable total de cada reactor 10% pertenece a volumen de estiércol y 90% a volumen de agua residual para el caso de la proporción 1:9, la proporción 2:8 indica 20% de volumen de estiércol y 80% de volumen de agua residual y así sucesivamente. En los cálculos de las proporciones no se incluye el estiércol de cerdo debido se genera en pocas cantidades a tal grado de que el aporte en cantidad de sólidos volátiles a cada reactor no es significativo.

En la siguiente tabla resumen (tabla 65) se muestra la cantidad total diaria de residuos generados tanto en el campo experimental de agronomía como en el resto de la universidad (para el caso de las aguas residuales).

Tabla 64 Resumen: Cantidad de estiércol vacuno generado en el campo experimental de agronomía

<b>Cuantificación de estiércol. Ganado vacuno.</b>					
<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (Lt)</b>	<b># de ejemplares</b>	<b>Cond. estabulado</b>
Día 1	11:00 am – 1:20 pm	117.5	103.95	36 vacas lecheras	Corral de ordeño
Día 2	5:00 pm* – 5:00 am	124	103.95	22 terneras	Corral
Día 3	5:30 pm* - 4:00 am	286.5	255.15	36 vacas lecheras	Corral de ordeño
	Total	528	463.05		

El cálculo del caudal de aguas residuales se resume en la sección 3.1.2 de la presente investigación.

Tabla 65 Proporciones de mezcla utilizadas para los diferentes ensayos

<b>Porcentaje de cada uno de los componentes</b>			
<b>Experimento</b>	<b>Estiércol (kg)</b>	<b>AR (Lt)</b>	<b>AP (Lt)</b>
<b>Codigestión Estiércol + Agua Residual</b>			
R1-10%	0.3811	3.24	0
R2-20%	0.7621	2.88	0
R3-30%	1.1432	2.52	0
R4-40%	1.5242	2.16	0
R5-10%	0.3811	3.24	0
<b>Codigestión Estiércol + Agua Potable</b>			
R1 Estr+AP	1.1432	0	2.52
R2 Estr+AP	1.1432	0	2.52
R3 Estr+AP	1.1432	0	2.52
R4 Estr+AP	1.1432	0	2.52

### 5.4.3 Codigestión de Estiércol y agua potable.

A terminación de los 6 primeros ensayos se escogió la proporción de mezcla que generó mayor cantidad de biogás durante el periodo de estudio y se ensayaron nuevamente cuatro reactores más, cada uno con capacidad de 4.5 Lt en los cuales el estiércol no se mezcló con agua residual sino con agua potable sin clorar (para evitar efectos de inhibición por cloro) la cual fue obtenida de un nacimiento de agua ubicado en el cantón El Tecomatal, municipio de San Miguel, esto para determinar el efecto del agua residual en los ensayos.

### 5.4.4 Métodos analíticos

Se determinó el porcentaje de sólidos totales y sólidos volátiles por medio de la tabla 66.

Tabla 66 Valores de porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles [Olaya 2006]

Material (residuos secos)	% Humedad (H)	% Sólidos totales (%ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles (%SV)	C/N
Gallinaza	65.0	35.0	6.3	94.5	65.0	15.0
Bovinaza	86.0	14.0	1.7	30.8	80.0	18.0
Porquinaza	87.0	13.0	3.8	76.0	85.0	20.0
Basura de mercado	1.0	99.0	3.0	54.7	77.0	18.0
Papel periódico	7.0	93.0	0.1	5.0	97.1	813.0
Desechos agrícolas	7.2	37.0	1.2	90.0	63.0	75.0
Humanaza	73.0	27.0	6.0	50.0	92.0	8.0
Orina	94.0	6.0	18.0	14.0	75.0	0.8

### 5.4.5 Rendimiento biológico de los ensayos

#### Parámetros considerados

Como Mata-Álvarez (2002) explica, los indicadores más útiles para la evaluación de del rendimiento biológico son la carga orgánica (kg de mezcla introducida) y la formación específica de biogás. Se usan típicamente en procesos continuos, pero son aplicables también en este caso. Los parámetros de rendimiento se calculan a partir de las mediciones del biogás, y son:

- Producción de biogás por unidad de materia (gramos) introducida

- Producción de biogás por unidad de sólido volátil (SV) alimentado
- Producción de biogás por unidad de volumen de reactor utilizado
- Producción media de biogás por unidad de volumen de reactor utilizado y día
- Riqueza del biogás en CH<sub>4</sub> durante la etapa estable de la producción

Se asume aquí que la materia orgánica degradable es igual a la cantidad de sólidos volátiles (SV) que contiene el sustrato. Los valores de riqueza media del biogás en CH<sub>4</sub> resultan de dividir la producción acumulada de CH<sub>4</sub> entre la producción acumulada de biogás. Se define arbitrariamente la etapa estable de la digestión como aquella en la que la tasa de producción de metano es superior a la tasa media de producción de metano de la digestión. Este indicador se utiliza para excluir del cálculo de la composición del biogás el producido durante los primeros días de la digestión.

### **Volumen producido de biogás**

La producción acumulada de biogás se calculó a partir de las lecturas diarias en los gasómetros respectivos. La producción de biogás se expresó en ml de biogás a presión atmosférica. En la tabla 67 se muestra el volumen de biogás producido en función del tiempo para todos los ensayos.

Tabla 67 Producción acumulada de biogás para codigestión Estiércol + Agua Residual

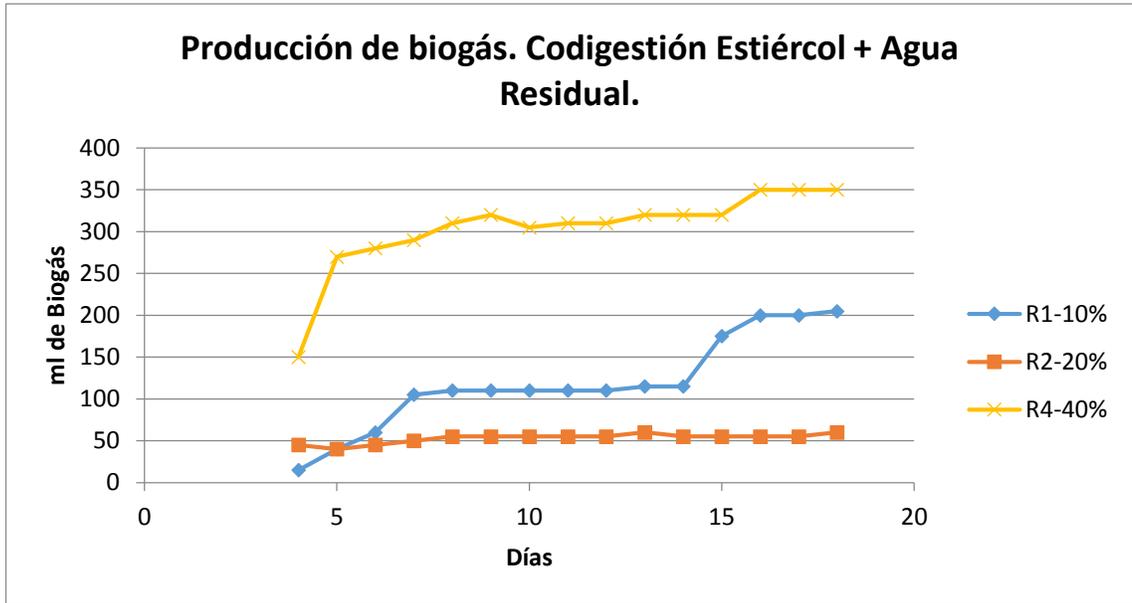
Producción acumulada de biogás (ml/día)					
# de días	R1-10%	R2-20%	R3-30%	R4-40%	R5-10%
4	15	45	175	150	5
5	40	40	285	270	40
6	60	45	400	280	40
7	105	50	550	290	40
8	110	55	675	310	40
9	110	55	765	320	40
10	110	55	900	305	40
11	110	55	1050	310	40
12	110	55	1200	310	40
13	115	60	1400	320	40
14	115	55	1650	320	40
15	175	55	2000	320	40
16	200	55	2100	350	40
17	200	55	2125	350	40
18	205	60	2125	350	40

 Etapa estable de producción

 Ensayos descartados

Se descartaron los ensayos R4-40% y R5-10% ambos por no reflejar un aumento en la producción de biogás que conllevara a cálculos significativos.

Gráfica 10 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Residual (Reactores R1, R2 y R4)



Gráfica 11 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Residual (Reactor R3)

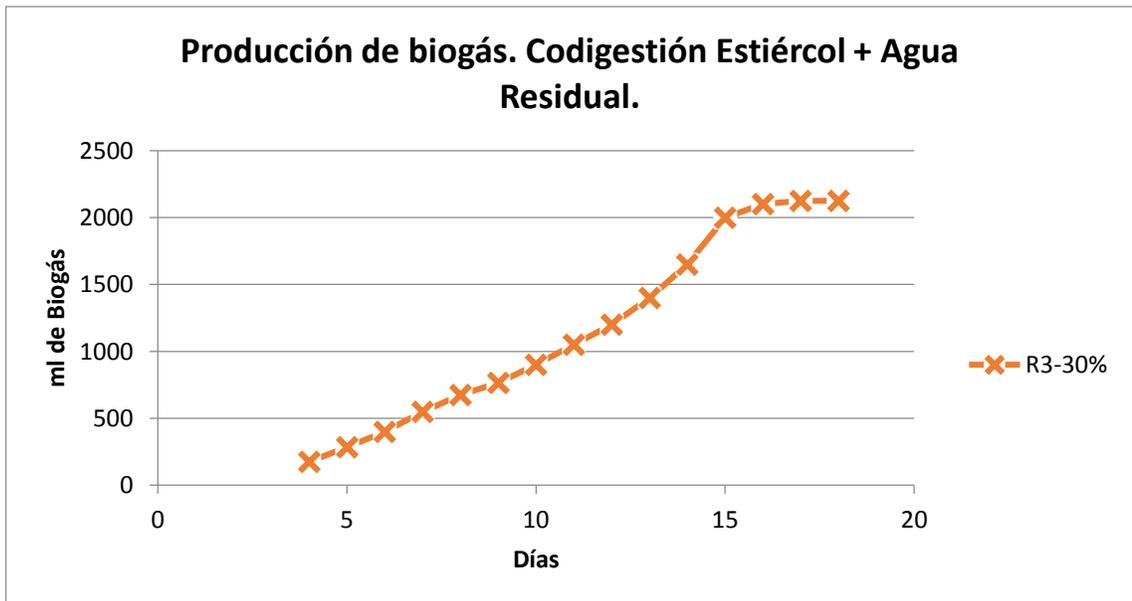


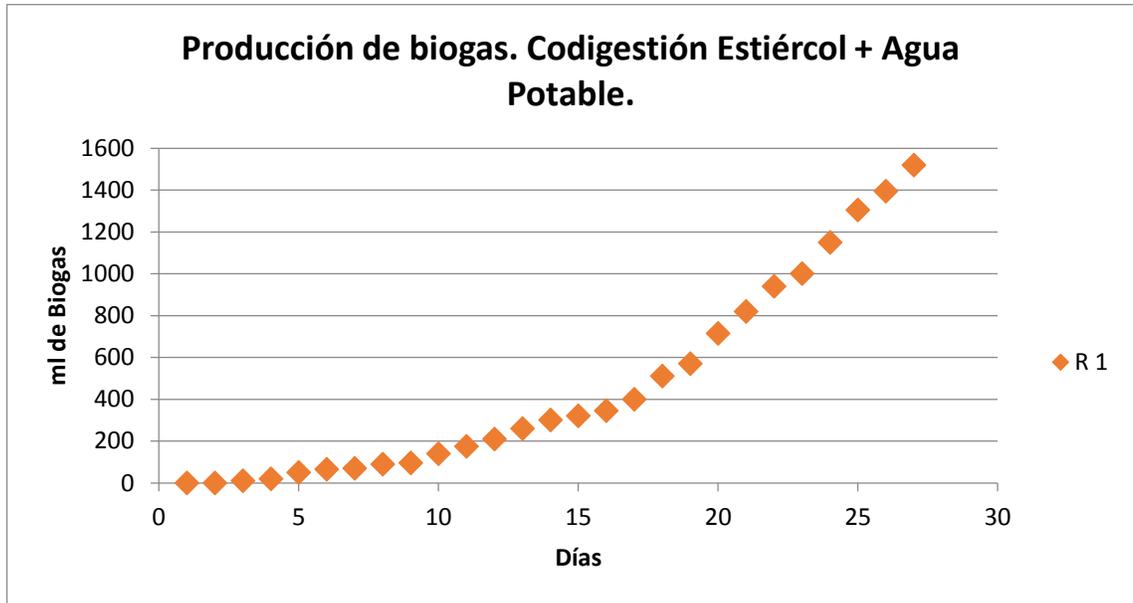
Tabla 68 Producción acumulada de biogás para codigestión de Estiércol + Agua Potable

Producción acumulada de biogás (ml/día)				
# de días	R1	R2	R3	R4
3	10			15
4	20	10	10	25
5	50	20	25	40
6	65	40	30	47
7	70	50	42	50
8	90	70	42	60
9	95	100	50	65
10	140	165	60	85
11	175	190	80	120
12	210	200	85	135
13	260	220	90	140
14	300	240	90	145
15	320	250	95	145
16	345	290	115	160
17	400	315	120	165
18	510	315	170	170
19	570	315	190	170
20	715	315	200	185
21	820	315	200	
22	940	335	240	
23	1000	355	240	
24	1150	365	240	
25	1305		240	
26	1395		250	
27	1520		275	

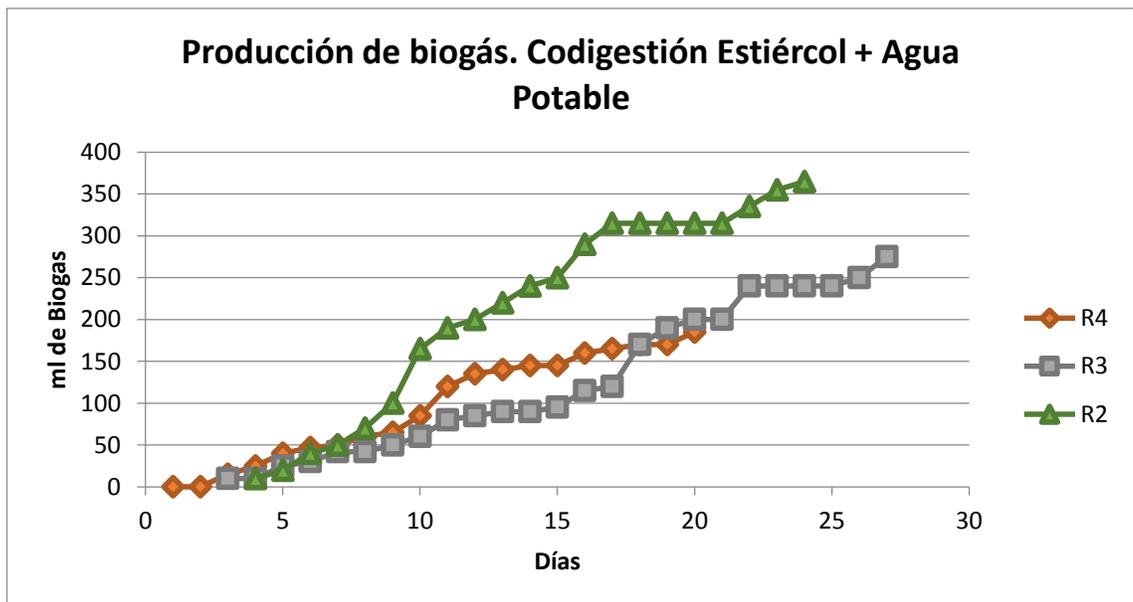
 Etapa estable de producción

 Ensayos descartados

Gráfica 12 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Potable (Reactor R1)



Gráfica 13 Volumen acumulado de biogás. Digestión Estiércol + Agua Potable (Reactores R2, R3 y R4)



## 5.5 Cálculo de índices de producción de biogás

La producción de biogás por sí sola no resulta un buen parámetro de comparación, ya que dependerá de la forma en que se ha realizado el experimento, del tipo de sustrato empleado, etc. Por ello se utilizarán varios índices que permitirán la comparación y el estudio de la eficiencia del proceso.

*Volumen de gas acumulado (M).*

Este es el parámetro más utilizado, a pesar de no proporcionar información por sí sólo, pero tiene una gran importancia como medida del potencial de producción. Dado que todos los tratamientos se realizaron utilizando una misma metodología, es un índice de valor a nivel comparativo dentro de este conjunto de experimentos. Para compararlo con resultados de otros autores u otros estudios se deberá hacer siempre referencia a la metodología del ensayo y sobre todo al volumen del reactor y cantidad de sustrato e inóculo empleado. El cálculo de este índice se realizó calculando la media del volumen acumulado de biogás durante la etapa estable de producción.

$$M = (\text{promedio de producción de biogás durante etapa estable})$$

*Volumen de gas respecto a la masa inicial de sustrato (M').*

Este parámetro estima la producción de gas (metano o biogás) por unidad de masa de sustrato, y es necesario para comparar los resultados con los obtenidos por otros autores.

$$M' = \frac{M}{\text{Masa de sustrato}}$$

*Volumen de gas respecto a la cantidad de materia orgánica inicial (B).*

Este es un parámetro mucho más universal ya que se elimina el factor tamaño del reactor o cantidad de sustrato añadido, pero sobre todo es interesante para comparar la biodegradabilidad de cada sustrato, independientemente del contenido de materia orgánica. Consiste en calcular el volumen de biogás o metano producido por cada gramo de materia orgánica añadida (medida

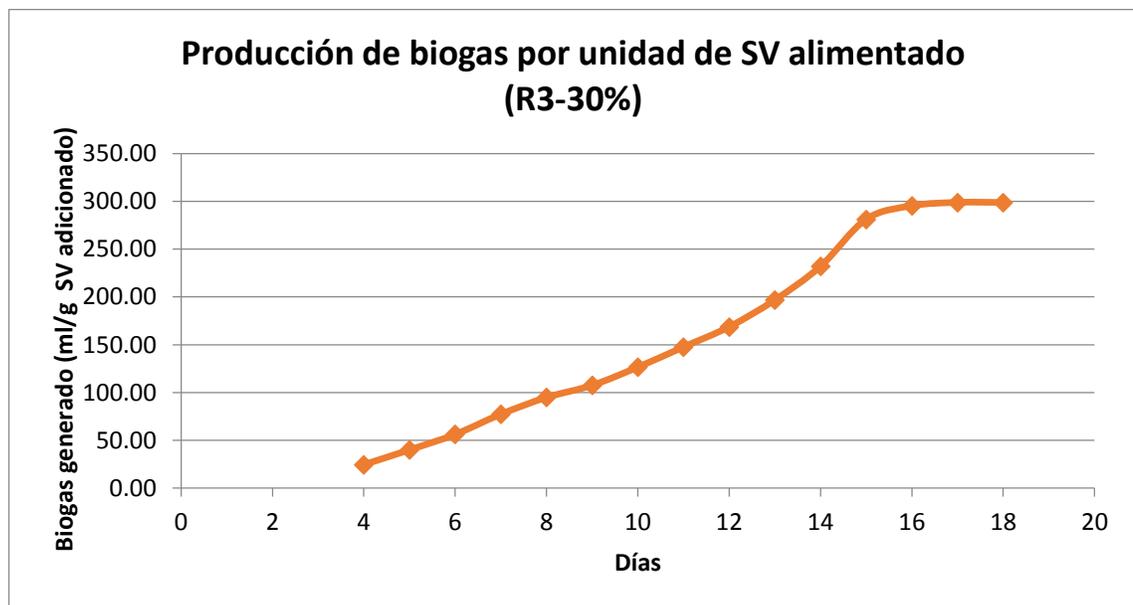
como sólidos volátiles o DQO). Este índice se calcula como el volumen neto de producción de biogás o metano (M) dividido por la cantidad total de sólidos volátiles añadidos (resultado de multiplicar la concentración por la masa total de sustrato en el reactor).

$$B = \frac{M}{\text{masa} \cdot (C)} = \frac{M'}{(C)}$$

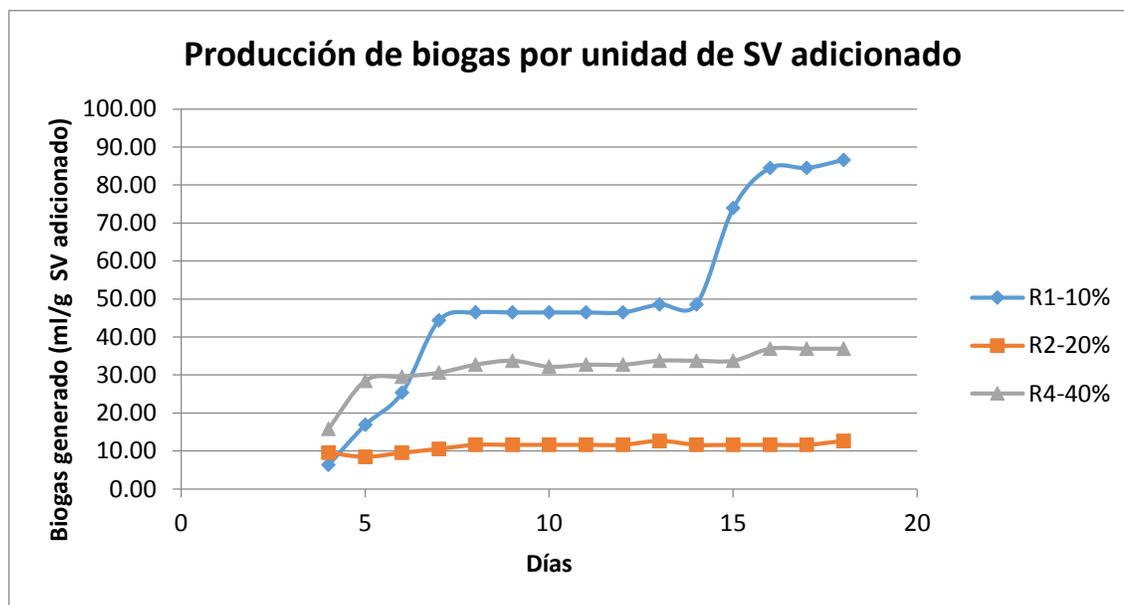
Donde (C) es la concentración de SV o DQO inicial.

