



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**DETERMINACIÓN DEL COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCIÓN  
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO CON LA AYUDA DE LA  
PROGRAMACIÓN PERT-TIEMPO**

**Rodolfo Estuardo Rodas Ruiz**  
**Asesorado por Dr. Adán Ernesto Pocasangre Collazos**

**Guatemala, Septiembre de 2003**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



## FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN DEL COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCIÓN DE  
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO CON LA AYUDA DE LA  
PROGRAMACIÓN PERT-TIEMPO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**RODOLFO ESTUARDO RODAS RUIZ**

ASESORADO POR Dr. ADÁN ERNESTO POCASANGRE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Gordillo Sandoval García
EXAMINADOR	Ing. Edgar Fernando Aragón Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Fredy Enrique Rios Godinez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCIÓN DE  
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO CON LA AYUDA DE LA  
PROGRAMACIÓN PERT-TIEMPO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha 16 de enero de 2003.

Rodolfo Estuardo Rodas Ruiz

## **CON TODO CARIÑO DEDICADO A:**

### **MIS PADRES**

Raymundo Adalgio Rodas

Clara Aurora Ruiz

### **MIS HERMANOS**

Lilian, María, Sandra, Luis, Mayra,

Verónica y Alcira

### **A MI FAMILIA**

Rodas - Ruiz

A MIS AMIGOS

**A TODA PERSONA INTEGRADORA DE IDEAS  
QUE SE CONSIDERE BAJO EL CONTEXTO  
SOCIO-AMBIENTAL**

A MI PATRIA GUATEMALA

## **AGRADECIMIENTOS:**

**A DIOS TODOPODEROSO:**

**a quien debo todo, por darme la oportunidad de nacer, sonreír y vivir con energía cada momento.**

**A mi padre y madre:**

**por darme su ayuda incondicional en cada etapa de mi vida.**

**A mi hermana María:**

**por su valiosa ayuda y colaboración en el desarrollo de este trabajo.**

**A mi asesor**

**Por su colaboración *muito* *obligado***

## INDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	
III	
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	V
<b>GLOSARIO</b> .....	
VI	
<b>RESUMEN</b> .....	
VII	
<b>OBJETIVOS</b> .....	VIII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	
IX	
<b>1. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	
1.1 Descripción .....	
1	
1.1.1 Características principales del desarenador.....	
3	
1.1.2 Características principales del tanque RAFA .....	
7	
1.1.3 Características principales del filtro percolador .....	
12	
1.1.4 Características principales del sedimentador secundario.....	
15	
1.1.5 Disposición y tratamiento de los lodos .....	
22	
<b>2. DISEÑO ESTRUCTURAL Y CALIDAD DEL CONCRETO EN LAS OBRAS HIDRÁULICAS</b>	

2.1 Aspectos estructurales.....	
23	
2.1.1 Parámetros de diseño.....	
25	2.2 Calidad del
concreto.....	27

### **3. OBRA CIVIL RELACIONADA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

3.1 Cuerpo del tanque RAFA.....	
34	
3.2 Campanas de separador G.L.S.....	
35	
3.3 Canaletas del efluente y sistema de distribución.....	
36	

I

3.3 Tubería y accesorios.....	
39	
3.4 Pasillos y barandales.....	
42	

### **4. MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA PLATAFORMAS**

4.1 Cubicaciones.....	
43	
4.1.1 Por el sistema de perfiles .....	
43	

### **5. PROGRAMACION PERT - TIEMPO**

5.1 Determinación de actividades .....	
52	
5.2 El tiempo en las actividades .....	53
5.3 La ruta critica .....	55
5.4 La probabilidad en la programación .....	57



## **6. COSTOS INCIDENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS**

Determinación del material que conlleva el mayor costo

dentro de la planta.....