## 5.6 Producción de biogás por unidad de SV alimentado

Gráfica 14 Producción de biogás por unidad de Sólido Volátil (SV) introducido



Gráfica 15 Producción de biogás por unidad de SV introducido. R1, R2 y R4



### Descripción de los substratos utilizados

El estiércol utilizado procedió de los corrales de ordeño ubicados en el campo experimental del Departamento de Agronomía de la UES-FMO. La alimentación de los animales (durante el período de recolección de muestras de estiércol) era a base de pienso fabricado en una instalación anexa al establo que contaba con un alto contenido de fibra y proteína, lo que influye grandemente en las características del estiércol. El estiércol utilizado fue recogido directamente de los corrales de ordeño. Se trata de un estiércol con alto contenido en sólidos, rico en nitrógeno y con alto contenido en fibra.

Las aguas residuales de tipo domestico proceden del campus de la UES-FMO y las muestras para los ensayos fueron tomadas directamente de las fosas sépticas.

## 5.7 Determinación de los parámetros de rendimiento

Tabla 69 Caracterización de los ensayos

	Ensayos realizados								
	Codigestión Estiércol + Agua Residual					Codigestión Estiércol + Agua Potable			
	R1-10%	R2-20%	R3-30%	R4-40%	R5-10%	R1	R2	R3	R4
<b>Sólido Volátil alimentado (SV) **</b>	42.683	85.355	128.038	170.710	42.683	128.038	128.038	128.038	128.038
<b>Cantidad de materia introducida (gramos) **</b>	381.10	762.10	1143.20	1524.20	381.10	1143.20	1143.20	1143.20	1143.20
<b>Volumen del reactor utilizado (ml)</b>	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
<b>Promedio de producción de biogás en la etapa estable (ml)</b>	138.75	55.42	1303.08	--	--	670.83	267.81	206.67	153.50
<b>Producción total de biogás (ml)</b>	205.00	60.00	2125.00	350.00	40.00	1520.00	365.00	275.00	185.00

\* Calculo realizado durante la etapa estable de producción

\*\* No incluye los sólidos volátiles que aportan las aguas residuales. Valor teórico tomado de (Botero & Preston 1986; Vargas 1992)

Tabla 70 Resumen de cálculos de rendimiento de los ensayos realizados

	Ensayos realizados								
	Codigestión Estiércol + Agua Residual					Codigestión Estiércol + Agua Potable			
	R1-10%	R2-20%	R3-30%	R4-40%	R5-10%	R1	R2	R3	R4
<b>Producción de biogás por kilogramo de solido volátil (Lt)</b>	4.80	0.70	16.60	2.05	0.94	11.87	2.85	2.15	1.44
<b>Producción de biogás por unidad de solido volátil alimentado y día (SV) (ml/SV d<sup>-1</sup>)</b>	3.2507	0.6493	10.177	--	--	5.2393	2.0916	1.6141	1.1989
<b>Producción de biogás por gramo de materia introducida (ml/gr)</b>	0.54	0.08	1.86	--	--	1.33	0.32	0.24	0.16
<b>Producción de biogás por gramo de materia introducida y por día (ml/gr d-1)*</b>	0.36	0.07	1.14	--	--	0.59	0.23	0.18	0.13
<b>Producción de biogás por unidad de volumen de reactor utilizado y día (ml/ml d<sup>-1</sup>) *</b>	0.03	0.01	0.29	--	--	0.15	0.06	0.05	0.03
<b>Producción de biogás por unidad de volumen de reactor utilizado (ml/ml)</b>	0.05	0.01	0.47	0.08	0.01	0.34	0.08	0.06	0.04
<b>Riqueza del biogás en CH4 durante la etapa estable de la producción (%)</b>	--	--	--	--	--	78.33%	90.00%	80.00%	80.00%

\* Calculo realizado durante la etapa estable de producción

## 5.8 Resultados y discusión

La evolución de la producción acumulada de biogás siguió una tendencia diferente en función de la cantidad de sustratos añadidos. En general, la producción de biogás aumento en grandes proporciones sobre todo para el ensayo R3-30%; varios ensayos resultaron en un fracaso por la baja o nula producción de biogás. Posteriormente se ensayó con la misma cantidad de sustrato pero mezclada con agua potable, en estos ensayos solo el primer reactor (R1) resulto congruente, los tres restantes (R2, R3 y R4) no eran consistentes en cuanto a la evolución de la producción de biogás y por lo tanto se descartaron. Además de la no consistencia en los datos de producción de biogás se notó en la determinación del porcentaje de metano que los reactores R2, R3 y R4 poseían resultados muy alejados de los teóricos y esto fue otro factor que ayudo a descartarlos.

Los gráficos 10, 11, 12, 13, 14 y 15 muestran el comportamiento en función del tiempo de la producción acumulada neta de biogás durante el ensayo de biodegradabilidad para cada una de las proporciones evaluadas, los valores presentados corresponden a las mediciones realizadas en los reactores disponibles durante el tiempo de realización de los ensayos. De acuerdo con las figuras se puede observar el retraso que se presenta en los reactores para todas las proporciones, esto se debe a que la biomasa microbiana presente requiere de un periodo de adaptación para iniciar los procesos subsecuentes de la degradación anaeróbica del residuo orgánico. Después de este periodo inicial de adaptación se observa un crecimiento en la producción de biogás para casi todas las proporciones. Los reactores R4-40% y R5-10% no muestran cambios desde los 7 a los 14 días y desde los 5 a los 18 días respectivamente, el reactor R5-10% prácticamente no registro producción de biogás durante el periodo en estudio, esto fue a consecuencia de las fugas que se encontraron en el gasómetro respectivo, motivo por el cual se procedió a descartar ambos ensayos.

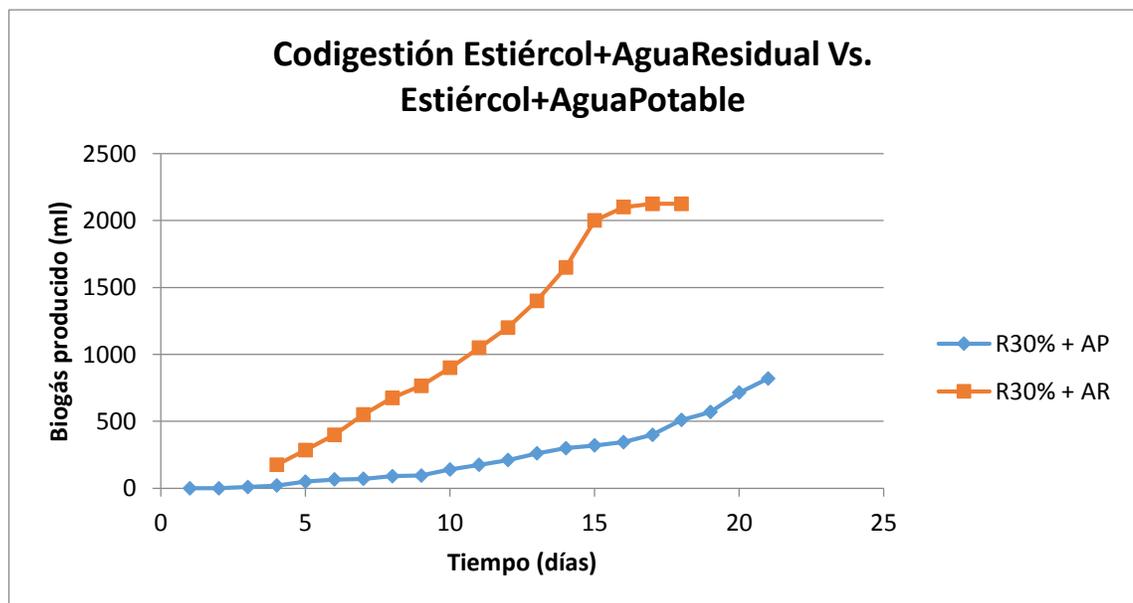
De acuerdo con las tendencias presentadas por cada una de las curvas, se observa que la proporción Est:Ar 3:7 (Ensayo R3-30%) presenta la tasa más alta de producción de biogás y se mantiene hasta los 18 días, al final de este periodo se comenzó a presentar una disminución en la producción de biogás, lo que indica el final del proceso de digestión anaeróbica para este ensayo. En los reactores correspondientes a las proporciones 1:9, 2:8 y 4:6 (reactores R1-10%, R2-20% y

R4-40%) se observaron menores tendencias de producción de biogás, luego de los 18 días estas razones de producción decrecen hasta el periodo de culminación de la prueba.

En cuanto a los resultados de rendimiento, la Tabla No 67 nos indica que los reactores R3-30% y R1 presentan los mayores índices, se deduce que la proporción de mezcla propuesta para estos reactores es la que da mejores resultados ya que produce mayor cantidad de biogás y elimina la mayor cantidad de solidos volátiles además de utilizar el mismo volumen de reactor respecto a los otros ensayos.

Se puede observar que existe una diferencia relativa porcentual del 28% mayor para el ensayo R3-30% con respecto al ensayo R1 en cuanto a los índices de rendimiento, esto muestra la significancia de la codigestión del estiércol con el agua residual. Como se observa en la gráfica No 16, la codigestión de estiércol con agua residual produce mayor cantidad de biogás lo que confirma nuevamente la eficacia de la mezcla.

Gráfica 16 Comparación: Producción de biogás. Digestión Estiércol+AR/Estiércol+AP (Reactor R3)



# CAPÍTULO 6

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6.1 Conclusiones

- El método para el cálculo de caudal más indicado para instituciones o establecimientos que encierran poblaciones muy variables y de instalaciones limitadas son los que estiman el caudal a partir de la capacidad sanitaria instalada y no de la población estimada.
- El diseño de la red de alcantarillado sanitario está contemplado para cumplir con las especificaciones mínimas de diámetros y cantidad de pozos requeridos por la norma técnica de ANDA.
- La mejor tecnología para el tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico y al mismo tiempo para el aprovechamiento de la materia orgánica en términos de recursos energéticos, que mejor se adapta a las condiciones ambientales y económicas de la Universidad de El Salvador – Facultad Multidisciplinaria Oriental es la utilización de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB).
- El contenido de las aguas residuales del laboratorio de química actúa como inhibidor de gran importancia en la descomposición de la materia orgánica, y por lo tanto debe de tratarse por aparte.
- Con respecto a la evaluación preliminar del impacto ambiental, el proyecto de construcción de sistemas de recolección, conducción, tratamiento y disposición final de las aguas residuales servidas de la Universidad de El Salvador significa impactos positivos al ambiente y al hombre, especialmente cuando lo comparamos con la situación actual de dichos servicios. El impacto más significativo al ambiente y el hombre es la descarga de las aguas servidas que actualmente se hace sin ningún tipo de tratamiento afectando directamente al agua, suelo, flora, fauna y salud de las personas. Con el proyecto propuesto la descarga de contaminantes se disminuirá en un 90%. El sistema es completamente por gravedad por lo que no está sujeto a riesgos por mal funcionamiento por fallas en el suministro de energía.

- Los reactores R3-30% y R1 presentan los mayores índices de rendimiento, se concluye que la proporción de mezcla propuesta para estos reactores es la que da mejores resultados ya que produce mayor cantidad de biogás y elimina la mayor cantidad de sólidos volátiles además de utilizar el mismo volumen de reactor respecto a los otros ensayos.
- Se puede observar que existe una diferencia relativa porcentual del 28% mayor para el ensayo R3-30% con respecto al ensayo R1 en cuanto a los índices de rendimiento, esto muestra la significancia de la codigestión del estiércol con el agua residual.
- La proporción de mezcla 3:7 para la codigestión de estiércol bovino con agua residual es la que produce mayor cantidad de biogás y por lo tanto presenta mejores parámetros de rendimientos.

## 6.2 Recomendaciones

- En algunos casos la población puede ser muy inferior a la capacidad sanitaria instalada, y en otros casos, mucho mayor, provocando incertidumbre en los métodos para cálculo de caudal como el propuesto por ANDA; mientras que los métodos matemáticos consideran el número exacto de componentes instalados y lo calculan a partir de la probabilidad de que la mayoría esté en funcionamiento al mismo tiempo. Se recomienda utilizar el método Racional para el cálculo de caudales de aguas residuales en universidades y en instituciones con poblaciones muy variables.
- Se recomienda la utilización de los reactores UASB para el tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico en la Universidad de El Salvador FMO, ya que las condiciones ambientales son favorables para su funcionamiento.
- Para el agua residual proveniente del laboratorio de química se recomienda hacer un estudio para la utilización del tratamiento por filtros de carbón activo más el tratamiento por separación con aire antes de incluir el efluente al alcantarillado común o hacer una reutilización de éste recurso.
- Se presenta un estudio preliminar del impacto ambiental para el proyecto de construcción del sistema de conducción y de tratamiento de aguas residuales, esto solo constituye una herramienta que reduce la incertidumbre respecto a la decisión y avanza en el desarrollo de las actividades necesarias para un estudio de impacto ambiental de detalle.
- Tomando en cuenta los resultados de los ensayos de codigestión y de la metodología desarrollada en estos ensayos, se recomienda darle continuidad a dicha investigación con el fin de garantizar la viabilidad y aprovechamiento de implementar sistemas anaerobios para el tratamiento de los residuos ganaderos y de las aguas residuales que se producen en la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

## Bibliografía

- (ANDA), A. N. (2011). Boletín estadístico. El Salvador: ANDA.
- 350, C. A. (Abril de 2007). Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3-01) y comentarios (350.3R-01).
- ANDA. (Octubre de 1998). Normas técnicas para abastecimiento de agua potable y alcantarillados de aguas negras. El Salvador-América Central.
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AGISA). (1997). *Tratamiento de cloacales para poblaciones de bajos recursos tecnológicos*.
- Benitez, C. H. (Diciembre de 2001). Tesis: "Estudio de la calidad del agua en el Río Grande de San Miguel". San Miguel, San Miguel, El Salvador.
- Berrios, G., & Quinteros, M. (2002). Propuesta para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la F.M.O. San Miguel, El Salvador.
- Campos Pozuelo, A. L. (2001). *Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante la codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria*. Escola tècnica superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.
- Castillo, L. E., & Torres, J. L. (2010). Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Castro, N. Y. (2006). Aplicación del método para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones de diferentes tipos. João Pessoa, Brasil.
- CEPIS, O. -O. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima, Perú.
- CONACYT. (11 de Marzo de 2009). Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor". San Salvador, San Salvador, El Salvador: CONACYT.
- Contreras Herrera, B. A., & Montepeque Parada, J. V. (2007). *Propuesta de diseño de obras de mitigación de riesgos causadas por la inundación del Río Grande de San Miguel en el sector suburbano*. San Miguel.
- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. (Octubre de 1998). Evaluación de recursos de agua de la república de El Salvador. El Salvador.

- Davis, M. L. (2010). *Water and wastewater engineering*. Michigan State University: Mc Graw Hill.
- Dirección Nacional de Saneamiento. (2009). Normas Técnicas Relativas al Sub Sector Saneamiento. *OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Perú.
- Espinoza, G. (2001). *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Santiago, Chile: Centro de Estudios para el Desarrollo.
- Fanola, R. M., & Márquez, G. G. (Junio de 2008). Apoyo didáctico en la enseñanza – Aprendizaje de la asignatura de plantas de tratamiento de aguas residuales. Cochabamba, Bolivia.
- Fuentes, J., Merlos, E., & Paniagua, D. (Diciembre de 2009). Propuesta para el tratamiento de las aguas residuales de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador. San Miguel, El Salvador.
- Ginelly V. Lopez Rodriguez, F. A. (Agosto de 2012). Rediseño del sistema de alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial y propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Armenia. San Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Hess, M. L. (s.f.). *Tratamiento preliminares*. Sao Paulo - Brasil: CETESB.
- lenntech*. (s.f.). Recuperado el 23 de 04 de 2013, de <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-tecnicas.htm>
- Lier, J. V. (2013). Lecture: Wastewater treatment. Holanda.
- Luna, M. G. (s.f.). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Fondo Nacional del Ambiente.
- McGhee, T. J. (1982). *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado. Ingeniería Ambiental* (Sexta Edición ed.).
- Metcalf & Eddy. (2008). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Mc Graw Hill.
- Metcalf y Eddy. (1985). *Tratamiento y reutilización de aguas residuales*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental*. San Salvador.
- Nacional, M. -S.-S. (2003). *Evaluación de la calidad de agua del Rio Grande de San Miguel*. San Salvador.
- Naturales, M. d. (2012). Ley del Medio Ambiente. El Salvador.
- Naturales, M. d. (2013). *Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental*. San Salvador.

- Órgano Ejecutivo, G. d. (1997). Decreto ejecutivo n°50 Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de protección. San Salvador, El Salvador.
- Órgano Ejecutivo, G. d. (2000). Decreto ejecutivo n°50 Reglamento especial de aguas residuales. San Salvador, El Salvador.
- Pérez, C. M. (2008). Análisis del método Hunter y actualización del método de cálculo para instalaciones hidráulicas en edificios. México D.F.
- Perkins, A., & Avendaño, D. (Septiembre de 2010). Diseño y construcción de un digestor anaerobio de flujo de piston que trate los residuos generados en una explotación ganadera. Madrid, España.
- Reyes Quinteros, M. (20 de Octubre de 2013). Situación actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la región oriental de El Salvador. (H. Portillo, Entrevistador)
- Rodríguez, V. M. (s.f.). Diseño y construcción de estructuras de concreto para contener líquidos. México: Fundación ICA.
- Salazar, D. B. (2004). *Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales*. Centroamérica.
- Samayoa, S., Bueso, C., & Viquez, J. (Julio de 2012). Guía Implementación de Sistemas de biodigestión en ecoempresas. Honduras: PREMACA.
- Sincero, A. P. (2003). *Physical chemical treatment of water and wastewater*. Londres: CRC Press.
- Yánes, P. D. (s.f.). *Digestión anaerobica de lodos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Yánez, P. D. (s.f.). Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Yenny Ivonne Galicia Ayala, D. A. (Julio de 2008). Tesis: "Propuesta de una guía para el tratamiento de desechos químicos generados en el laboratorio de la facultad de química y farmacia de la Universidad de El Salvador". San Salvador, San Salvador, El Salvador.