62

## **7 EJEMPLO DE APLICACIÓN**

7.1 Pert- tiempo para una planta de tratamiento de 1800 habitantes..

74

7.2 Integración de costos en función del Pert- tiempo.....

105

7.3 Presupuesto.....

131

7.3.1 Presupuesto de área y volumen .....

132

7.4 Costo de operación y mantenimiento de la planta.....

134

**CONCLUSIONES..... 136**

**RECOMENDACIONES.....**

139

**BIBLIOGRAFÍA..... 141**

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Vertedero proporcional (derrame sutor) utilizado en desarenadores	5
2	Sección parabólica del desarenador	5
3	Desarenador típico	6
4	Esquema de un reactor anaerobio de flujo ascendente	7
4	Filtro percolador con sistema de distribución de tubería y boquillas de salida del tipo fijo	13
6	Rendimiento del sedimentador en función de las relaciones $V/V_h - V/V^\circ$	17
7	Rendimiento del sedimentador en función del número de Froude	19
8	Sedimentador secundario típico	20
9	Esquema de las campanas G.L.S	36
10	Canaletas del efluente	36
11	Esquema del sistema de distribución	38
12	Obra de abancalamiento	45
13	Representación gráfica de los perfiles sobre una plataforma	48
14	Esquema tentativo de la planta de tratamiento	64
15	Esquema del desarenador propuesto	65

16	Esquema del tanque RAFA para 1800 hab. Propuesto por el estudiant en el ejemplo de aplicación	66
17	Esquema del filtro percolador	67
18	Esquema del sedimentador secundario	68

### III

19	Esquema de la elevación del sedimentador secundario	68
20	Esquema del lecho de secado	69
21	Aspectos estructurales en el pre – tratamiento	70
22	Aspectos estructurales del tanque RAFA	71
23	Aspectos estructurales del filtro percolador	72
24	Aspectos estructurales del sedimentador secundario	73
25	Aspectos estructurales del lecho de secado	73

## TABLAS

I	Valores teóricos de velocidad en función de la temperatura	4
II	Criterios de diseño del tanque rafa para aguas residuales domesticas	11
III	Criterios de diseño para filtros percoladores	15
IV	Ecuaciones utilizadas en las perturbaciones por turbulencia	16
V	Ecuación empleada para calcular la velocidad de arrastre	18
VI	Criterios de dimensionamiento de sedimentadores secundarios	21
VII	Parámetros de diseño del desarenador	65
VIII	Parámetros de diseño del tanque RAFA	66
IX	Parámetros de diseño del filtro percolador	67
X	Estimación del tiempo de la ruta crítica	77-82
XI	Estimación del tiempo de la ruta no crítica	83-90

XII	Estimación del tiempo esperado	91-103
XIII	Renglones de obra civil de la PTAR y su duración	106-129
XIV	Presupuesto de área y volumen	132-133

#### IV

### LISTA DE SÍMBOLOS

<b>%</b>	Porcentaje
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>Q</b>	Quetzal
<b>TRH</b>	Tiempo de retención hidráulico
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>Q</b>	Caudal
<b>G.L.S</b>	Gas líquido sólido
<b>\$</b>	Dólar

V

## **GLOSARIO**

### **Abancalamiento**

Sucesión de plataformas que están escalonadas hacia abajo que son utilizadas para la construcción de PTAR

### **Inoculación**

utilización de materia orgánica (excremento de vaca, lodos utilizados en otras PTAR) que sirve como soporte para el arranque del tanque RAFA

### **Mamparas deflectoras**

Pestañas que se colocan debajo del sistema G.L.S en los muros del tanque rafa, que tienen como finalidad obstaculizar el paso de gases a la intemperie

### **Proceso**

El paso que conlleva la transformación que sufre el agua residual en una operación unitaria, puede ser carácter físico, químico y biológico.

### **Operaciones unitarias**

Son las etapas que están sujetas a procesos por donde es transportada el agua residual, éstas son el pre- tratamiento, tratamiento primario y el tratamiento secundario.

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla la planificación operacional de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para 1,800 habitantes con la ayuda de la programación Pert – tiempo.

La programación está representada por la acotación del tiempo real de 129 actividades que se realizaron en la ejecución de varios proyectos.

Las 129 actividades son representadas en orden de precedencia, en donde se obtienen los parámetros estimadores de ejecución (duración esperada, duración pesimista, duración más probable, duración optimista y varianza) los cuales, servirán para establecer la duración total del proyecto (ruta crítica) que se obtiene con la ayuda del *Software Project Manager*.

Con la duración total del proyecto se procede a determinar los renglones de costos de la PTAR, para cada obra hidráulica (obra civil).

Los costos asociados a la obra civil (conexiones eléctricas, tuberías y otros) se ponderarán a una proporción de la misma propuesta por el estudiante para calcular los costos unitarios de dichos renglones.

Para finalizar, se presenta la integración de todos los costos asociados con los renglones y sus duraciones (suposición que el proyecto se ejecutará en tiempo de lluvia mayo – septiembre de 2003) en la obra civil.

Por ultimo se obtiene el presupuesto área- volumen de la PTAR para 1,800 habitantes.

## OBJETIVOS

- **General**

Determinar una planificación operacional en la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para llevar a cabo el costo mínimo, al reducir en tiempo las actividades de la ruta crítica.

- **Específicos**

1. Interesar a las municipalidades, contratistas, consultores y público en general, suministrando información precisa y confiable acerca de la programación Pert-tiempo en la construcción de la planta de tratamiento para 1,800 habitantes
2. Conocer la relación existente entre concreto y acero con respecto al volumen útil del tanque RAFA
3. Facilitar y agilizar el cálculo de los costos de inversión de una planta de tratamiento cuando en una etapa constituyente de la misma se encuentre un desarenador, tanque rafa, filtro percolador, sedimentador secundario y el lecho de secados

## VIII

### **INTRODUCCION**

En las últimas décadas se ha observado el alto grado de contaminación por desechos líquidos que los centros urbanos y la industria en general han generado

y vertido a los cuerpos de agua. Por lo mismo se han diseñado a través de los años diversos sistemas de tratamiento con altos costos de inversión, operación y mantenimiento que están fuera del alcance de los países en vías de desarrollo como el nuestro.

A principios de la década de los 80's, en Holanda, G. Lettinga desarrolló el tanque RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente) el cual ha sido utilizado desde 1989 en varios países de América Latina con clima sub.-tropical, debido por su bajo costo y el buen grado de eficiencia que se alcanza en la remoción de contaminantes.

Con el surgimiento de esta tecnología, también surgió una infraestructura o forma de construir que pocas empresas conocían, y las que no lo conocían empezaron a construir por debajo de la calidad que se requería.

El presente trabajo se realizó con el fin de que sea tomado en cuenta en la toma de decisiones a nivel municipal y otros sectores interesados, el mismo presenta no solo los diversos aspectos de construcción del tanque RAFA, sino los del desarenador, filtro percolador, sedimentador secundario y lecho de secado para una población de 1,800 habitantes

Para la planificación operacional de construcción se realizará la programación Pert-tiempo de 129 actividades la cual servirá para determinar el presupuesto del proyecto.

## IX

Para alcanzar la planificación adecuada, el trabajo indica las bases teóricas de cada obra hidráulica y las partes constituyentes a tomar en cuenta en el proyecto como lo son los aspectos estructurales, obra civil relacionada, movimiento de tierras para plataformas y otros.



X

## **1. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

### **1.1 Descripción**

La contaminación de las aguas es uno de los problemas de mayor incidencia negativa en nuestro entorno ambiental, resulta prioritario adoptar medidas de control para el vertido de agentes contaminantes en los cuerpos de agua.

La contaminación de los cuerpos de agua favorece la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica, reduce el número de fuentes disponibles, eleva los costos para el abastecimiento de agua para consumo humano, y pone en peligro de extinción a muchas especies de nuestra flora y fauna.

Debido a los efectos que produce la contaminación de los cuerpos de agua, es necesario reducir este problema con la construcción de infraestructura adecuada (plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR) para la remoción de la materia contaminante en el agua.

La infraestructura de la PTAR está delimitada a las operaciones unitarias que consisten en el pre - tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario o avanzado y tratamiento de lodo.

Cada operación unitaria está compuesta por diversos procesos que se definen como físicos, químicos y biológicos, donde se realizan actividades pre - diseñadas para alcanzar la remoción de la cantidad de materia orgánica, acciones que de no existir una PTAR se llevarían a cabo en la naturaleza, por lo que producirían condiciones sépticas que causarían la muerte de la vida acuática.