# ANEXOS

## Anexos A

- 1) Mapa de elevaciones de la UES FMO
- 2) Mapa de usos de suelos UES FMO
- 3) Mapa de demandas máximas probables (Lts/seg) UES FMO

## Anexos B

- 1) Resultados de análisis de calidad de aguas residuales UES FMO

## Anexos C

- 1) Instrumento de recolección de datos: Visitas a PTAR's

## Anexos D

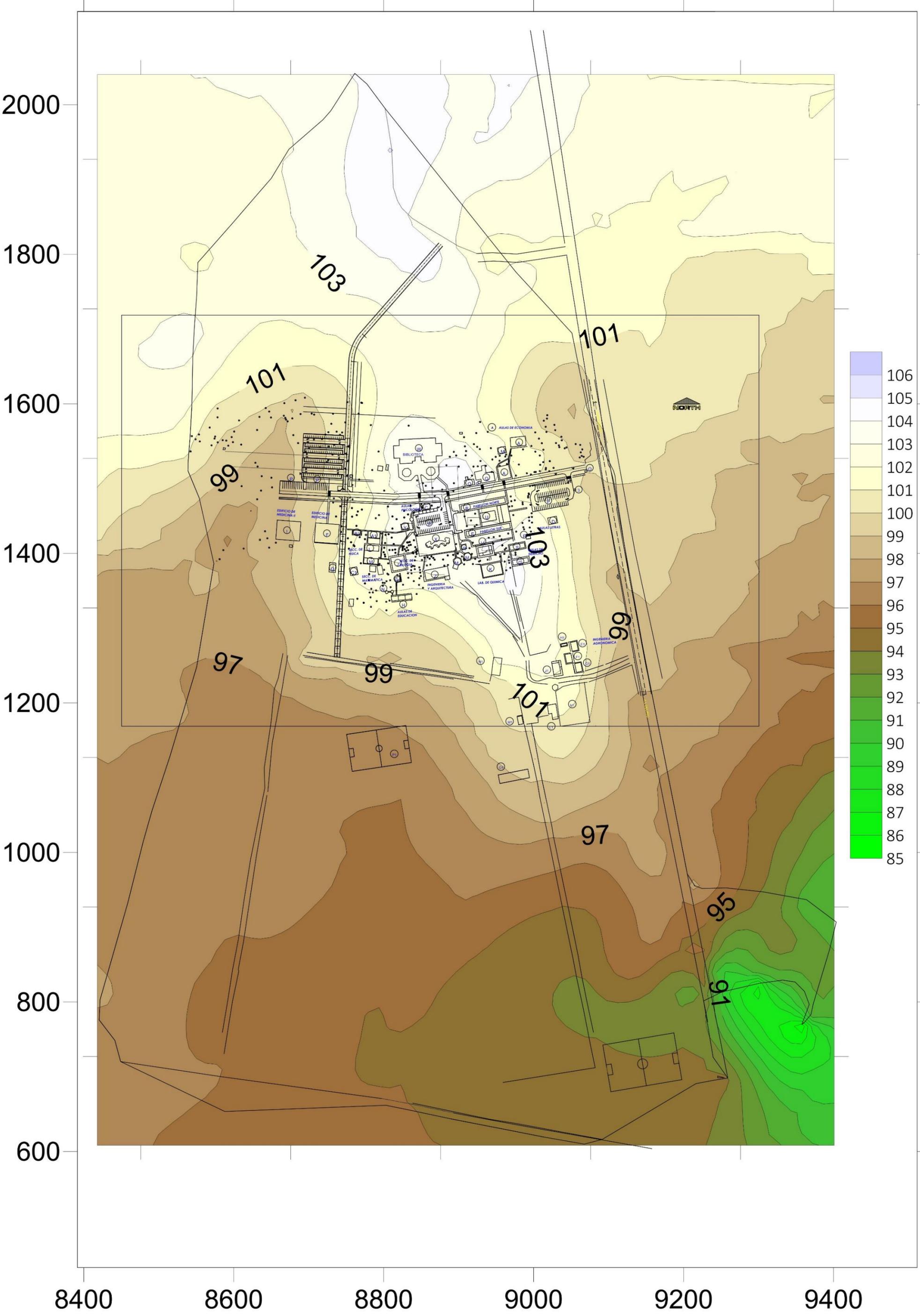
- 1) Tablas de diseño PCA

## Anexos E

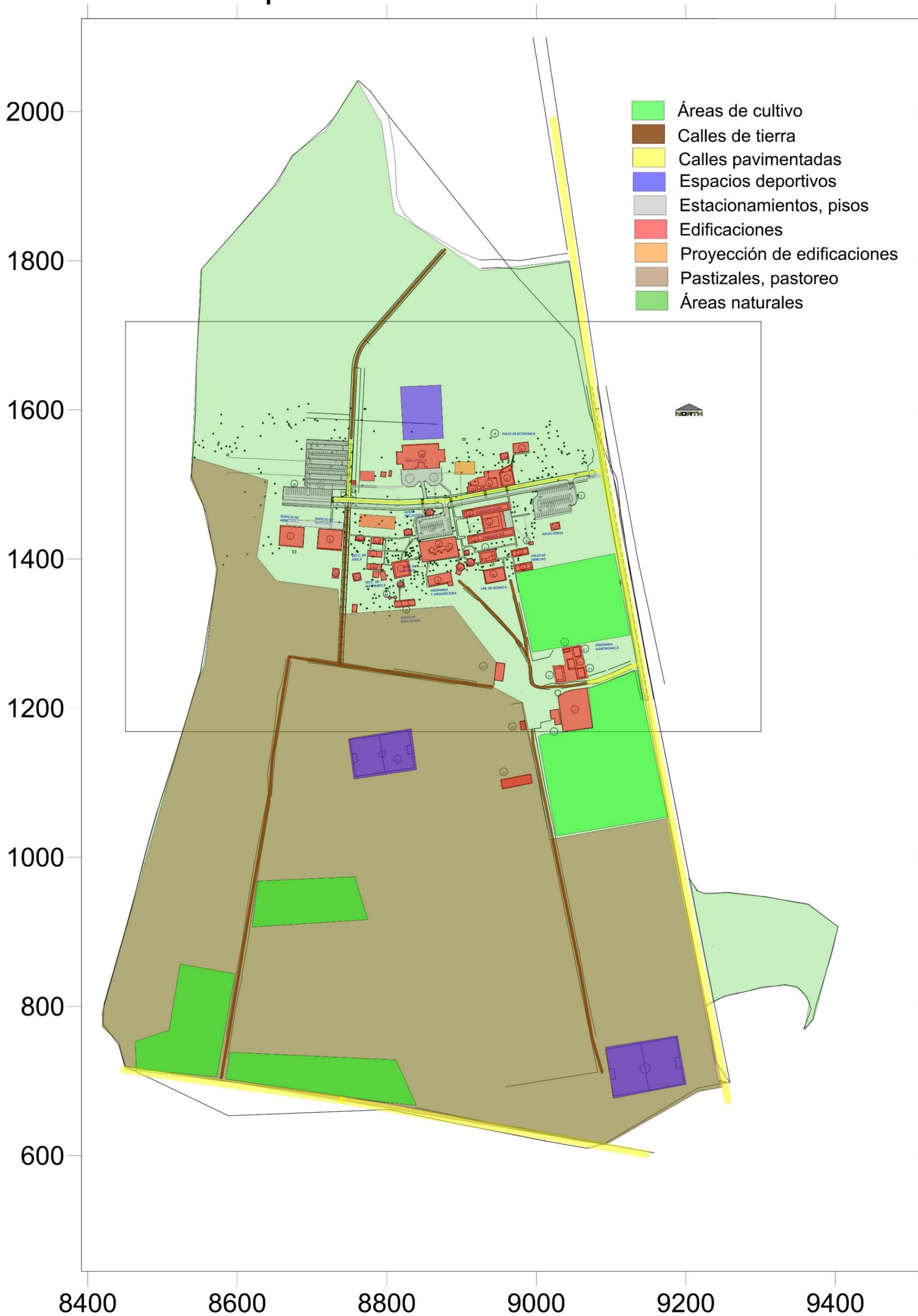
- 1) Planos Alcantarillado
- 2) Planos Criba y Desarenador
- 3) Planos Trampa de grasa
- 4) Planos Reactor UASB
- 5) Planos Filtro FAFA
- 6) Planos Clarificador

# ANEXOS A

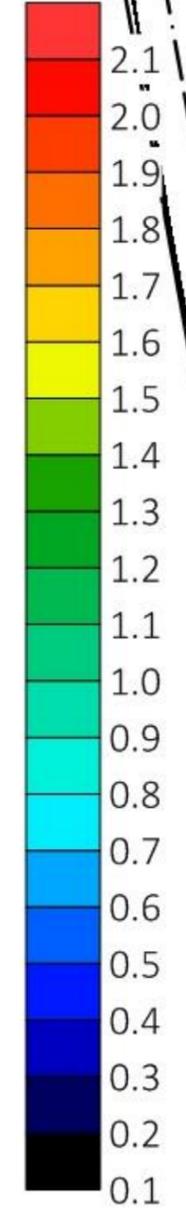
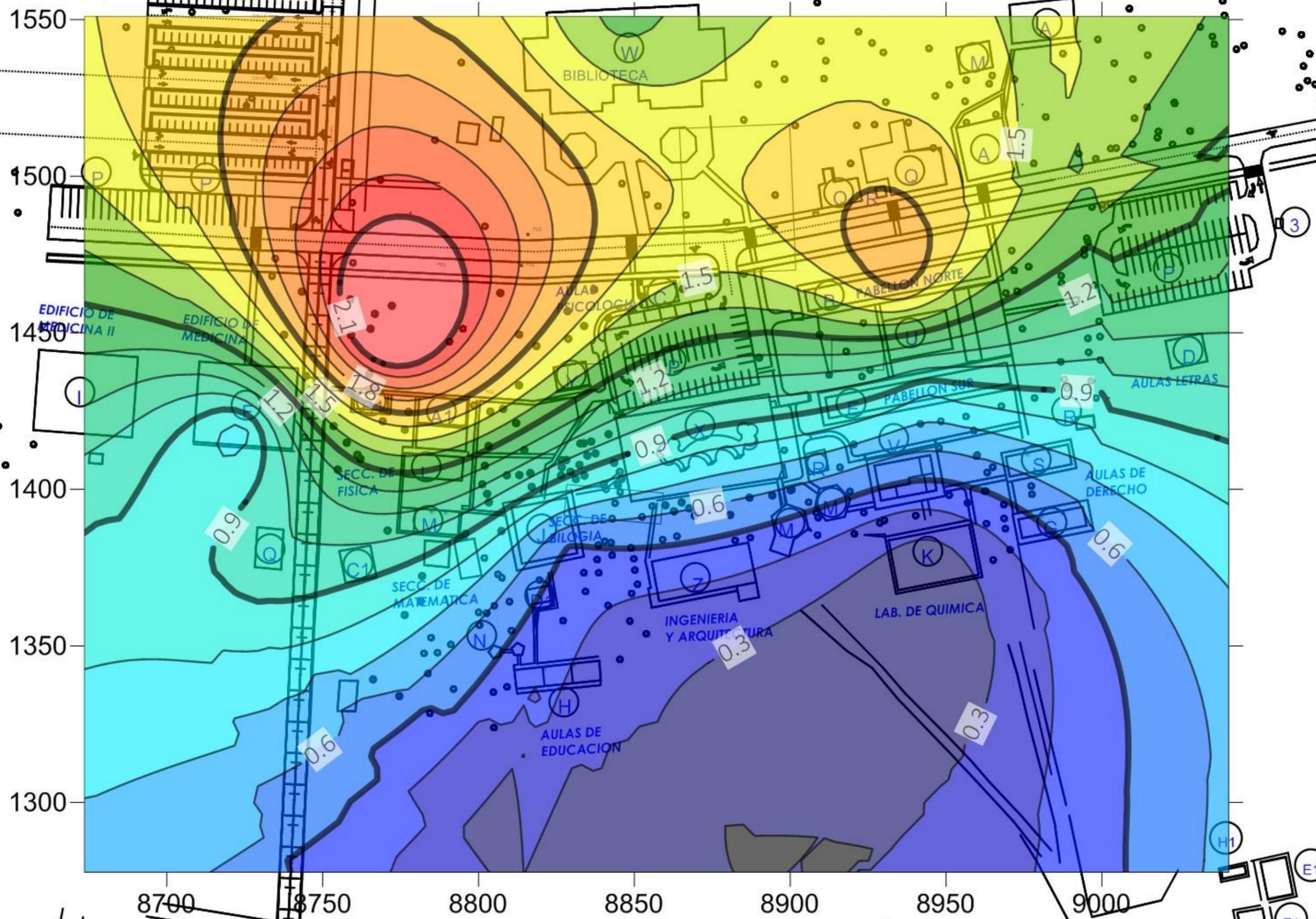
# Mapa de elevaciones de la UES FMO



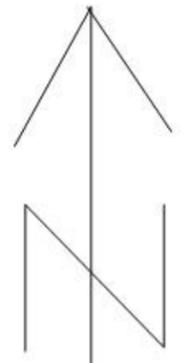
# Mapa de uso de suelos UES FMO



# Mapa de demandas máximas probables (L/s) de la UES FMO



INGENIERIA AGRONOMICA



# ANEXOS B

San Miguel, Septiembre 20 de 2013  
Ref. 240-413-2013

Ingeniero  
Guillermo Moya Turcios  
Docente Director  
Universidad de El Salvador  
Facultad Multidisciplinaria Oriental  
Depto. de Ingeniería y Arquitectura  
Presente.

Ingeniero Moya Turcios:

Atentamente le remitimos los análisis de aguas residuales originales efectuados el 15 de agosto de 2013, cuya muestras se tomaron en los tres puntos indicados en su solicitud del 27 de junio de 2013.

Los resultados demuestran valores que están fuera de los parámetros permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01.09, pero es importante considerar que estas aguas residuales no tienen aplicado ningún tratamiento; por consiguiente es entendible su resultado.

De acuerdo a su petición, este proceso forma parte del proyecto de tesis "Diseño de un sistema de conducción y de tratamiento para las aguas residuales de la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental", formulado por los bachilleres: Luis Eduardo Benítez, Noé Isaac Rivera y Harold José Portillo.

Atentamente,



Ing. José Neftalí Canas Platero  
Gerente Región Oriental

*Recibido  
25/09/13  
2:30 PM*

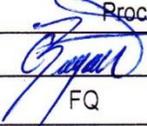
	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	<b>REGISTRO</b>	N° <b>LO13 5391</b>
	<b>NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES</b>	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LO135391
Cliente: GERENCIA REGION ORIENTAL	Fecha de Recepcion: 15-08-2013 Hora:13:30
Dirección: ENTRADA PRINCIPAL U.E.S SAN MIGUEL	Fecha de Análisis: 15-08-2013 Hora:14:11
Muestreador: MIGUEL ANGEL ORDOÑEZ(REGION ORIENTAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: DIRECTAMENTE DEL POZO # 1	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	<b>ORDINARIO COMPLEMENTARIOS</b>
Fecha de Muestreo: 15-08-2013 Hora: 09:20	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	31.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm$ 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

**RESULTADOS ANALITICOS**

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
DQO Total *	906.67	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	455	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	7.0	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendedos Totales *	290	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	85.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	8.42	----	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	189.5	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	1890	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.3(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	1.3(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

\* Métodos Acreditados      Revisado por:  Micro **17-09-13**       FQ

Observaciones:

Autorizado por:

  
LIC. DOUGLASE GARCIA  
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

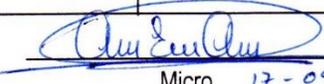
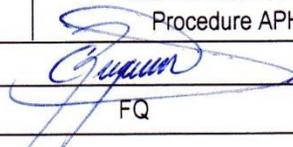


	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	<b>REGISTRO</b>	N° <b>LO135392</b>
	<b>NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES</b>	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LO135392
Cliente: GERENCIA REGION ORIENTAL	Fecha de Recepcion: 15-08-2013 Hora:13:30
Dirección: POR LA SECCION DE BIOLOGIA U.E.S. SAN MIGUEL	Fecha de Análisis: 15-08-2013 Hora:14:42
Muestreador: MIGUEL ANGEL ORDOÑEZ(REGION ORIENTAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: DIRECTAMENTE DEL POZO # 2	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	<b>ORDINARIO COMPLEMENTARIOS</b>
Fecha de Muestreo: 15-08-2013 Hora: 09:41	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	29.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podra alterar $\pm$ 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

**RESULTADOS ANALITICOS**

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	262.33	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirrimetric Method APHA
DBO Total *	>48.75	mg/L	60	5210 B 5 -. Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	0.4	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	30	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	91.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	7.86	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B ELECTrometric Method APHA
Turbidez	84.75	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	785	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	3.5(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	3.5(E+7)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por: 		Micro 17-09-13	 FQ
Observaciones:				

Autorizado por:

  
 LIC. DOUGLAS E. GARCIA  
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	<b>REGISTRO</b>	N° <b>L0135393</b>
	<b>NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES</b>	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L0135393
Cliente: GERENCIA REGION ORIENTAL	Fecha de Recepción: 15-08-2013 Hora: 13:30
Dirección: POR EDIFICIO DE MEDICINA U.E.S. SAN MIGUEL	Fecha de Análisis: 15-08-2013 Hora: 14:56
Muestreador: MIGUEL ANGEL ORDOÑEZ (REGION ORIENTAL)	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: DIRECTAMENTE DEL POZO # 3	Parametros de acuerdo a NSO 13.49.01.09
Plan de Muestreo: Puntual.	<b>ORDINARIO COMPLEMENTARIOS</b>
Fecha de Muestreo: 15-08-2013 Hora: 10:00	

Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
Temperatura de Muestra	29.0	°C.	20 - 35 La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar $\pm$ 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl g DPD Colorimetri Method APHA

**RESULTADOS ANALITICOS**

Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método de Referencia
DQO Total *	180.27	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	>22.5	mg/L	60	5210 B 5 - Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables *	2.5	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales *	76	mg/L	60	2540 D Total Suspended Solid Dried at 103 - 105° APHA
Aceites y Grasas	49.0	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	8.29	----	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marinas	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	10.25	NTU	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130 B Nephelometric Method APHA
Color	139	Pt - Co	Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Coliformes Totales *	1.1(E+7)	NMP/100mL	10000	9221 B Standard Total Coliform Fermentation Technique APHA
Coliformes Fecales	3.43(E+5)	NMP/100mL	2000	9221 E Fecal Coliform Procedure APHA

\* Métodos Acreditados

Revisado por:

  
Micro 17-09-13

FQ

Observaciones:

Autorizado por:

  
LIC. DOUGLAS E. GARCIA  
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



# ANEXOS C

### **Instrumento para la recolección de datos: Visitas a PTAR's**

1. ¿Dónde se encuentra ubicada la PTAR?  

---
2. ¿Para cuantos años fue proyectado el funcionamiento de la PTAR?, ¿en qué año entra en operación?, ¿fue diseñada con la idea de poder hacer futuras ampliaciones?  

---
3. ¿De qué poblaciones proviene el efluente de la PTAR?  

---
4. ¿Existen problemas de generación de malos olores?, ¿cómo se controlan?, ¿y a que distancia desde la planta depuradora se encuentra la población más cercana?  

---
5. ¿Qué caudal promedio es tratado por la planta en periodo seco?, ¿y en periodo de lluvia?, ¿y para qué caudal máximo fue proyectada la planta?  

---
6. En algunos sistemas suelen incluirse ecualizadores para amortiguar las variaciones horarias del efluente, ¿Existe algún sistema que regule las variaciones de caudal?  

---
7. ¿Para qué tipos de influentes está condicionada la planta depuradora (origen industrial, doméstico)?, ¿Existe la posibilidad de incluir  

---
8. ¿De cuántos procesos unitarios está compuesto el sistema de tratamiento?, ¿Bajo qué tecnología de tratamiento se pueden clasificar estos procesos (biológicos, físico-químicos)?  

---
9. ¿Existen problemas de generación de vectores (plagas de insectos, roedores, etc.)?, ¿Qué acciones se realizan para controlarlos?  

---
10. Además de los problemas de generación de olores y de vectores, ¿existe otra clase de impacto negativo de la PTAR?  

---
11. ¿De cuánto es la demanda energética de la PTAR (KWh)?, ¿Cuántas horas al día se encuentra en operación la planta?  

---
12. ¿Existen controles de calidad constantes para conocer la efectividad de cada etapa de tratamiento (exámenes al influente y efluente)?

---

---

13. ¿Con qué frecuencia es controlada la calidad del efluente?, ¿Cumple el efluente con las restricciones y los parámetros de calidad mínimos (presentados por CONACYT, ministerio de salud, ministerio de medio ambiente y otras entidades reguladoras)?

---

---

14. ¿Dónde se encuentra el punto de descarga?, ¿En qué estado se encuentra el cuerpo receptor (limpio, regular, muy contaminado)?, ¿El vertido del efluente proveniente de la PTAR no altera más a su estado actual?

---

---

15. ¿En alguno de los procesos unitarios se propone la adición de algún químico para promover la remoción de carga contaminante?, ¿en cuántos de ellos?, ¿Cuáles compuestos químicos y en qué dosis?

---

---

16. ¿Cuáles son las necesidades de mantenimiento de la PTAR?

---

---

17. ¿Existe recolección de lodos previo a la etapa final de tratamiento?, ¿Cómo se tratan?

---

---

18. ¿Dónde se depositan los lodos provenientes del post-tratamiento?

---

---

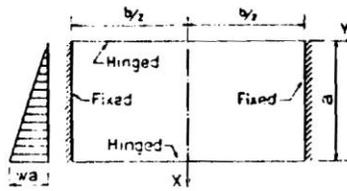
19. Esquema de la PTAR.

# ANEXOS D

Tables I, II, III, and IV. Moment Coefficients for Slabs with Various Edge Conditions

Table I

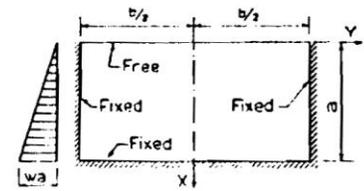
Moment = Coef.  $\times wa^3$



h/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2	
		$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$
3.00	0	+035	+010	+026	+011	-008	-039
	1/4	+057	+016	+044	+017	-013	-063
	1/2	+051	+013	+041	+014	-011	-055
2.50	0	+031	+011	+021	+010	-008	-038
	1/4	+052	+017	+036	+017	-012	-062
	1/2	+047	+015	+036	+014	-011	-055
2.00	0	+025	+013	+015	+009	-007	-037
	1/4	+042	+020	+028	+015	-012	-059
	1/2	+041	+016	+029	+013	-011	-053
1.75	0	+020	+013	+012	+008	-007	-035
	1/4	+036	+020	+023	+013	-011	-057
	1/2	+036	+017	+025	+012	-010	-051
1.50	0	+015	+013	+008	+007	-006	-032
	1/4	+028	+021	+016	+011	-010	-052
	1/2	+030	+017	+020	+011	-010	-048
1.25	0	+009	+012	+005	+005	-006	-028
	1/4	+019	+019	+011	+009	-009	-045
	1/2	+023	+017	+014	+009	-009	-043
1.00	0	+005	+009	+002	+003	-004	-020
	1/4	+011	+016	+006	+006	-007	-035
	1/2	+016	+014	+009	+007	-007	-035
0.75	0	+001	+006	+000	+002	-002	-012
	1/4	+005	+011	+002	+003	-004	-022
	1/2	+009	+011	+005	+005	-005	-025
0.50	0	+000	+003	+000	+001	-001	-005
	1/4	+001	+005	+001	+001	-002	-010
	1/2	+004	+007	+002	+002	-003	-014

Table III

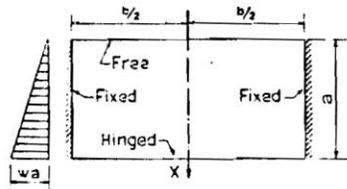
Moment = Coef.  $\times wa^3$



h/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2	
		$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$
3.00	0	0	+025	0	+014	0	-082
	1/4	+010	+019	+007	+013	-014	-071
	1/2	+005	+010	+008	+010	-011	-055
2.50	0	0	+027	0	+013	0	-074
	1/4	+012	+022	+007	+013	-013	-066
	1/2	+011	+014	+008	+010	-011	-053
2.00	0	0	+027	0	+009	0	-060
	1/4	+013	+023	+006	+010	-012	-059
	1/2	+015	+016	+010	+010	-010	-049
1.75	0	0	+025	0	+007	0	-050
	1/4	+012	+022	+005	+008	-010	-052
	1/2	+016	+016	+010	+009	-009	-046
1.50	0	0	+021	0	+005	0	-040
	1/4	+008	+020	+004	+007	-009	-044
	1/2	+016	+016	+010	+008	-008	-042
1.25	0	0	+015	0	+003	0	-029
	1/4	+005	+015	+002	+005	-007	-034
	1/2	+014	+015	+008	+007	-007	-037
1.00	0	0	+009	0	+002	0	-018
	1/4	+002	+011	+000	+003	-005	-023
	1/2	+009	+013	+005	+005	-006	-029
0.75	0	0	+004	0	+001	0	-007
	1/4	+001	+008	-000	+002	-002	-011
	1/2	+005	+010	+002	+003	-003	-017
0.50	0	0	+001	0	+000	0	-002
	1/4	+002	+006	+001	+001	-002	-009
	1/2	+004	+006	+001	+001	-001	-007

Table II

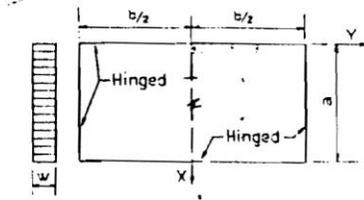
Moment = Coef.  $\times wa^3$



h/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2	
		$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$
3.00	0	0	+070	0	+027	0	-196
	1/4	+028	+061	+015	+028	-034	-170
	1/2	+049	+049	+032	+026	-027	-137
2.50	0	0	+061	0	+019	0	-138
	1/4	+024	+053	+010	+022	-026	-132
	1/2	+042	+044	+025	+022	-023	-115
2.00	0	0	+045	0	+011	0	-091
	1/4	+016	+042	+006	+014	-019	-094
	1/2	+033	+036	+020	+016	-018	-089
1.75	0	0	+036	0	+008	0	-071
	1/4	+013	+035	+005	+011	-015	-076
	1/2	+028	+032	+017	+014	-015	-076
1.50	0	0	+027	0	+005	0	-052
	1/4	+009	+028	+003	+008	-012	-059
	1/2	+022	+027	+012	+011	-013	-063
1.25	0	0	+017	0	+003	0	-034
	1/4	+005	+020	+002	+005	-008	-042
	1/2	+017	+023	+009	+009	-010	-049
1.00	0	0	+010	0	+002	0	-019
	1/4	+002	+013	+000	+003	-005	-025
	1/2	+010	+017	+005	+006	-007	-036
0.75	0	0	+005	0	+001	0	-008
	1/4	+001	+008	+000	+002	-003	-013
	1/2	+005	+011	+002	+004	-004	-022
0.50	0	0	+002	0	+000	0	-003
	1/4	+000	+004	+000	+001	-001	-005
	1/2	+002	+006	+001	+002	-002	-010

Table IV

Moment = Coef.  $\times wa^2$

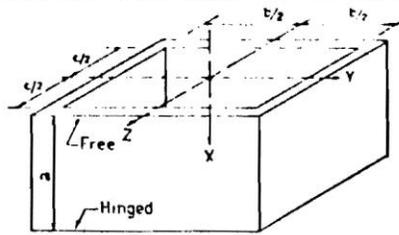


h/a	z/a	y = 0		y = b/4	
		$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$
3.00	1/4	+089	+022	+077	+025
	1/2	+118	+029	+101	+034
2.50	1/4	+085	+024	+070	+027
	1/2	+112	+032	+092	+037
2.00	1/4	+076	+027	+061	+028
	1/2	+100	+037	+078	+038
1.75	1/4	+070	+029	+054	+029
	1/2	+091	+040	+070	+039
1.50	1/4	+061	+031	+047	+029
	1/2	+078	+043	+059	+040
1.25	1/4	+049	+033	+038	+029
	1/2	+063	+044	+047	+039
1.00	1/4	+036	+033	+027	+027
	1/2	+044	+044	+033	+036
0.75	1/4	+022	+029	+016	+023
	1/2	+025	+038	+018	+030
0.50	1/4	+010	+020	+007	+015
	1/2	+009	+025	+007	+019

Minus sign indicates tension on the loaded side in all tables.

Table V. Moment Coefficients for Tanks with Walls Free at Top and Hinged at Bottom

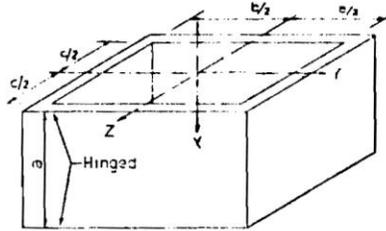
Moment = Coef.  $\times u a^3$



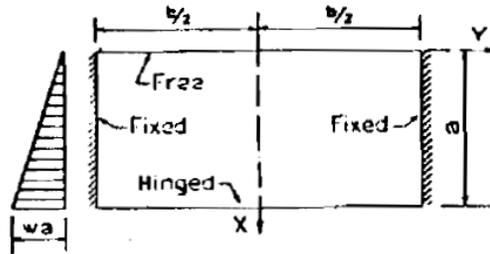
b/a = 3.0											b/a = 2.0													
c/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2		z = c/4		z = 0		c/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2		z = c/4		z = 0		
		M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>			M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>																
3.00	0	0	+0.070	0	+0.027	0	-0.196	0	+0.027	0	+0.070	2.00	0	0	+0.045	0	+0.011	0	-0.091	0	+0.011	0	+0.045	
	1/4	+0.028	+0.061	+0.015	+0.028	-0.034	-0.170	+0.015	+0.028	+0.028	+0.061		1/4	+0.016	+0.042	+0.006	+0.014	-0.019	-0.094	+0.006	+0.014	+0.016	+0.016	+0.042
	1/2	+0.049	+0.049	+0.032	+0.026	-0.027	-0.137	+0.032	+0.026	+0.049	+0.049		1/2	+0.033	+0.036	+0.020	+0.016	-0.018	-0.089	+0.020	+0.016	+0.016	+0.033	+0.036
2.50	0	0	+0.073	0	+0.033	0	-0.169	0	+0.013	0	+0.057	1.75	0	0	+0.048	0	+0.015	0	-0.081	0	-0.001	0	+0.032	
	1/4	+0.028	+0.063	+0.016	+0.033	-0.030	-0.151	+0.009	+0.014	+0.022	+0.050		1/4	+0.017	+0.044	+0.007	+0.017	-0.017	-0.085	+0.003	+0.006	+0.012	+0.032	
	1/2	+0.049	+0.050	+0.033	+0.029	-0.025	-0.126	+0.023	+0.017	+0.041	+0.043		1/2	+0.034	+0.038	+0.021	+0.019	-0.017	-0.083	+0.015	+0.011	+0.027	+0.029	
1.50	0	0	+0.075	0	+0.039	0	-0.146	0	-0.005	0	+0.031	1.00	0	0	+0.050	0	+0.019	0	-0.072	0	-0.010	0	+0.018	
	1/4	+0.029	+0.065	+0.017	+0.036	-0.027	-0.133	+0.002	-0.002	+0.013	+0.032		1/4	+0.018	+0.046	+0.008	+0.021	-0.015	-0.077	+0.000	-0.002	+0.007	+0.020	
	1/2	+0.050	+0.051	+0.035	+0.032	-0.023	-0.113	+0.016	+0.005	+0.030	+0.029		1/2	+0.035	+0.039	+0.022	+0.021	-0.015	-0.076	+0.009	+0.004	+0.020	+0.022	
1.00	0	0	+0.077	0	+0.043	0	-0.129	0	-0.033	0	-0.006	0.75	0	0	+0.052	0	+0.023	0	-0.064	0	-0.021	0	-0.000	
	1/4	+0.030	+0.066	+0.018	+0.039	-0.024	-0.118	-0.007	-0.024	+0.002	+0.004		1/4	+0.019	+0.048	+0.009	+0.024	-0.014	-0.068	-0.002	-0.013	+0.001	+0.005	
	1/2	+0.050	+0.052	+0.036	+0.033	-0.021	-0.106	+0.011	-0.003	+0.023	+0.020		1/2	+0.036	+0.041	+0.023	+0.023	-0.014	-0.069	+0.005	-0.004	+0.011	+0.012	
0.75	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.118	0	-0.074	0	-0.060	0.50	0	0	+0.054	0	+0.027	0	-0.058	0	-0.037	0	-0.023	
	1/4	+0.030	+0.067	+0.020	+0.043	-0.021	-0.105	-0.015	-0.056	-0.010	-0.042		1/4	+0.019	+0.050	+0.010	+0.027	-0.012	-0.062	-0.005	-0.025	-0.005	-0.013	
	1/2	+0.051	+0.054	+0.038	+0.035	-0.019	-0.095	-0.000	-0.022	+0.015	+0.010		1/2	+0.037	+0.042	+0.024	+0.025	-0.013	-0.064	-0.000	-0.015	+0.001	+0.000	
0.50	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.25	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.25	0	0	+0.078	0	+0.047	0	-0.130	0	-0.126	0	-0.123	0.125	0	0	+0.057	0	+0.030	0	-0.065	0	-0.064	0	-0.061	
	1/4	+0.029	+0.065	+0.019	+0.041	-0.022	-0.111	-0.011	-0.039	-0.004	-0.018		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.050	+0.053	+0.037	+0.034	-0.020	-0.100	+0.005	-0.012	+0.015	+0.010		1/2	+0.037	+0.042	+0.024	+0.025	-0.013	-0.064	-0.000	-0.015	+0.001	+0.000	
0.125	0	0	+0.078	0	+0.047	0	-0.130	0	-0.126	0	-0.123	0.0625	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.0625	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.118	0	-0.074	0	-0.060	0.03125	0	0	+0.054	0	+0.027	0	-0.058	0	-0.037	0	-0.023	
	1/4	+0.030	+0.067	+0.020	+0.043	-0.021	-0.105	-0.015	-0.056	-0.010	-0.042		1/4	+0.019	+0.048	+0.009	+0.024	-0.014	-0.068	-0.002	-0.013	+0.001	+0.005	
	1/2	+0.051	+0.054	+0.038	+0.035	-0.019	-0.095	-0.000	-0.022	+0.015	+0.010		1/2	+0.037	+0.042	+0.024	+0.025	-0.013	-0.064	-0.000	-0.015	+0.001	+0.000	
0.03125	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.015625	0	0	+0.054	0	+0.027	0	-0.058	0	-0.037	0	-0.023	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.019	+0.050	+0.010	+0.027	-0.012	-0.062	-0.005	-0.025	-0.005	-0.013	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.037	+0.042	+0.024	+0.025	-0.013	-0.064	-0.000	-0.015	+0.001	+0.000	
0.015625	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.0078125	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.0078125	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.00390625	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.00390625	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.001953125	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.001953125	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.0009765625	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.0009765625	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.00048828125	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051	+0.053	+0.037	+0.036	-0.018	-0.090	-0.011	-0.051	-0.006	-0.045		1/2	+0.038	+0.043	+0.025	+0.026	-0.012	-0.062	-0.005	-0.029	-0.007	-0.015	
0.00048828125	0	0	+0.079	0	+0.047	0	-0.120	0	-0.098	0	-0.092	0.000244140625	0	0	+0.055	0	+0.030	0	-0.058	0	-0.049	0	-0.044	
	1/4	+0.029	+0.066	+0.020	+0.042	-0.021	-0.107	-0.020	-0.079	-0.016	-0.070		1/4	+0.018	+0.051	+0.011	+0.029	-0.012	-0.062	-0.009	-0.040	-0.010	-0.031	
	1/2	+0.051																						

Table VI. Moment Coefficients for Tanks with Walls Hinged at Top and Bottom

Moment = Coef.  $\times wa^3$

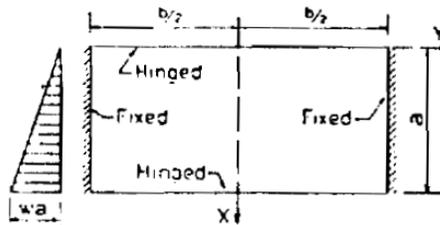


b/a = 3.0											b/a = 2.0												
c/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2		z = c/4		z = 0		c/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2		z = c/4		z = 0	
		M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>			M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>																
3.00	1/4	+0.35	+0.10	+0.26	+0.11	-0.08	-0.39	+0.26	+0.11	+0.35	+0.10	2.00	1/4	+0.25	+0.13	+0.15	+0.09	-0.07	-0.37	+0.15	+0.09	+0.25	+0.13
	1/2	+0.57	+0.16	+0.44	+0.17	-0.13	-0.63	+0.44	+0.17	+0.57	+0.16		1/2	+0.42	+0.20	+0.28	+0.15	-0.12	-0.59	+0.28	+0.15	+0.42	+0.20
	3/4	+0.51	+0.13	+0.41	+0.14	-0.11	-0.55	+0.41	+0.14	+0.51	+0.13		3/4	+0.40	+0.16	+0.29	+0.13	-0.11	-0.53	+0.29	+0.13	+0.40	+0.16
2.50	1/4	+0.35	+0.10	+0.26	+0.11	-0.08	-0.39	+0.21	+0.10	+0.31	+0.11	1.75	1/4	+0.25	+0.13	+0.15	+0.09	-0.07	-0.36	+0.11	+0.08	+0.20	+0.13
	1/2	+0.57	+0.16	+0.44	+0.17	-0.12	-0.62	+0.36	+0.17	+0.52	+0.17		1/2	+0.42	+0.20	+0.28	+0.15	-0.12	-0.58	+0.22	+0.13	+0.35	+0.21
	3/4	+0.51	+0.13	+0.41	+0.14	-0.11	-0.55	+0.36	+0.14	+0.47	+0.14		3/4	+0.40	+0.16	+0.29	+0.13	-0.10	-0.52	+0.24	+0.12	+0.35	+0.17
1.50	1/4	+0.35	+0.10	+0.26	+0.11	-0.08	-0.38	+0.15	+0.10	+0.25	+0.13	1.50	1/4	+0.25	+0.13	+0.16	+0.09	-0.07	-0.34	+0.07	+0.06	+0.14	+0.13
	1/2	+0.57	+0.16	+0.45	+0.17	-0.12	-0.62	+0.28	+0.15	+0.43	+0.20		1/2	+0.43	+0.20	+0.28	+0.15	-0.11	-0.56	+0.15	+0.11	+0.27	+0.21
	3/4	+0.51	+0.13	+0.42	+0.14	-0.11	-0.54	+0.29	+0.13	+0.41	+0.16		3/4	+0.41	+0.16	+0.29	+0.13	-0.10	-0.50	+0.19	+0.10	+0.29	+0.17
1.00	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.07	-0.37	+0.11	+0.08	+0.20	+0.13	1.25	1/4	+0.26	+0.13	+0.16	+0.10	-0.06	-0.32	+0.03	+0.03	+0.07	+0.11
	1/2	+0.57	+0.15	+0.45	+0.17	-0.12	-0.60	+0.21	+0.13	+0.36	+0.20		1/2	+0.43	+0.20	+0.29	+0.15	-0.10	-0.52	+0.08	+0.07	+0.18	+0.19
	3/4	+0.51	+0.13	+0.42	+0.14	-0.11	-0.53	+0.24	+0.12	+0.36	+0.16		3/4	+0.41	+0.16	+0.30	+0.13	-0.10	-0.48	+0.13	+0.08	+0.21	+0.16
0.75	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.07	-0.37	+0.11	+0.08	+0.20	+0.13	1.00	1/4	+0.26	+0.13	+0.17	+0.10	-0.06	-0.28	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08
	1/2	+0.57	+0.15	+0.45	+0.17	-0.11	-0.57	+0.15	+0.10	+0.27	+0.20		1/2	+0.44	+0.20	+0.30	+0.16	-0.09	-0.46	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14
	3/4	+0.51	+0.13	+0.42	+0.14	-0.10	-0.51	+0.19	+0.11	+0.29	+0.17		3/4	+0.41	+0.16	+0.31	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13
0.50	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.32	+0.03	+0.03	+0.08	+0.11	0.75	1/4	+0.27	+0.13	+0.18	+0.10	-0.05	-0.24	-0.03	-0.04	-0.01	+0.02
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.11	-0.53	+0.08	+0.06	+0.17	+0.17		1/2	+0.45	+0.20	+0.31	+0.16	-0.08	-0.40	-0.02	-0.04	+0.00	+0.05
	3/4	+0.51	+0.13	+0.42	+0.14	-0.10	-0.48	+0.13	+0.08	+0.21	+0.16		3/4	+0.42	+0.16	+0.32	+0.14	-0.08	-0.41	+0.02	-0.02	+0.05	+0.08
0.25	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	0.50	1/4	+0.27	+0.13	+0.19	+0.10	-0.04	-0.21	-0.04	-0.10	-0.04	-0.07
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.46	+0.20	+0.33	+0.17	-0.07	-0.34	-0.06	-0.15	-0.06	-0.09
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.42	+0.16	+0.32	+0.15	-0.07	-0.37	-0.03	-0.10	-0.02	-0.03
0.15	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	b/a = 1.5											
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14	c/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2		z = c/4		z = 0	
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13			M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>								
0.10	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	1.50	1/4	+0.15	+0.13	+0.08	+0.07	-0.06	-0.32	+0.08	+0.07	+0.15	+0.13
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.28	+0.21	+0.16	+0.11	-0.10	-0.52	+0.16	+0.11	+0.28	+0.21
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.30	+0.17	+0.20	+0.11	-0.10	-0.48	+0.20	+0.11	+0.30	+0.17
0.075	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	1.25	1/4	+0.16	+0.13	+0.09	+0.08	-0.06	-0.29	+0.04	+0.04	+0.09	+0.12
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.29	+0.21	+0.17	+0.12	-0.10	-0.49	+0.09	+0.08	+0.18	+0.19
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.30	+0.17	+0.20	+0.12	-0.09	-0.45	+0.14	+0.09	+0.23	+0.16
0.050	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	1.00	1/4	+0.16	+0.13	+0.10	+0.09	-0.05	-0.25	+0.00	+0.01	+0.03	+0.08
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.30	+0.21	+0.19	+0.12	-0.09	-0.43	+0.03	+0.03	+0.08	+0.14
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.31	+0.17	+0.21	+0.13	-0.08	-0.41	+0.08	+0.05	+0.14	+0.14
0.025	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	0.75	1/4	+0.18	+0.14	+0.11	+0.10	-0.04	-0.21	-0.02	-0.03	-0.01	+0.02
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.32	+0.22	+0.21	+0.14	-0.07	-0.36	-0.02	-0.04	+0.01	+0.05
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.32	+0.18	+0.22	+0.14	-0.07	-0.36	+0.02	-0.00	+0.06	+0.08
0.015	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	0.50	1/4	+0.20	+0.16	+0.13	+0.12	-0.03	-0.17	-0.03	-0.09	-0.04	-0.06
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.35	+0.24	+0.23	+0.18	-0.06	-0.31	-0.06	-0.14	-0.05	-0.07
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.34	+0.20	+0.24	+0.16	-0.07	-0.33	-0.03	-0.08	-0.01	-0.01
0.010	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	b/a = 1.0											
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14	c/a	z/a	y = 0		y = b/4		y = b/2		z = c/4		z = 0	
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13			M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>								
0.0075	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	1.00	1/4	+0.05	+0.09	+0.02	+0.03	-0.04	-0.20	+0.02	+0.03	+0.05	+0.09
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.11	+0.16	+0.06	+0.06	-0.07	-0.35	+0.06	+0.06	+0.11	+0.16
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.16	+0.15	+0.09	+0.07	-0.07	-0.35	+0.09	+0.07	+0.16	+0.15
0.0050	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	0.75	1/4	+0.06	+0.10	+0.03	+0.04	-0.03	-0.16	+0.00	+0.00	+0.01	+0.05
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.13	+0.17	+0.08	+0.08	-0.06	-0.29	+0.01	+0.01	+0.05	+0.09
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.17	+0.16	+0.10	+0.08	-0.06	-0.31	+0.04	+0.03	+0.08	+0.10
0.0025	1/4	+0.35	+0.10	+0.27	+0.11	-0.06	-0.29	-0.01	+0.00	+0.02	+0.08	0.50	1/4	+0.07	+0.11	+0.05	+0.06	-0.02	-0.10	-0.02	-0.05	-0.03	-0.02
	1/2	+0.57	+0.15	+0.46	+0.17	-0.10	-0.48	+0.02	+0.02	+0.07	+0.14		1/2	+0.15	+0.18	+0.10	+0.10	-0.04	-0.21	-0.03	-0.07	-0.03	-0.02
	3/4	+0.51	+0.13	+0.43	+0.14	-0.09	-0.44	+0.07	+0.04	+0.13	+0.13		3/4	+0.18	+0.16	+0.12	+0.10	-0.05	-0.26	-0.01	-0.04	-0.00	+0.01



$b/a$	$\frac{1}{2}$	1	2	3
Midpoint of bottom edge	$+0.141 wa^2$	$+0.242 wa^2$	$+0.38 wa^2 \dagger$	$+0.45 wa^2 \dagger$
Corner of bottom edge	$-0.258 wa^2 \ddagger$	$-0.440 wa^2$	$-0.583 wa^2$	$-0.590 wa^2$
Top of fixed side edge	$0.000 wa^2$	$+0.010 wa^2$	$+0.100 wa^2$	$+0.165 wa^2$
Midpoint of fixed side edge	$+0.128 wa^2$	$+0.258 wa^2$	$+0.375 wa^2$	$+0.406 wa^2$
Lower third-point of side edge	$+0.174 wa^2$	$+0.311 wa^2$	$+0.406 wa^2$	$+0.416 wa^2$
Lower quarter point of side edge	$+0.192 wa^2$	$+0.315 wa^2$	$+0.390 wa^2$	$+0.398 wa^2$
Total at bottom edge	$0.048 wa^2 b$	$0.096 wa^2 b$	$0.204 wa^2 b$	$0.286 wa^2 b$
Total at one fixed side edge	$0.226 wa^2 b$	$0.202 wa^2 b$	$0.148 wa^2 b$	$0.107 wa^2 b$
Total at all four edges	$0.500 wa^2 b$	$0.500 wa^2 b$	$0.500 wa^2 b$	$0.500 wa^2 b$

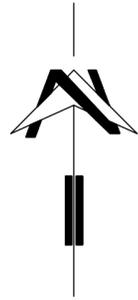
\*Data derived by modifying values computed for walls hinged top and bottom.  
 †This value could not be estimated accurately beyond two decimal places.  
 ‡Negative sign indicates reaction acts in direction of load.