La eficiencia en la remoción de contaminantes en las aguas residuales domésticas (ARD) en cualesquiera de las operaciones unitarias, es medida en parámetros que determinan la concentración de contaminantes en el agua, antes que ésta se transporte a otra operación unitaria, es decir, entre cada operación unitaria, existe una contribución a la remoción de contaminantes en el agua que puede ser medida.

La medición de la concentración de contaminantes en las ARD se lleva a cabo por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, coniformes, etc.

Para que la remoción de un sistema de tratamiento de aguas residuales esté entre los niveles de remoción dados por la región. Es importante modificar los procesos en vez de las etapas u operaciones unitarias.

Dentro de las etapas u operaciones unitarias hay diferentes procesos que pueden ser una alternativa, que dependen de la legislación del lugar, tipo de clima, factores socioeconómicos, entre otros.

Por los cambios de tecnología en el tratamiento de aguas residuales es mejor referirse a procesos y no a etapas. (Dr. Emanuel Idelovitch, 1997)

En la mayoría de países en desarrollo con clima subtropical, en lo que a procesos se refiere, se utiliza, dentro de la operación unitaria llamada pre – tratamiento, el proceso físico de sedimentación, en el tratamiento primario, el proceso biológico anaerobio y por último en el secundario el proceso biológico aerobio, como un proceso común de cultivo fijo (filtros percoladores), ó como un proceso común de cultivo en suspensión (lodo activado con sus múltiples variantes, lagunas aireadas).

### **1.1.1 Características principales del desarenador**

El desarenador es una operación unitaria utilizada como pre – tratamiento, su objetivo es separar los elementos pesados en suspensión (arena, arcillas, limos) del agua residual.

Generalmente los desarenadores son de forma rectangular, permiten la reducción de la velocidad para que sedimenten las partículas pétreas.

Ubicación:

- Siempre después de una reja gruesa
- Antes de las rejillas finas con limpieza mecánica o trituradora.

- Antes de los equipos de elevación si la profundidad a la que deberá instalarse no encarece y complica la obra.

Debe mantener en suspensión la materia orgánica, no debe permitir su sedimentación. Las arenas son las comunes a sedimentar, densidad = 2.65 g/cm<sup>3</sup>, se sacan las partículas mayores a 0.2 mm.

El valor de la velocidad horizontal debe estar cerca de 0.3m/s, para retener las arenas sin que sedimente la materia orgánica.

Los sólidos retenidos son partículas discretas y se aplica la teoría correspondiente a la sedimentación de partículas discretas.

Consideraciones de diseño:

**Tabla I Valores teóricos de velocidad en función de la temperatura**

D (mm)	Temperatura (°C)	Valor teórico de velocidad de caída cm/s
0.2	5	1.912
	10	2.156
	15	2.388
	20	2.622

**Fuente:** [www.miliarium.com/proyectos/depuradoras](http://www.miliarium.com/proyectos/depuradoras)

La tabla I presenta los valores teóricos de velocidad de caída para una partícula de 0.2mm en función de la temperatura.

$V_s$  = Velocidad de caída teórica

$V_o$  = Velocidad de caída a utilizar en el diseño

$V_s / V_o = 1.2 - 2.3$

$V_o = 1.797 - 0.937$  cm/s

## Dimensionamiento

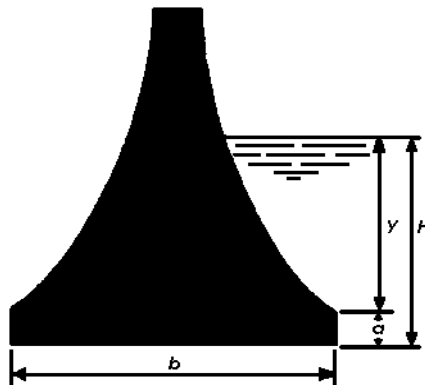
$$L/b = \text{Largo/ Ancho} = 7 - 15 \text{ (ideal: 10)}$$

El desarenador es un sedimentador selectivo, sedimenta solamente la arena, por lo que, la velocidad de funcionamiento debe ser constante, el mismo tiene dos canales para tener un funcionamiento alterno cuando uno de los dos no esté en funcionamiento

Se logra regulando la velocidad en el desarenador, por medio de dos formas posibles:

- Mediante vertederos proporcionales, los cuales van ubicados a la salida del desarenador.
- Dándole a la sección del desarenador una forma parabólica.