$b/a$	$\frac{1}{2}$	1	2	5	10	Infinity
Mid-point of bottom edge	$+0.1407 wa^2$	$+0.2419 wa^2$	$+0.3290 wa^2$			$+0.3333 wa^2$
Corner at bottom edge	$-0.2575 wa^2 \dagger$	$-0.4397 wa^2$	$-0.5833 wa^2$			$-0.6000 wa^2$
Mid-point of fixed side edge	$+0.1280 wa^2$	$+0.2582 wa^2$	$+0.3604 wa^2$			$+0.3912 wa^2$
Lower third-point of side edge	$+0.1736 wa^2$	$+0.3113 wa^2$	$+0.4023 wa^2$			$+0.4116 wa^2$
Lower quarter-point of side edge	$+0.1919 wa^2$	$+0.3153 wa^2$	$+0.3904 wa^2$			$+0.3980 wa^2$
Total at top edge	$0.0000 wa^2 b$	$0.0052 wa^2 b$	$0.0538 wa^2 b$	$0.1203 wa^2 b$	$0.1435 wa^2 b$	$0.1667 wa^2 b$
Total of bottom edge	$0.0480 wa^2 b$	$0.0960 wa^2 b$	$0.1818 wa^2 b$	$0.2715 wa^2 b$	$0.3023 wa^2 b$	$0.3333 wa^2 b$
Total at one fixed side edge	$0.2260 wa^2 b$	$0.1994 wa^2 b$	$0.1322 wa^2 b$	$0.0541 wa^2 b$	$0.0271 wa^2 b$	$0.275 wa^2 b$
Total at all four edges	$0.5000 wa^2 b$	$0.5000 wa^2 b$	$0.5000 wa^2 b$	$0.5000 wa^2 b$	$0.5000 wa^2 b$	$0.5000 wa^2 b$

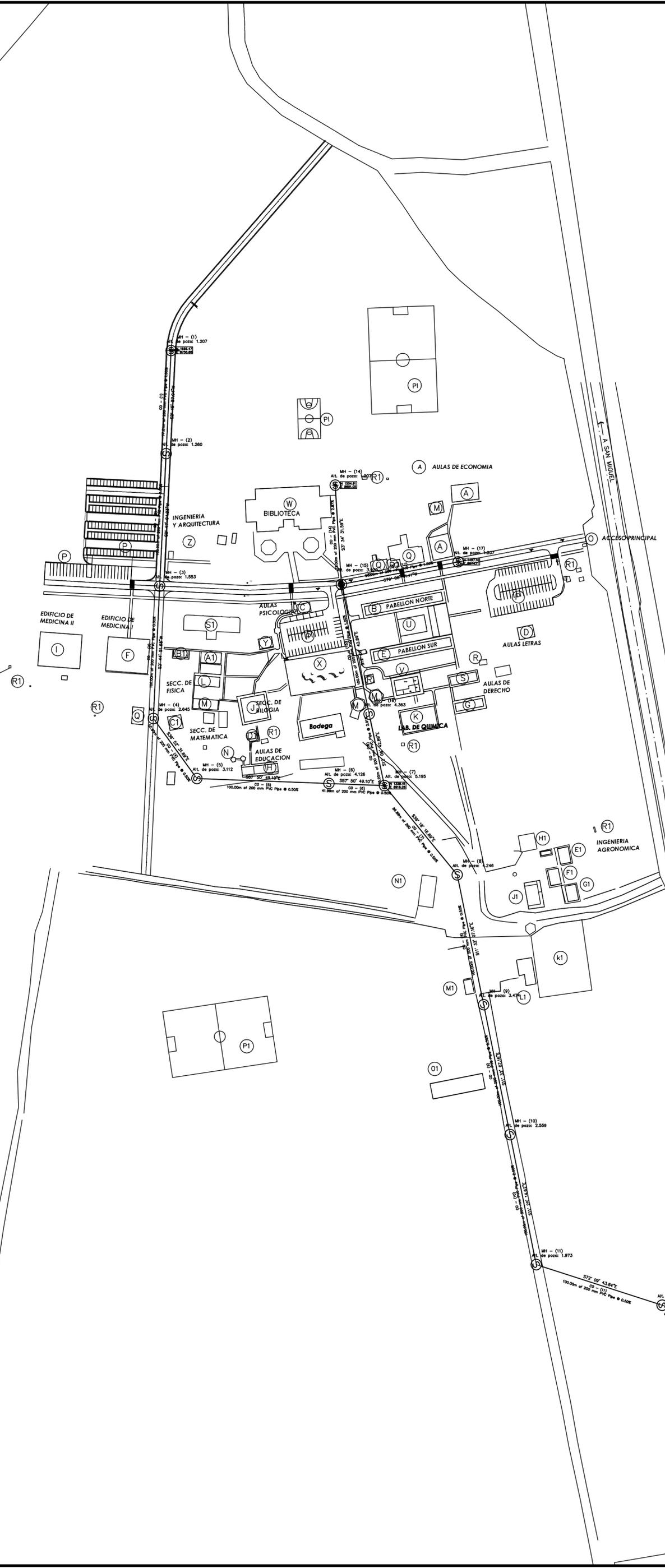
\*Estimated.  
 †Negative sign indicates reaction acts in direction of load.

# ANEXOS E

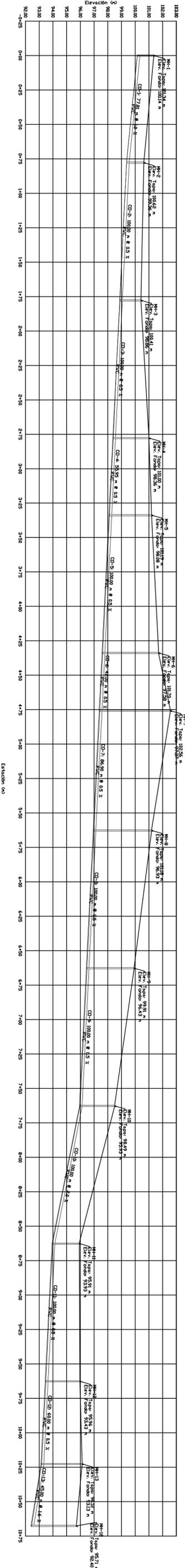


**SIMBOLOGIA**

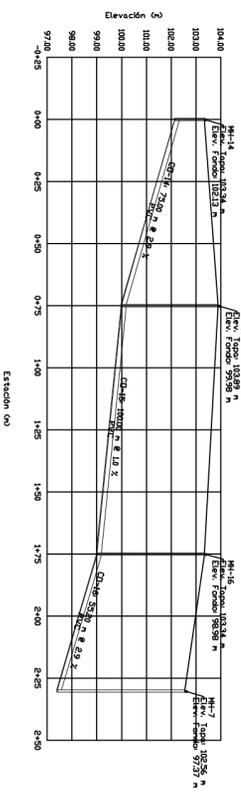
- |   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>(A) AULAS DE ECONOMIA</b><br/>AULA No 1<br/>AULA No 2<br/>AULA No 3<br/>AUDITORIUM 4</p> <p><b>(B) PABELLON NORTE</b><br/>AULA No4<br/>AULA No5<br/>AULA No6<br/>AULA No7<br/>BAÑOS<br/>AULA No 8<br/>AULA No 9</p> <p><b>(C) AULAS DE PSICOLOGIA</b><br/>AULA No.10<br/>AULA No.11</p> <p><b>(D) AULA DE LETRAS</b><br/>AULA 12<br/>AULA 13</p> <p><b>(E) PABELLON SUR</b><br/>AULA No14<br/>AULA No15<br/>AULA No16<br/>BAÑOS<br/>AULA No17 (DIBUJO)<br/>AULANo18<br/>AULA No19<br/>AULA No20<br/>AULA No21</p> <p><b>(J) SECCION BIOLOGIA</b><br/>AULA A<br/>AULA B<br/>AULA C (LAB. MICROBIOLOGIA)<br/>CUBICULOS</p> <p><b>(K) LAB. DE QUIMICA</b><br/>CUBICULOS<br/>LABORATORIO<br/>LABORATORIO<br/>AULA CORREDOR</p> <p><b>(L) SECCION DE FISICA</b><br/>LABORATORIO DE FISICA 1 Y 2<br/>CUBICULOS</p> <p><b>(M) SECCION DE MATEMATICA</b><br/>SNET<br/>CUBICULOS</p> | <p><b>(F) EDIFICIO DE MEDICINA I</b><br/>PLANTA BAJA<br/>AULA No23<br/>AULA No24<br/>AULA No25<br/>AULA No26<br/>AULA No27<br/>AULA No28<br/>AULA No29<br/>BIBLIOTECA</p> <p><b>(G) AULAS DE DERECHO</b><br/>AULA No30<br/>AULA No31</p> <p><b>(H) AULAS DE EDUCACION</b><br/>AULA 32<br/>AULA 33<br/>AULA 34</p> <p><b>(I) EDIFICIO DE MEDICINA II</b><br/>PLANTA BAJA<br/>AULA HABILIDADES Y DESTREZAS<br/>AULA PATOLOGIA<br/>AULA MICRO ANATOMIA<br/>AULA MACRO ANATOMIA<br/>AULA FISO TERAPIA<br/>CLINICA MEDICA DEL FUP</p> <p><b>(J) SECCION BIOLOGIA</b><br/>AULA A<br/>AULA B<br/>AULA C (LAB. MICROBIOLOGIA)<br/>CUBICULOS</p> <p><b>(K) LAB. DE QUIMICA</b><br/>CUBICULOS<br/>LABORATORIO<br/>LABORATORIO<br/>AULA CORREDOR</p> <p><b>(L) SECCION DE FISICA</b><br/>LABORATORIO DE FISICA 1 Y 2<br/>CUBICULOS</p> <p><b>(M) SECCION DE MATEMATICA</b><br/>SNET<br/>CUBICULOS</p> | <p><b>(N) KIOSKO</b></p> <p><b>(O) ACCESO PRINCIPAL</b></p> <p><b>(P) PARQUEO</b></p> <p><b>(Q) CAFETINES</b></p> <p><b>(R) FOTOCOPIADORAS</b></p> <p><b>(S) DPTO. DE DERECHO</b></p> <p><b>(U) AUDITORIUM 1</b></p> <p><b>(V) ADMINISTRACION ACADEMICA</b></p> <p><b>(W) BIBLIOTECA</b></p> <p><b>(X) RIÑÓN (CUBICULOS DOCENTES)</b></p> <p><b>(Y) LIBRERIA</b></p> <p><b>(Z) DPTO. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA, MANTENIMIENTO</b></p> <p><b>(A1) AULA 22</b></p> <p><b>(B1) LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b></p> <p><b>(C1) ESTACION METEOROLOGICA</b></p> <p><b>(D1) ASOCIACION ESTUDIANTIL</b></p> <p><b>(E1) AULAS A-1,A-2</b></p> <p><b>(F1) AULAS A-3,A-4</b></p> <p><b>(G1) CUBICULOS</b></p> <p><b>(H1) BAÑOS</b></p> <p><b>(J1) BODEGA<br/>CORREDOR 1<br/>CORREDOR 2</b></p> <p><b>(K1) VIVERO</b></p> <p><b>(L1) GALERA / BODEGA</b></p> <p><b>(M1) GALERA / BODEGA</b></p> <p><b>(N1) GALERA / BODEGA</b></p> <p><b>(O1) INVERNADERO</b></p> <p><b>(O1) INVERNADERO</b></p> <p><b>(P1) CANCHA DE FUTBOLL</b></p> <p><b>(Q1) CANCHA DE BASQUETBOL</b></p> <p><b>(R1) INTALACIONES SANITARIAS</b></p> <p><b>(S1) EDIFICIO EN CONSTRUCCIÓN</b></p> |
|---|--|--|



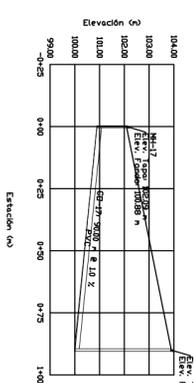
Contenido:	
Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental Red de alcantarillado sanitario Plano general	
Proyecto:	
Trabajo de graduación	
Presenta:	
Luis Eduardo Benítez Hernández Harold José Portillo Cortéz Noé Isaac Rivera Portillo	
Fecha:	Escala:
Noviembre de 2013	1:2000
Hoja:	
UES-FMO-AL-01	



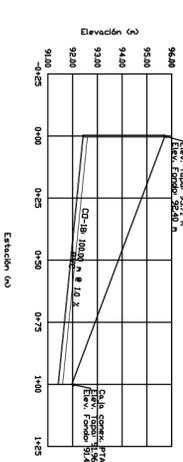
TRAMO 1



TRAMO 2



TRAMO 3



TRAMO 4

Id de tubería	Longitud de tramo (m)	Diámetro (mm)	Material	Coefficiente de Manning's	Flujo (L/s)	Capacidad (Tubo lleno) (L/s)	Velocidad (Máxima calculada) (m/s)	Pendiente (Calculada) (%)	Elevación de salida (m)	Elevación de llegada (m)	Nodo inicial	Nodo final
CO-1	77.81	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	0.000	47.433	0.00	1.00	100.14	99.36	MH-1	MH-2
CO-2	99.97	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	0.000	33.500	0.00	0.50	99.36	98.86	MH-2	MH-3
CO-3	100.02	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	2.430	33.500	0.49	0.50	98.86	98.36	MH-3	MH-4
CO-4	55.95	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	5.279	33.515	0.67	0.50	98.36	98.08	MH-4	MH-5
CO-5	41.99	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	5.274	33.500	0.70	0.50	98.08	97.58	MH-5	MH-6
CO-6	86.89	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	6.595	33.500	0.74	0.50	97.58	97.37	MH-6	MH-7
CO-7	86.89	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.073	33.711	0.98	0.50	97.37	96.93	MH-7	MH-8
CO-8	100.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.684	33.500	0.98	0.50	96.93	96.43	MH-8	MH-9
CO-9	100.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.682	33.500	0.98	0.50	96.43	95.93	MH-9	MH-10
CO-10	100.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.679	66.999	1.27	2.00	95.93	95.93	MH-10	MH-11
CO-11	100.01	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.678	33.500	0.98	0.50	95.93	95.43	MH-11	MH-12
CO-12	59.99	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.673	33.500	0.98	0.50	95.43	95.13	MH-12	MH-13
CO-13	45.01	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.670	60.341	1.29	1.60	95.13	93.13	MH-13	MH-18
CO-14	75.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	1336	80.213	0.35	2.90	102.13	99.98	MH-14	MH-15
CO-15	100.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	6.447	47.376	0.77	1.00	99.98	98.98	MH-15	MH-16
CO-16	55.20	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	7.273	80.909	0.85	2.90	98.98	97.37	MH-16	MH-7
CO-17	90.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	1.594	47.376	0.40	1.00	100.88	99.98	MH-17	MH-15
CO-18	100.00	200	PVC Corrugado (Novoflon)	0.009	14.667	47.376	1.26	1.00	92.40	91.40	MH-18	O-1

Id de pozo	Elevación del terreno (m)	Elevación de Tapa (m)	Elevación de Fondo (m)	Diámetro del pozo (cm)	Línea piezométrica (Entrada) (m)	Altura de pozo (m)
MH-1	101.34	101.34	100.14	900.00	100.14	1.20
MH-2	100.62	100.62	99.36	900.00	99.36	1.26
MH-3	100.41	100.41	98.86	900.00	98.86	1.55
MH-4	101.00	101.00	98.36	900.00	98.36	2.64
MH-5	101.19	101.19	98.08	900.00	98.08	3.11
MH-6	101.70	101.70	97.58	900.00	97.58	4.12
MH-7	102.56	102.56	97.37	900.00	97.37	5.19
MH-8	101.18	101.18	96.93	900.00	96.93	4.25
MH-9	99.91	99.91	96.43	900.00	96.43	3.48
MH-10	98.49	98.49	95.93	900.00	95.93	2.56
MH-11	95.91	95.91	93.93	900.00	93.93	1.98
MH-12	95.96	95.96	93.43	900.00	93.43	2.53
MH-13	96.12	96.12	93.13	900.00	93.13	2.99
MH-14	103.34	103.34	102.13	900.00	102.13	1.21
MH-15	103.89	103.89	99.98	900.00	99.98	3.91
MH-16	103.34	103.34	98.98	900.00	98.98	4.36
MH-17	102.09	102.09	100.88	900.00	100.88	1.21
MH-18	95.71	95.71	92.40	900.00	92.40	3.31
Caja conex. PFR	91.96	91.96	91.40	1.0x1.10	91.48	0.56

Contenido:  
 Universidad de El Salvador  
 Facultad Multidisciplinaria Oriental  
 Red de alcantarillado sanitario  
 Plano general

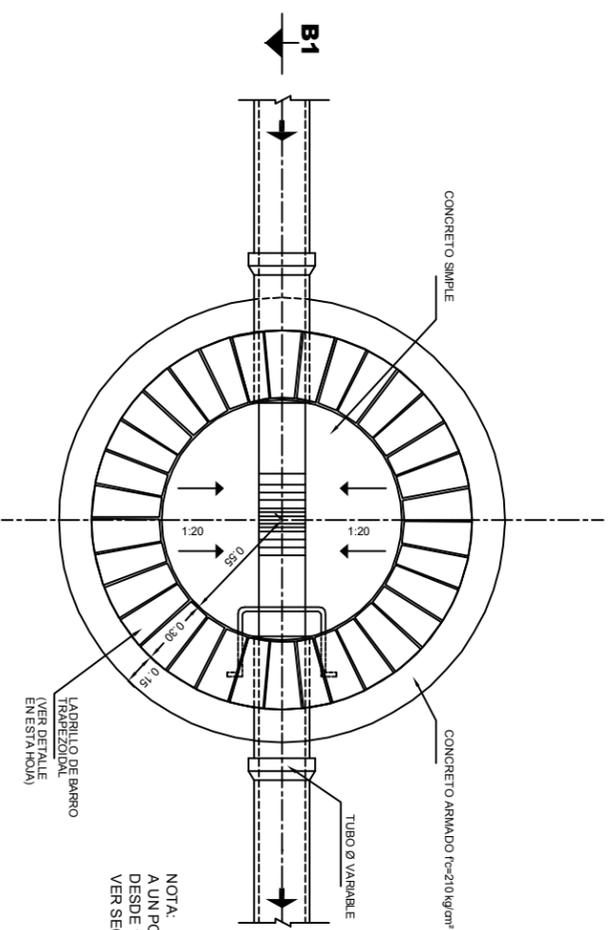
Proyecto:  
 Trabajo de graduación

Presenta:  
 Luis Eduardo Benítez Hernández  
 Harold José Portillo Cortéz  
 Noé Isaac Rivera Portillo

Fecha:  
 Noviembre de 2013

Escala:  
 1:5000

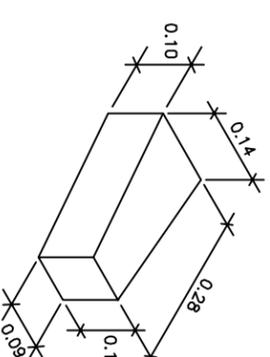
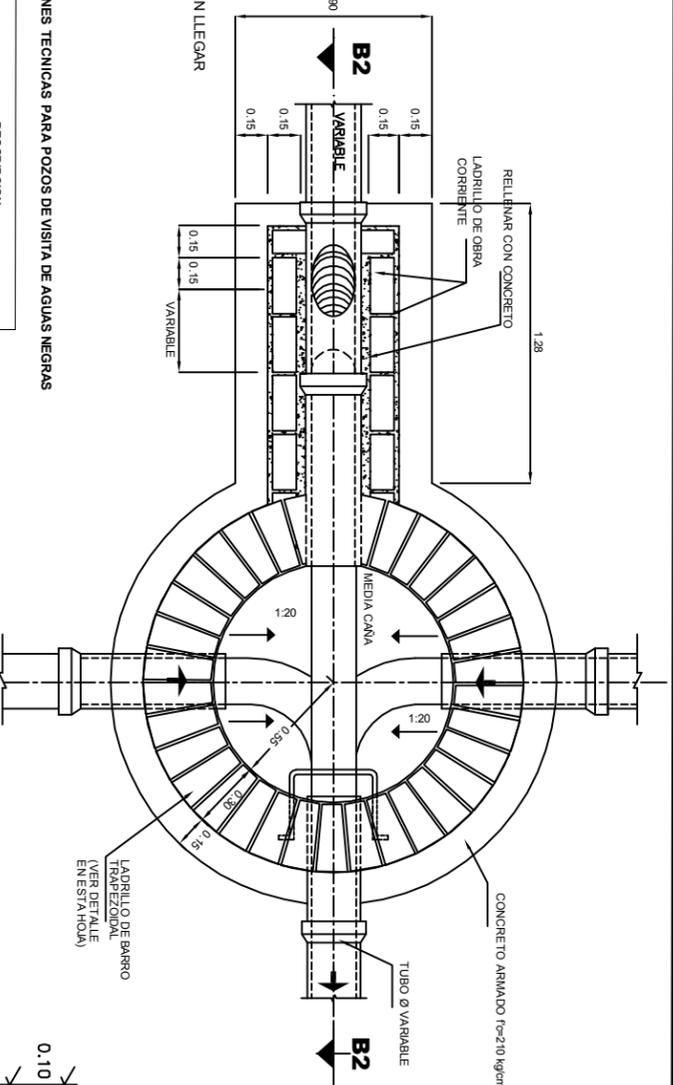
Hoja:  
 UES-FMD-AL-02



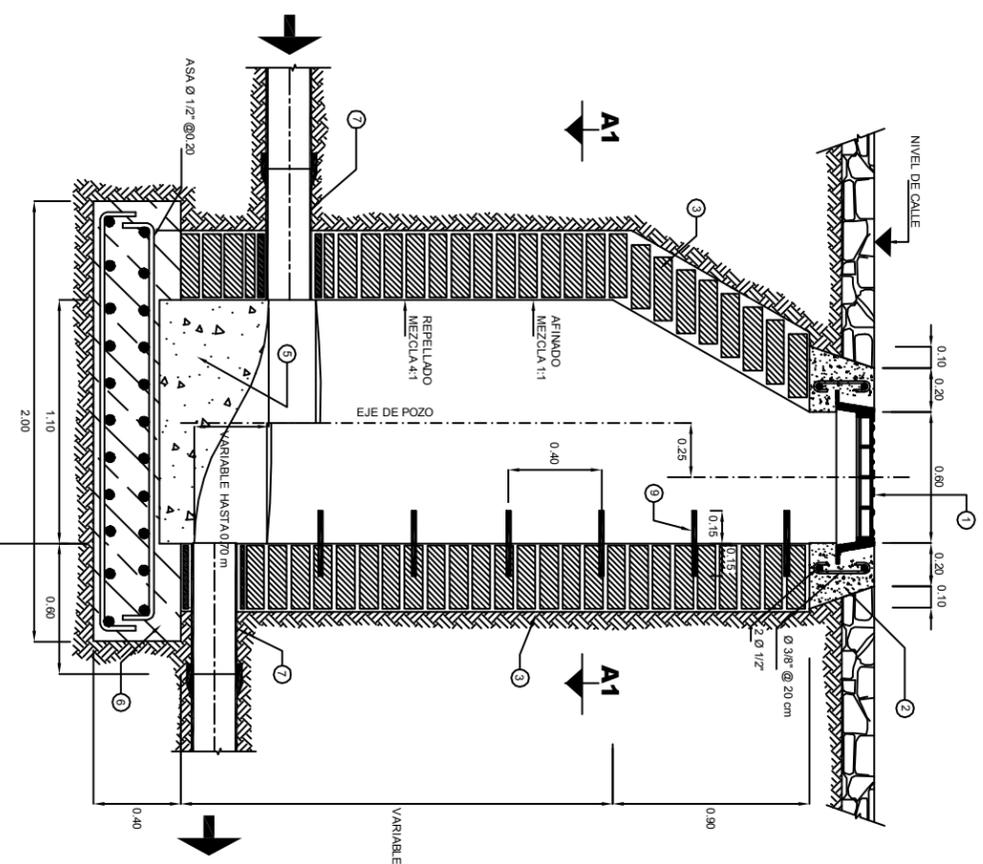
NOTA:  
A UN POZO DE VISITA PUEDEN LLEGAR  
DESDE 1 HASTA 3 TUBERIAS.  
VER SECCION A2-A2

ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA POZOS DE VISITA DE AGUAS NEGRAS

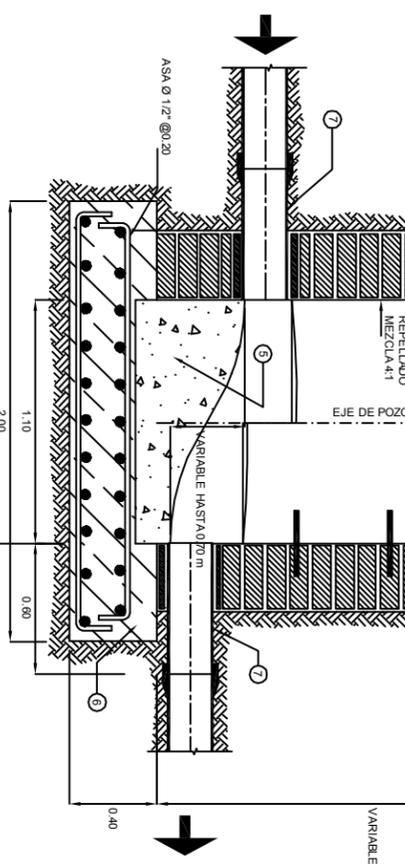
POSICION	DESCRIPCION
1	Tanque de hierro fundido dicitil ventilada. Clase D-400 para pozos en calles y carreteras. Clase B 1.25 para pozos en zonas peatonales y a campo traviesa.
2	Solera de concretamiento de concreto armado f'c = 280 kg/cm². Recubrimiento = 5 cm.
3	Pared circular de mampostería de ladrillo de barro ferrocimental. Lado interior repallado (mezcla 1:1) y alfinado (mezcla 4:1).
4	Pared de ladrillo de barro de obra puesto de izco.
5	Concreto simple f'c = 180 kg/cm².
6	Losas de fundación de concreto armado f'c = 210 kg/cm². Recubrimiento = 7 cm.
7	Tubería de diametro variable.
8	Yee, codos y accesorios para calda.
9	Pelillas de hierro soldado de 5/8" primadas con pintura anticorrosiva a cada 40 cm.



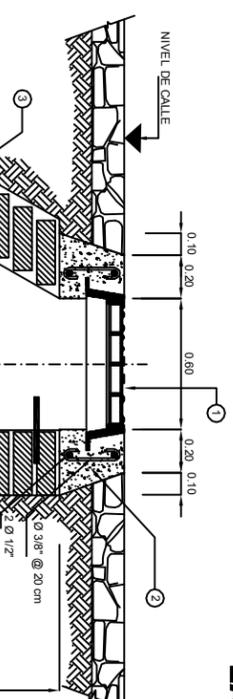
SECCION A1-A1  
POZO DE VISITA DE AGUAS NEGRAS  
ESCALA 1:20



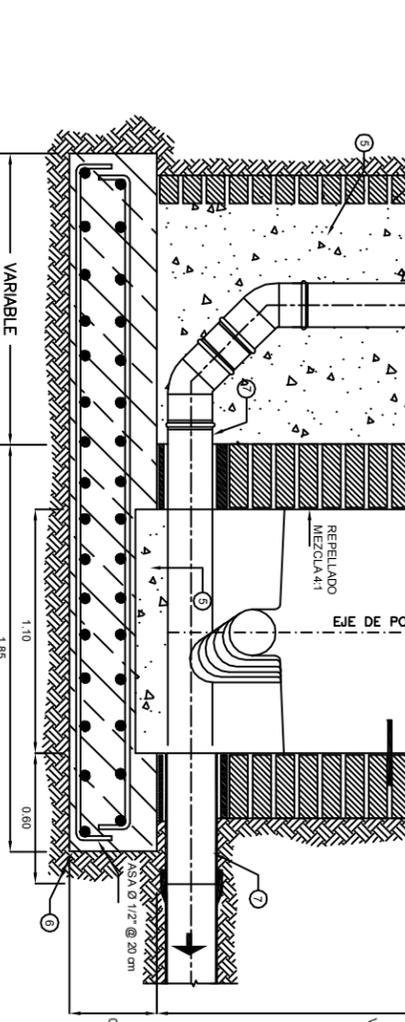
SECCION B1-B1  
POZO DE VISITA DE AGUAS NEGRAS  
ESCALA 1:20



SECCION A2-A2  
POZO DE VISITA DE AGUAS NEGRAS  
ESCALA 1:20



SECCION B2-B2  
POZO DE VISITA DE AGUAS NEGRAS CON CAIDA  
CUANDO LLEGUEN TUBERIAS CON MAS DE 0.70 m DE CAIDA  
ESCALA 1:20



Contenido:  
Universidad de El Salvador  
Facultad Multidisciplinaria Oriental  
Pozo de visita - Aguas Negras

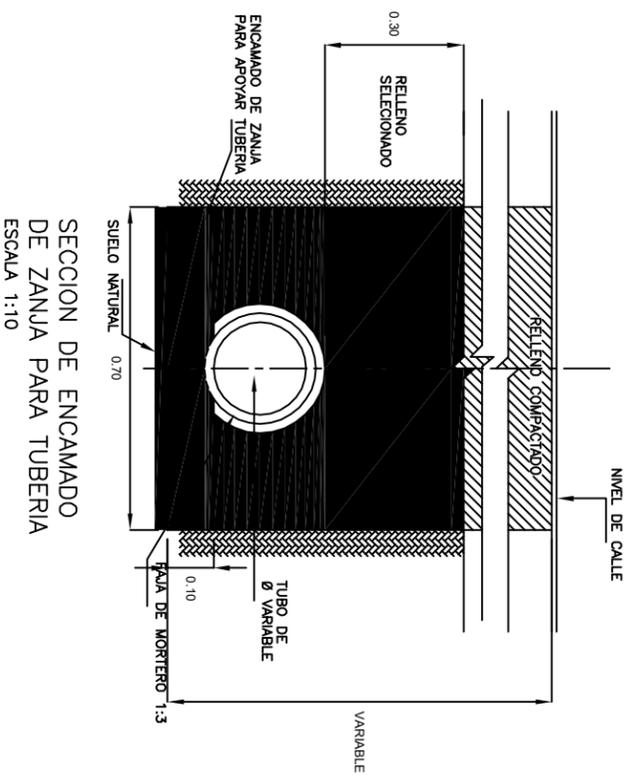
Proyecto:  
Trabajo de graduación

Presente:  
Luis Eduardo Benítez Hernández  
Harold José Portillo Cortéz  
Noé Isaac Rivera Portillo

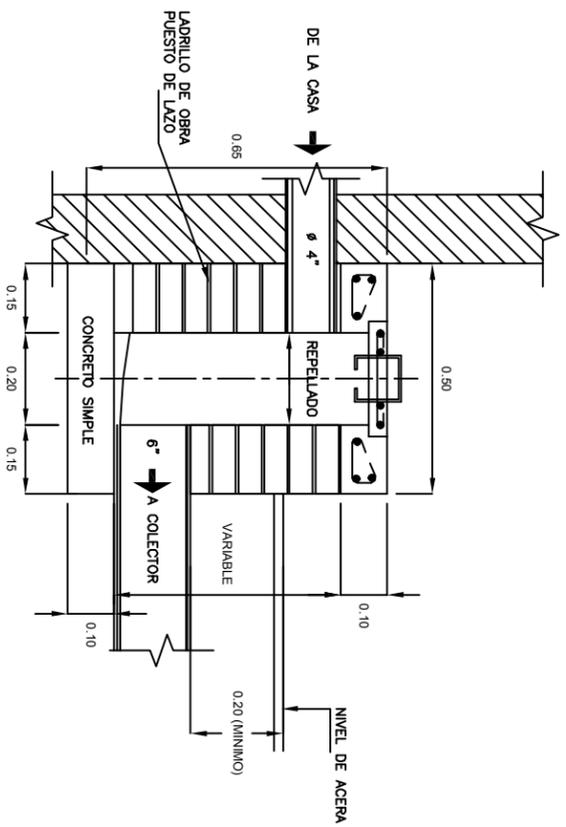
Fecha:  
Noviembre de 2013

Escala:  
Indicados

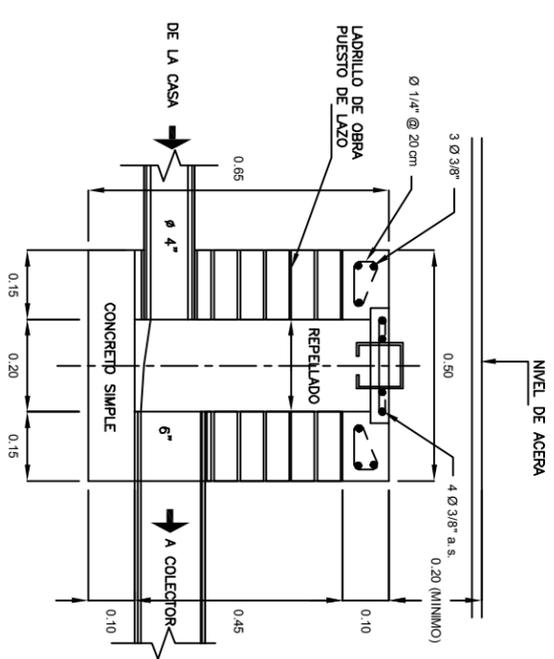
Hoja:  
UES-FMO-AL-TIPO-01



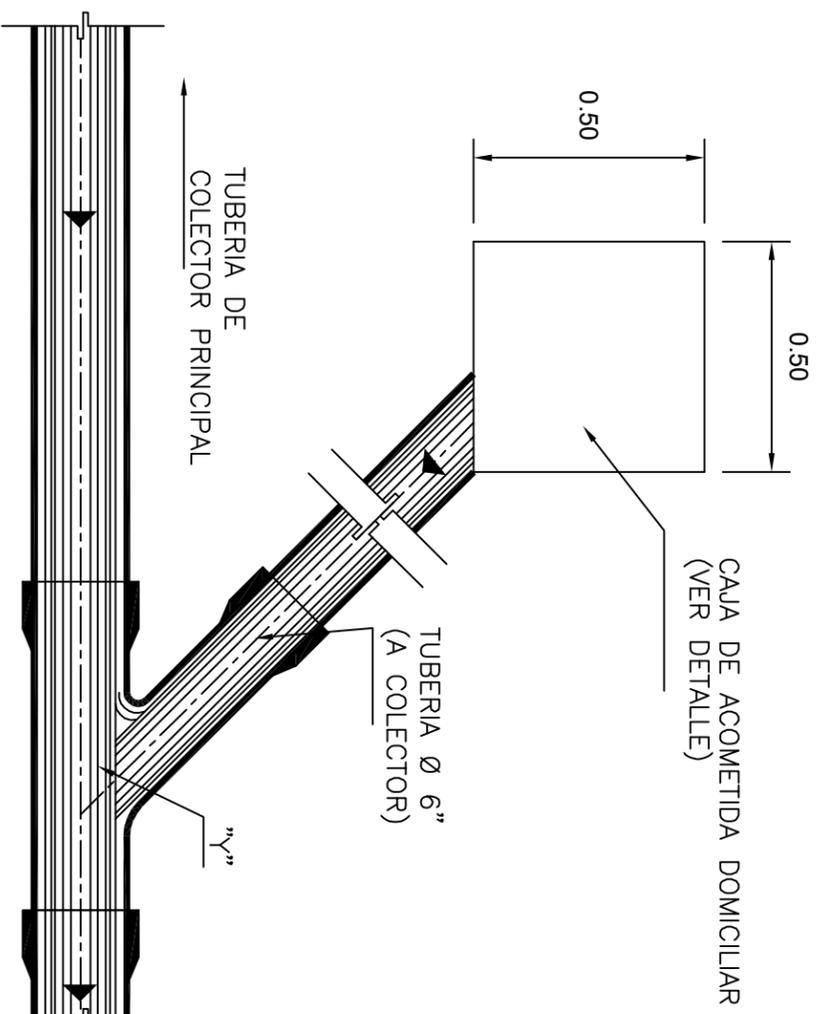
SECCION DE ENCAMADO DE ZANUA PARA TUBERIA  
ESCALA 1:10



SECCION A-A  
CAJA DE ACOMETIDA DOMICILIAR  
DE AGUAS NEGRAS  
TIPO 1A  
ESCALA 1:10



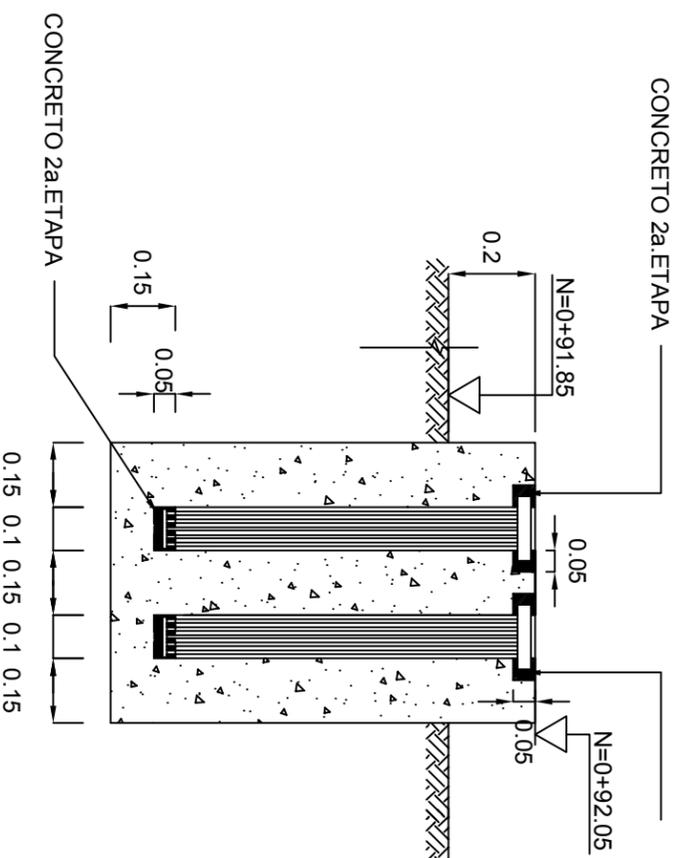
SECCION A-A  
CAJA DE ACOMETIDA DOMICILIAR  
DE AGUAS NEGRAS  
TIPO 1  
ESCALA 1:10



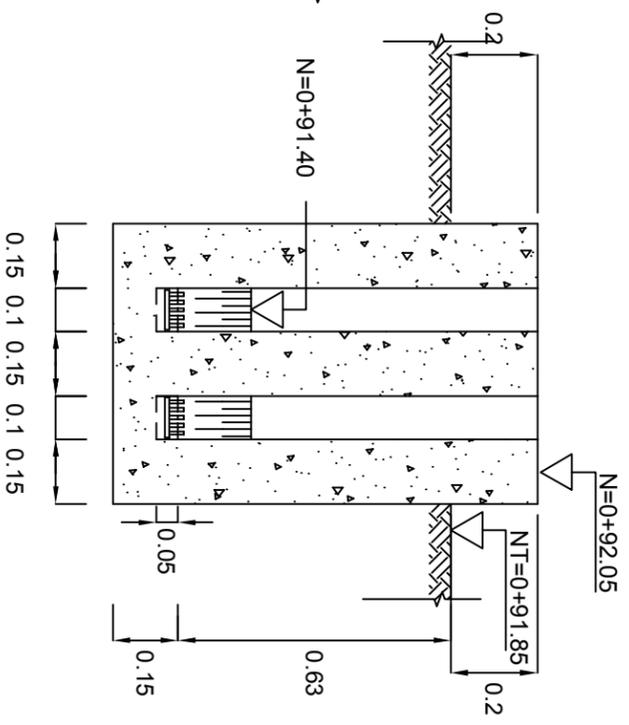
DETALLE "X" ESCALA 1:10

Contenido:	Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental Obras de conexión y protección	
Proyecto:	Trabajo de graduación	
Presenta:	Luis Eduardo Benítez Hernández Harold José Portillo Cortéz Noé Isaac Rivera Portillo	
Fecha:	Noviembre de 2013	Escala: 1:10
Hoja:	UES-FM0-AL-TIPO-02	

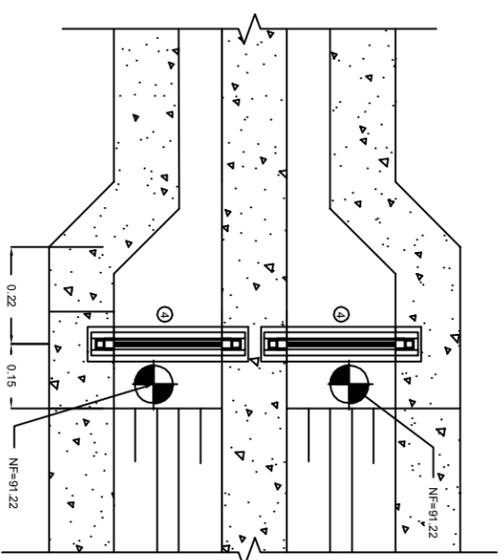




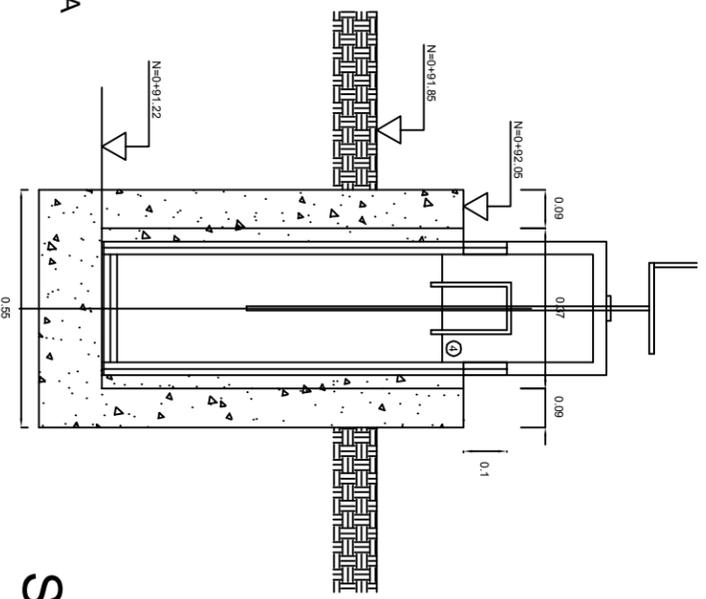
SECCION C-C



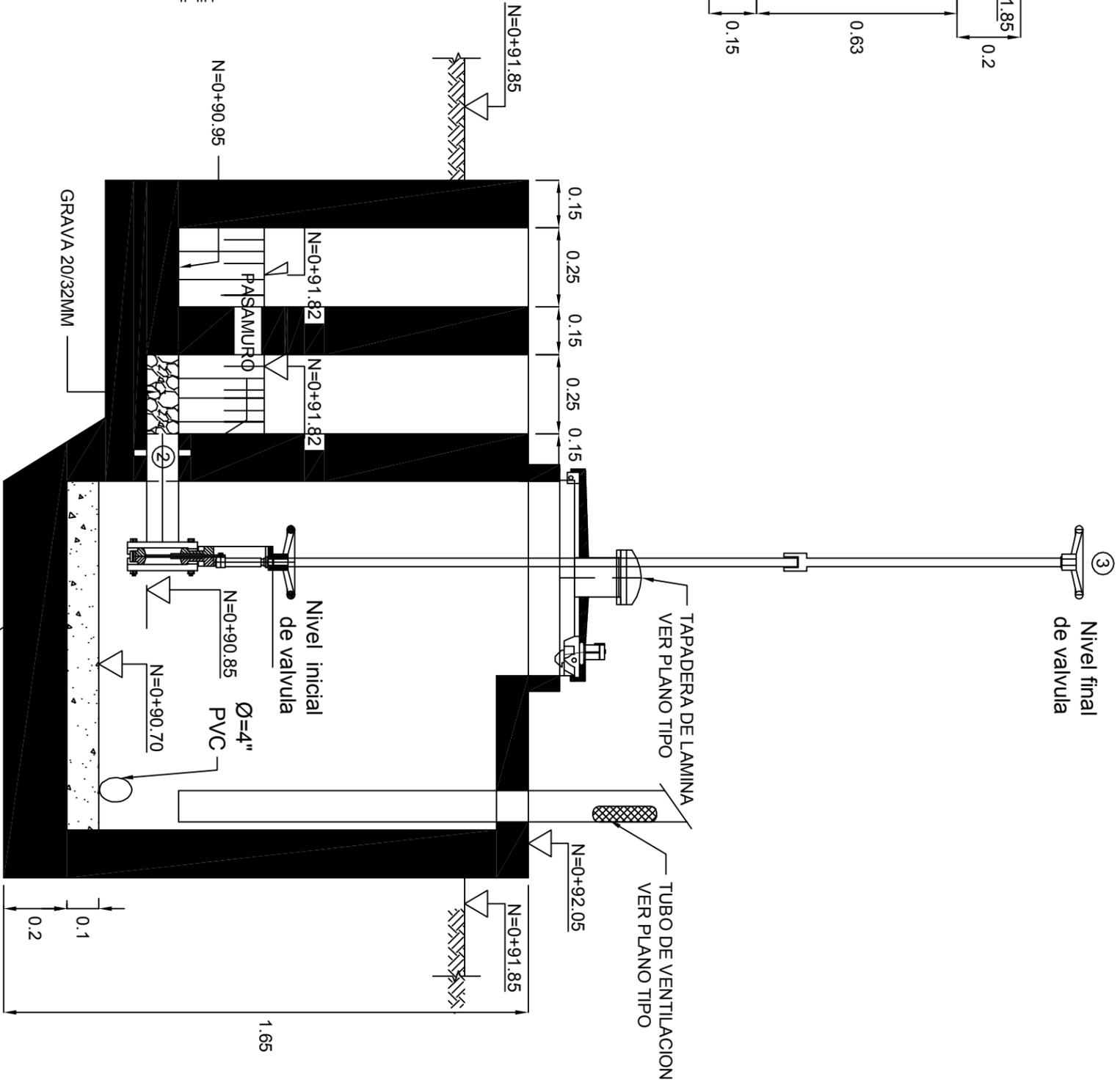
SECCION D-D

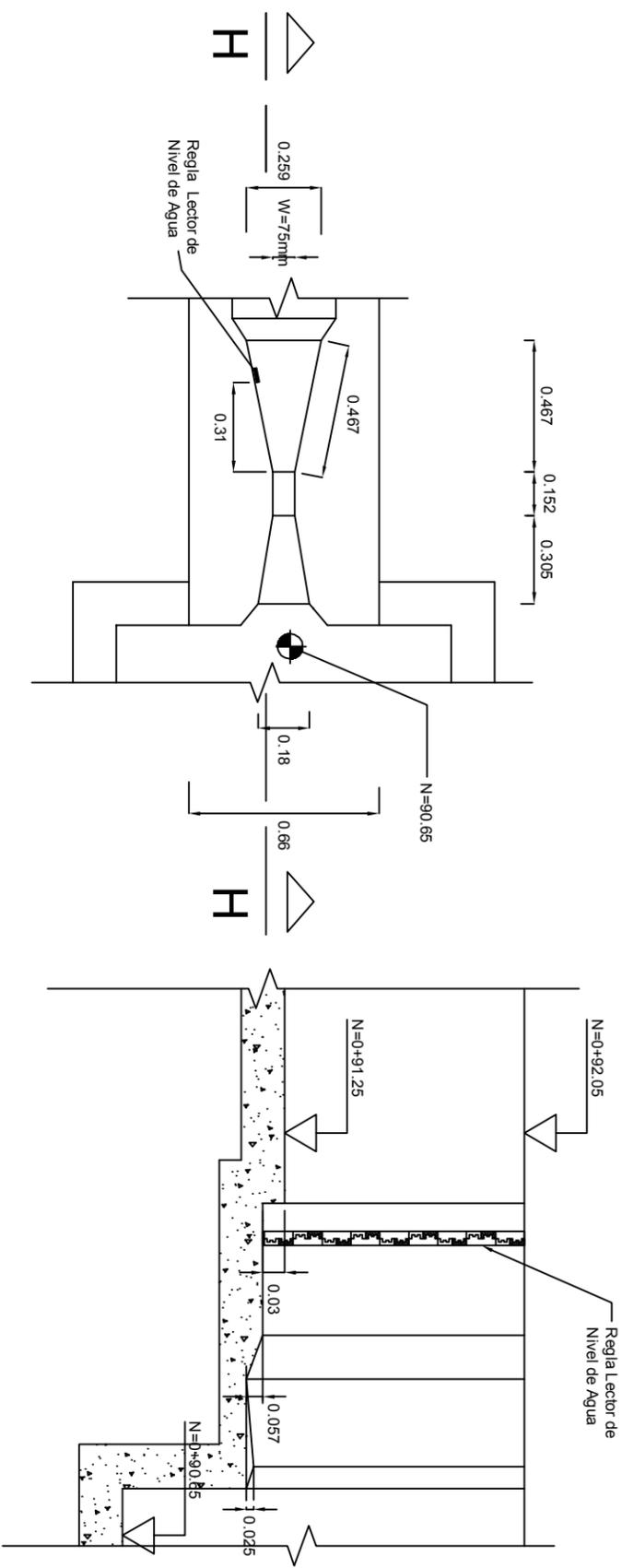


PLANTA DE COMPUERTA TIPO GUILLOTINA OPERADA MANUALMENTE DEL DESARENADOR

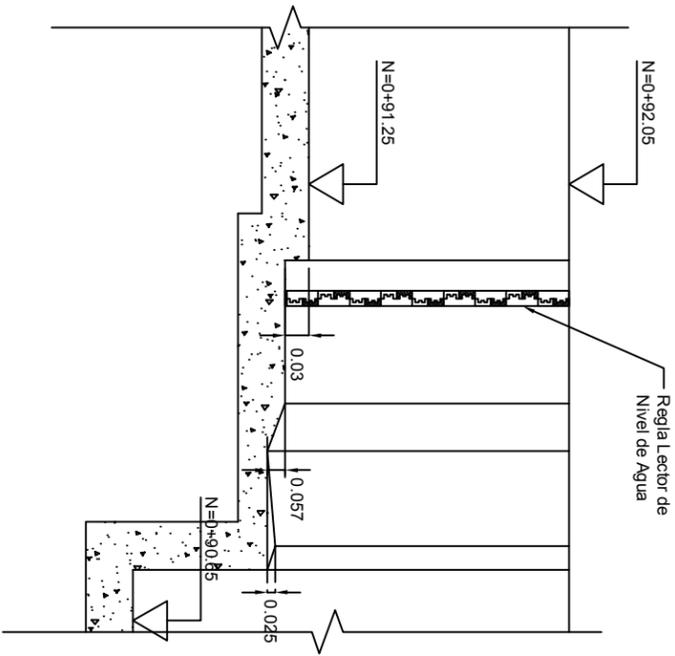


SECCION E-E DE DESARENADOR

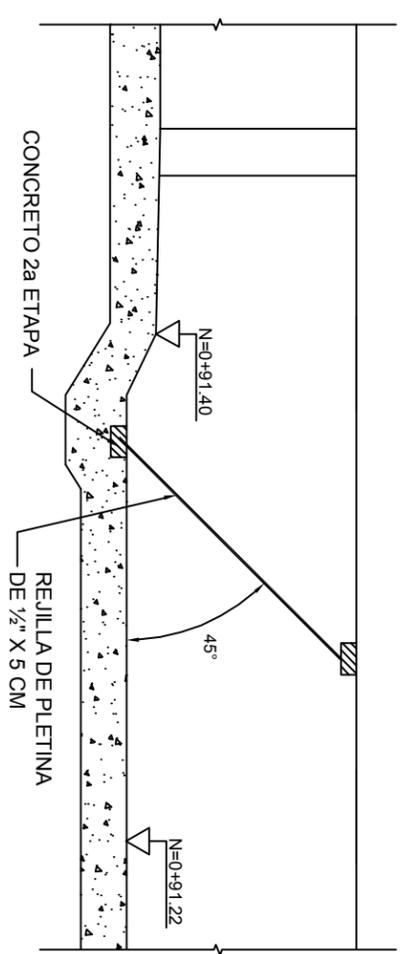




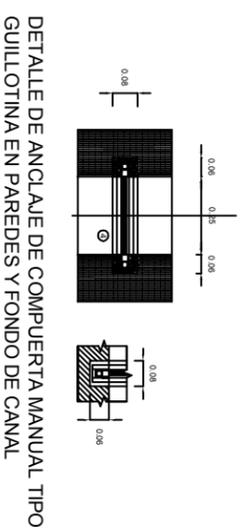
DETALLE EN PLANTA  
DE MEDIDOR PARSHALL



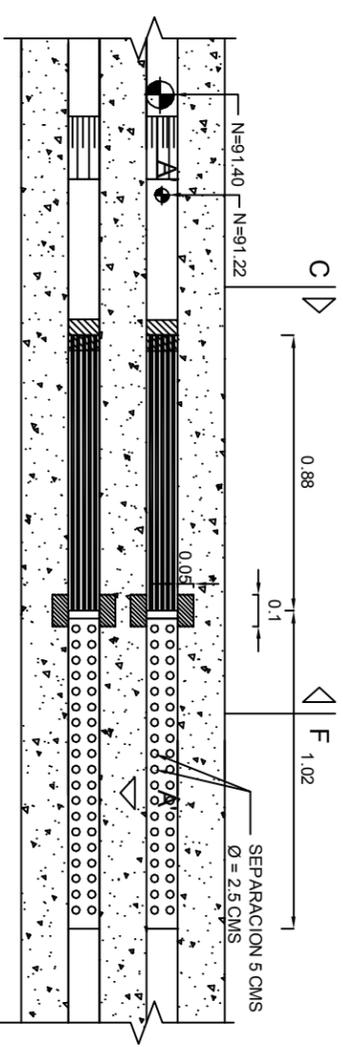
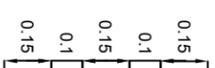
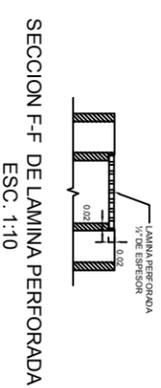
SECCION H-H  
DETALLE DE MEDIDOR PARSHALL



SECCION A'-A' DESARENADOR

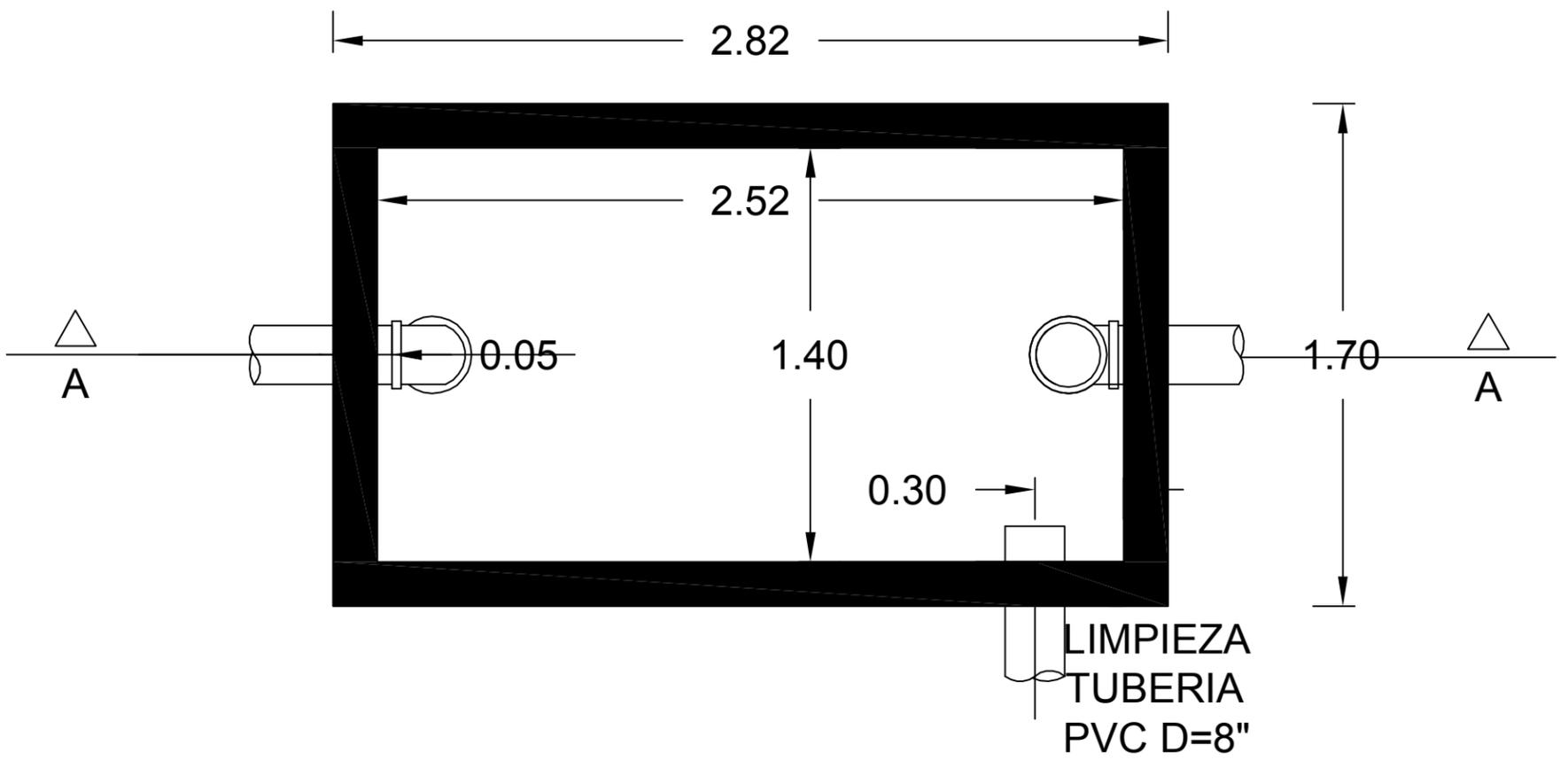


DETALLE DE ANCLAJE DE COMPUERTA MANUAL TIPO  
GUILLOTINA EN PAREDES Y FONDO DE CANAL

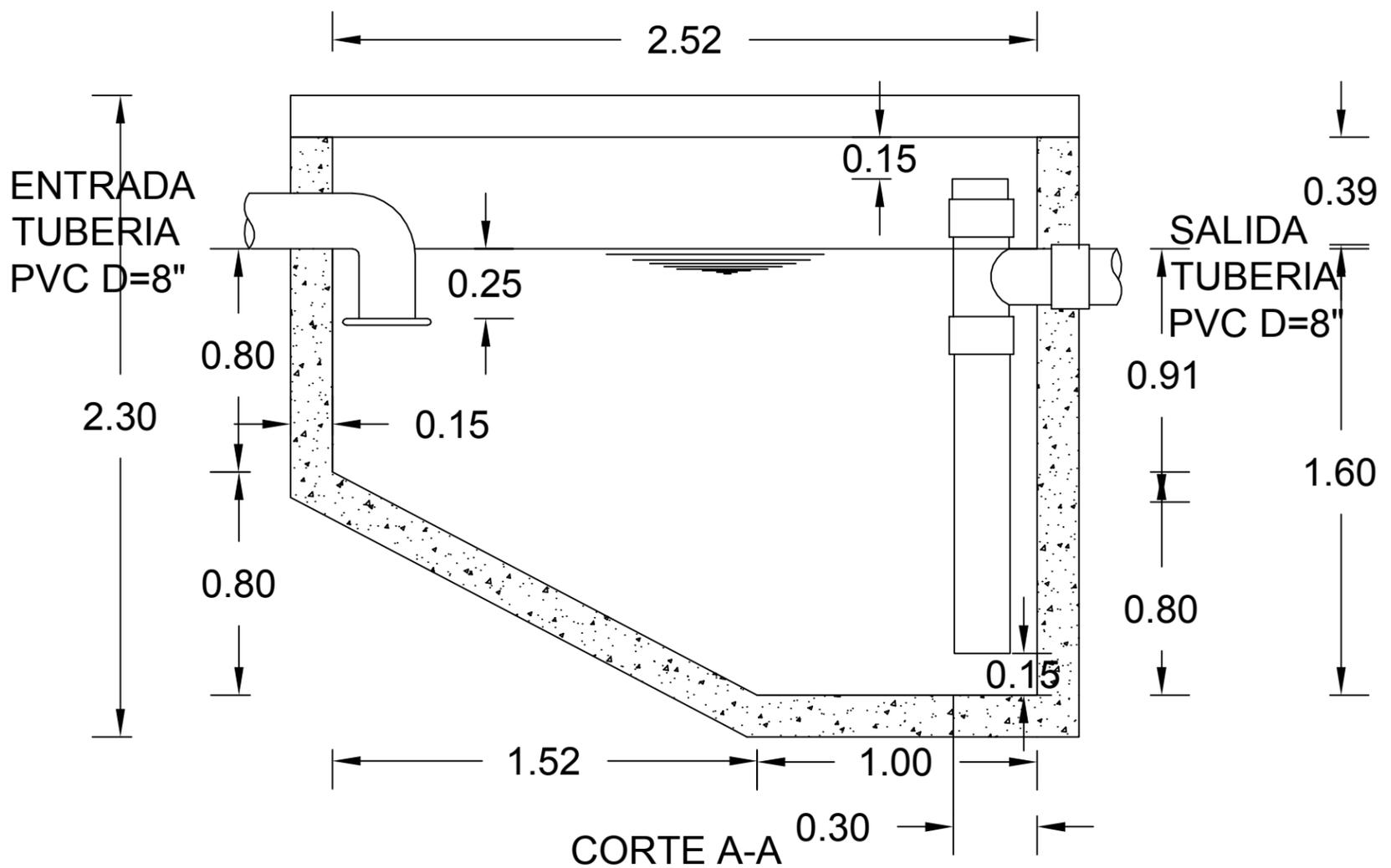


DETALLE PLANTA DE REJILLA

# TRAMPA DE GRASAS



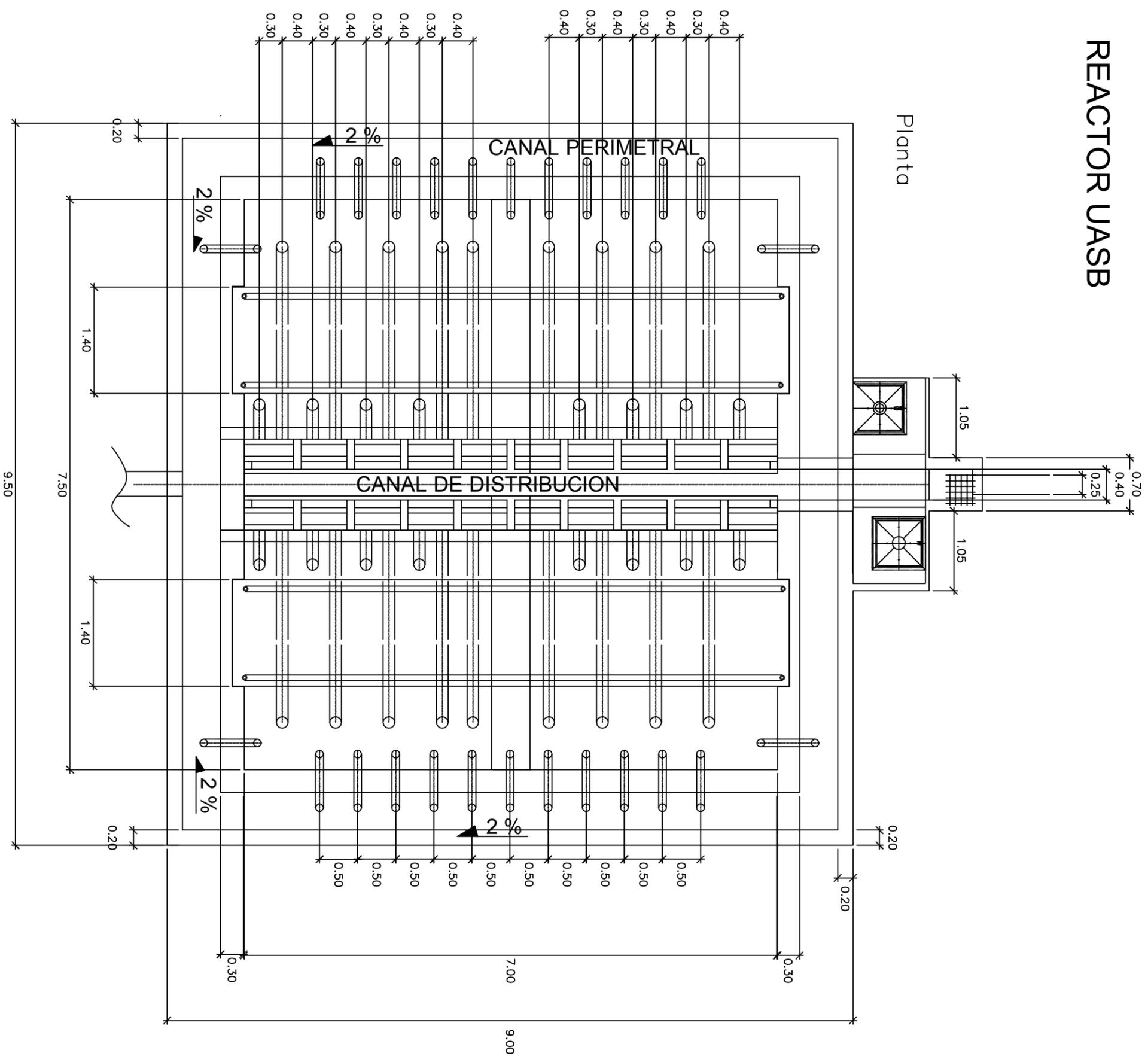
## TRAMPA DE GRASAS VISTA EN PLANTA



## SECCION A-A TRAMPA DE GRASAS

# REACTOR UASB

Planta

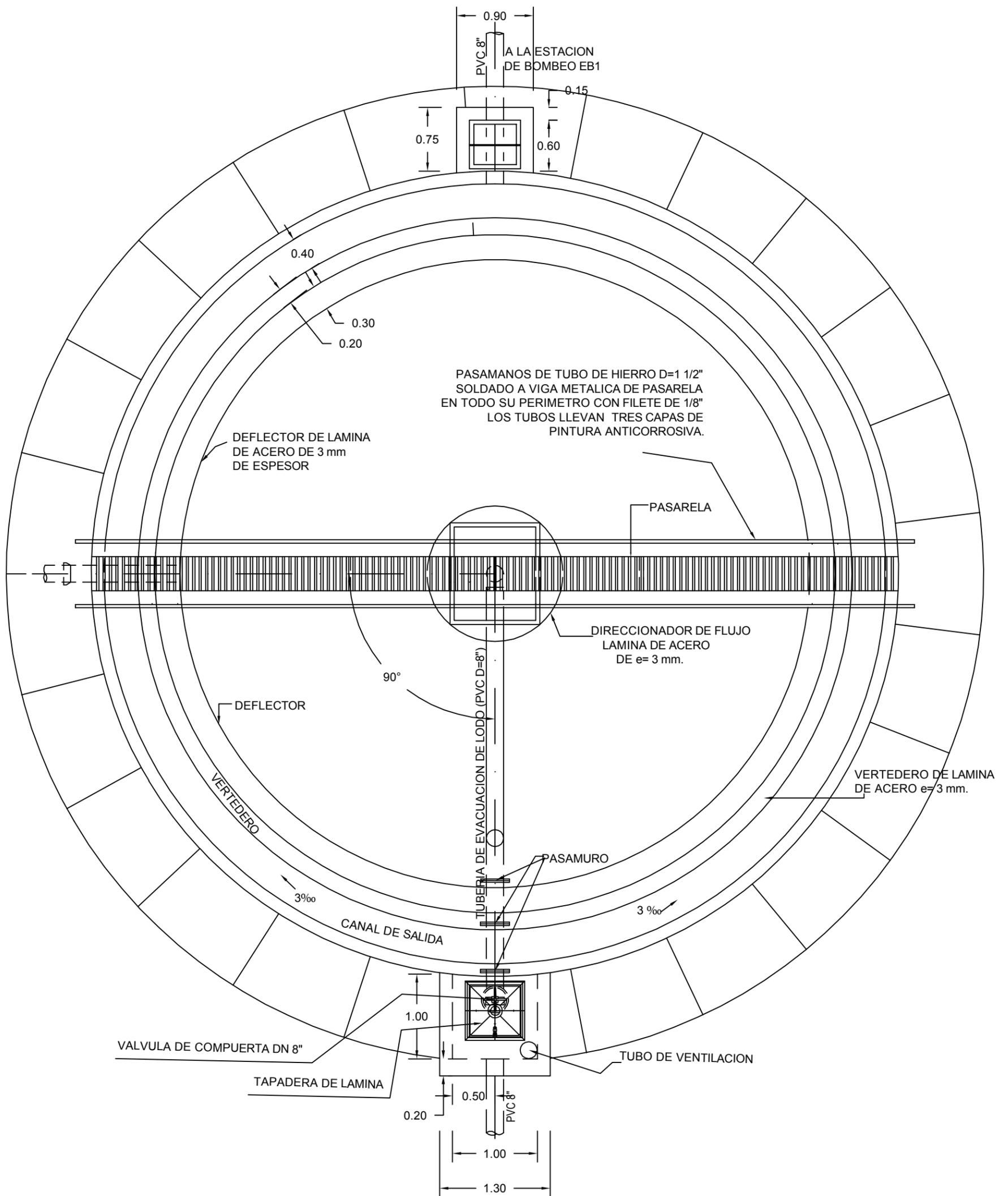




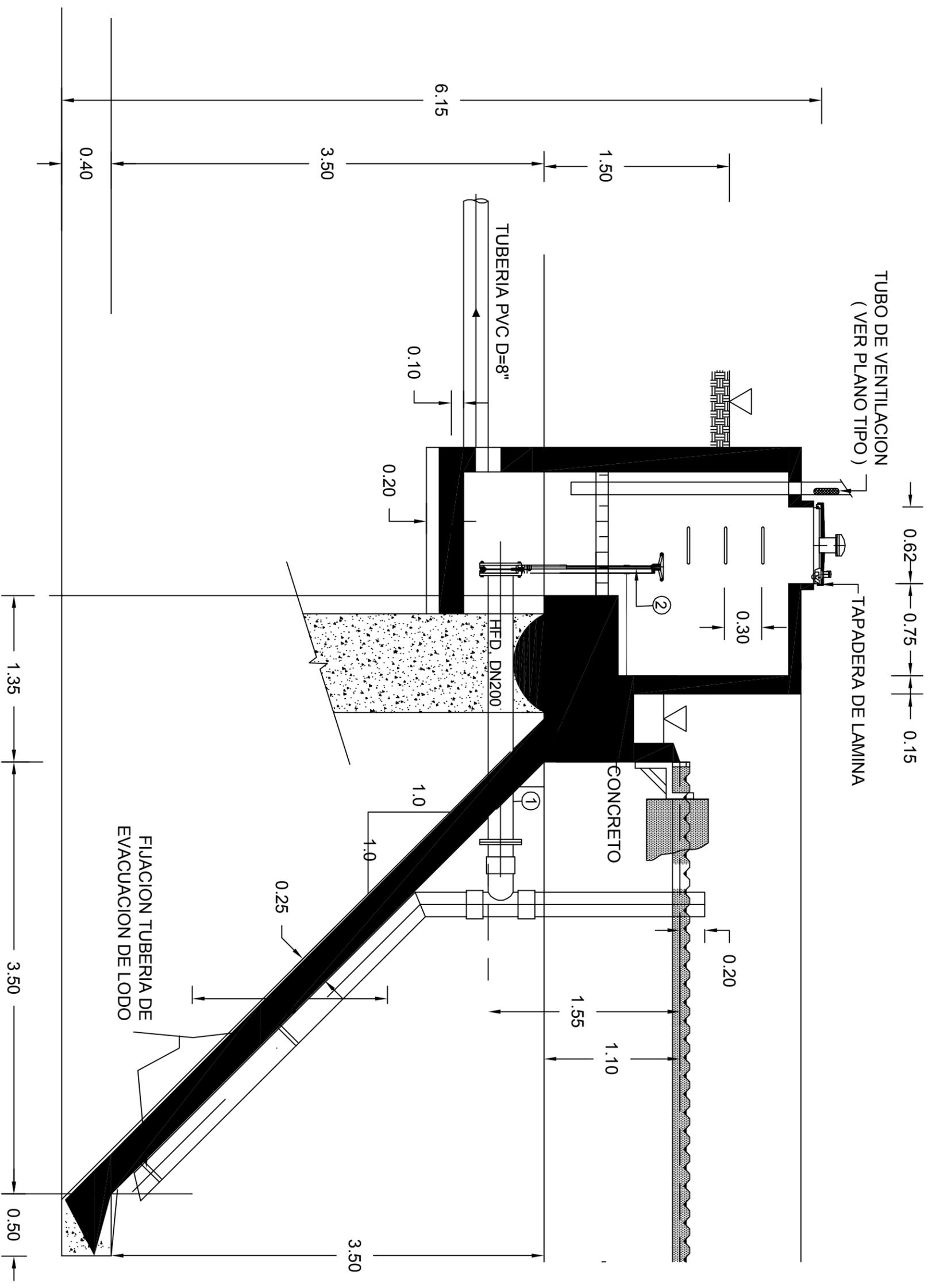




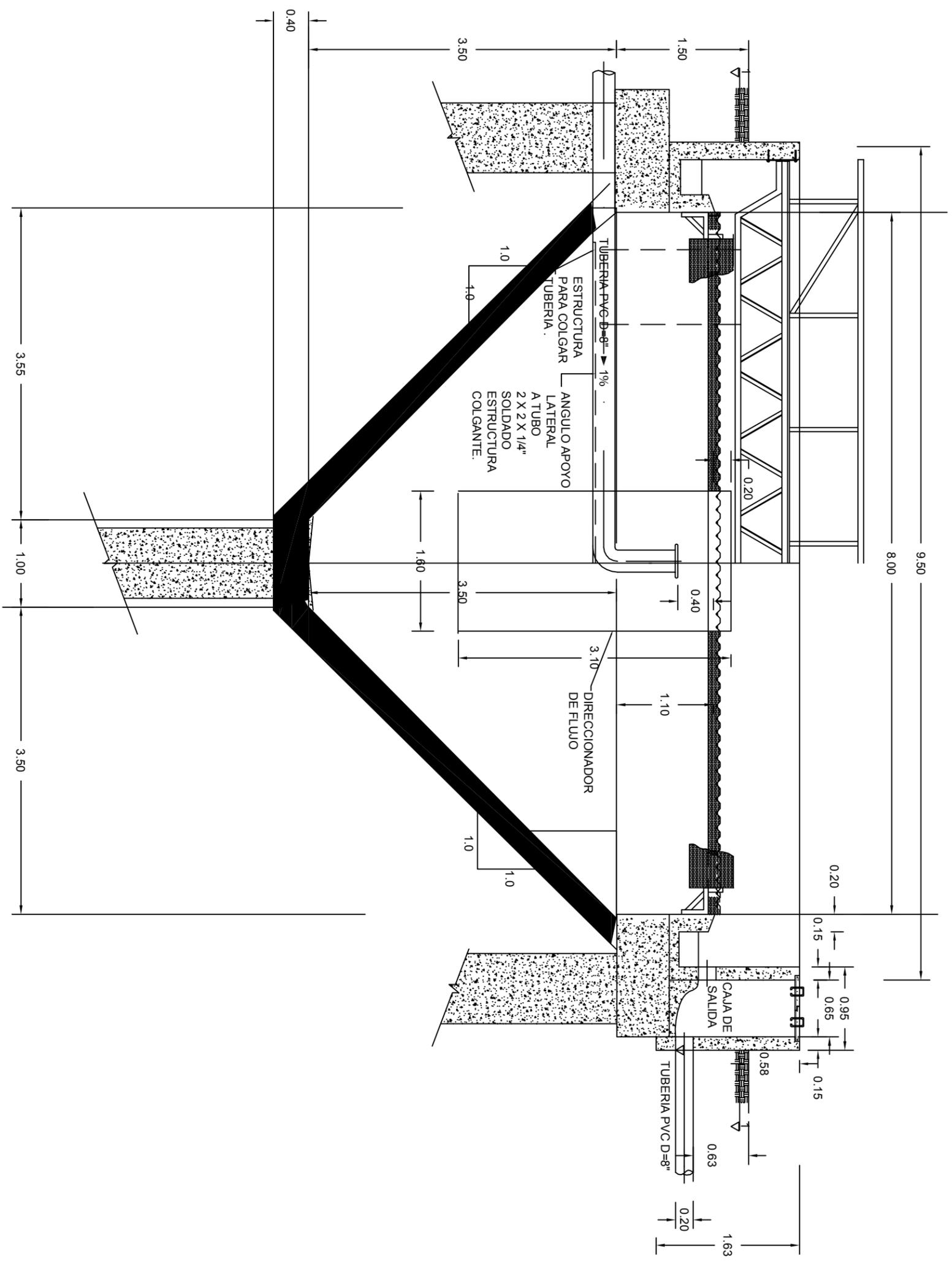




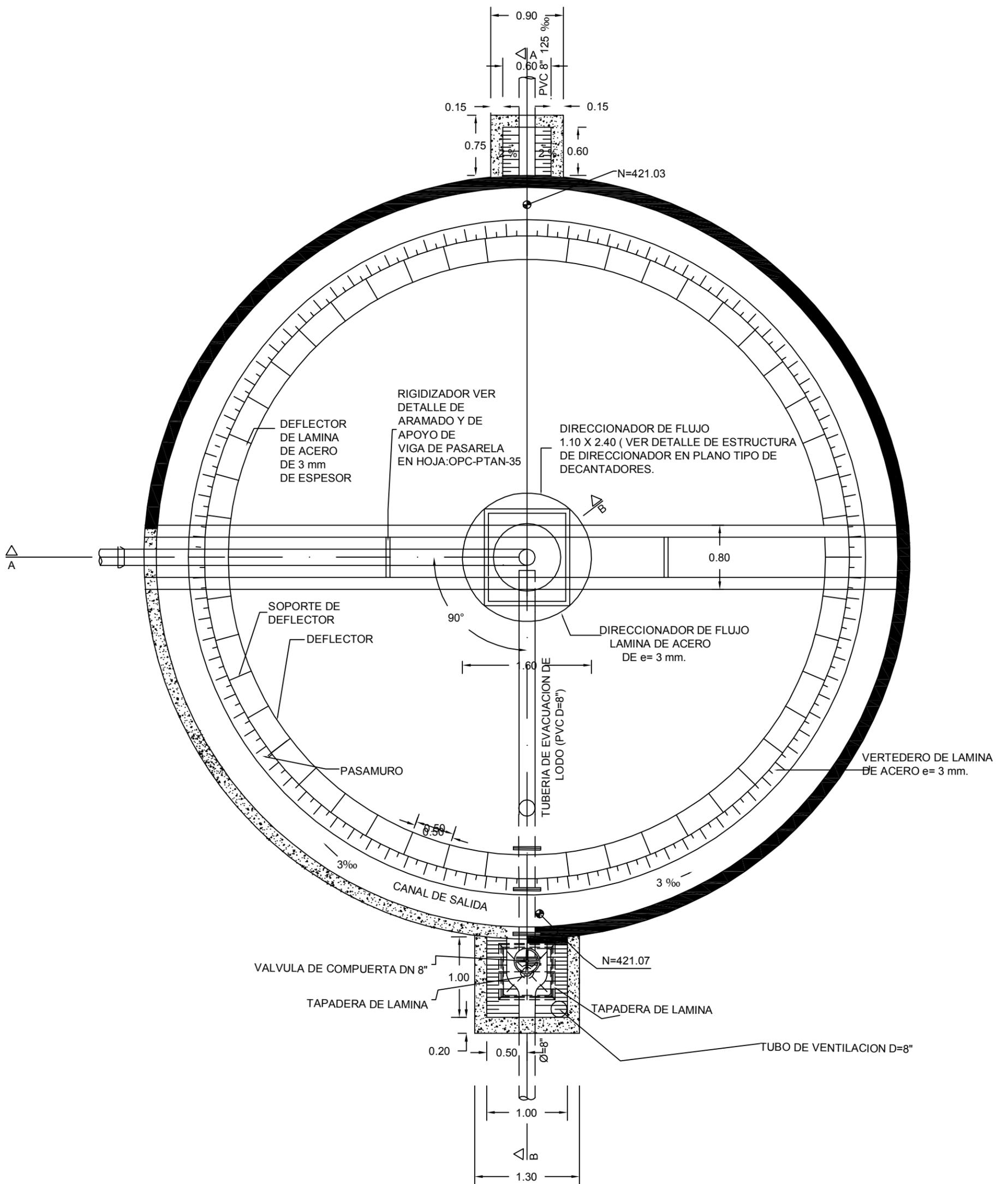
DECANTADOR VISTA EN PLANTA



**SECCION B-B DECANTADOR .  
DETALLES ESTRUCTURALES.**



SECCION A-A DECANTADOR .  
 DETALLES ESTRUCTURALES.



DECANTADOR SECCION 1 - 1