**Figura 1 Vertedero proporcional (derrame sutro) utilizado en**



desarenadores,  $Q = \text{Caudal, m}^3/\text{s};$   
 $b = \text{ancho de la base, m};$

$a = \text{altura minima, m};$

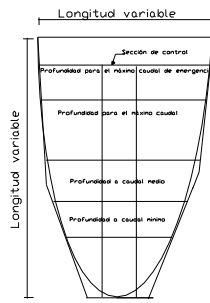
$b =$

$H = \text{altura del agua, m},$

$$Q = 2.74 \sqrt{a \cdot b} \left( H - \frac{a}{3} \right)$$

Fuente: Centro panamericano de ingeniería sanitaria CEPIS . OPS

**Figura 2 Sección parabólica del desarenador**

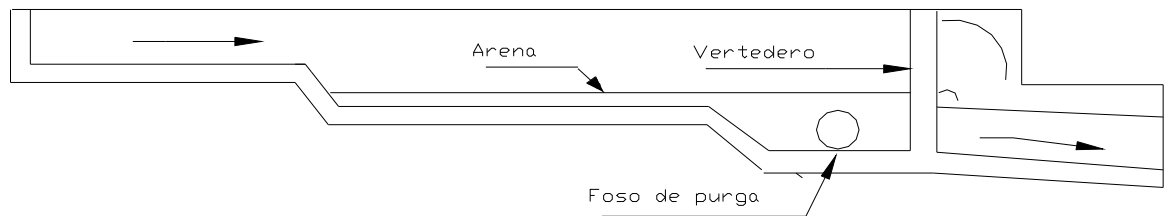


**Fuente: [www.miliarium.com/proyectos/depuradoras/](http://www.miliarium.com/proyectos/depuradoras/)**

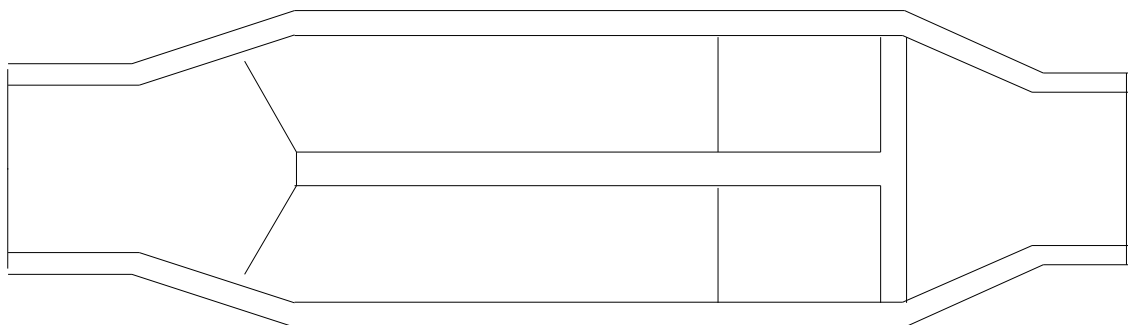
La figura 2 presenta la sección parabólica de un desarenador

La cantidad de arena que se extrae en desarenadores es de 30-40 lt/1,000 m<sup>3</sup> de A.R. La disposición de la arena, puede hacerse de varias formas, la mejor es el relleno sanitario tapado con tierra, en ciertos casos, si la materia orgánica es < 2 %, se puede disponer libremente sobre el terreno como arena.

**Figura 3 desarenador típico**



Elevación



## Planta

**Fuente:** [www.miliarium.com/proyectos/depuradoras/](http://www.miliarium.com/proyectos/depuradoras/)

La figura 3 muestra la elevación y planta de un desarenador típico

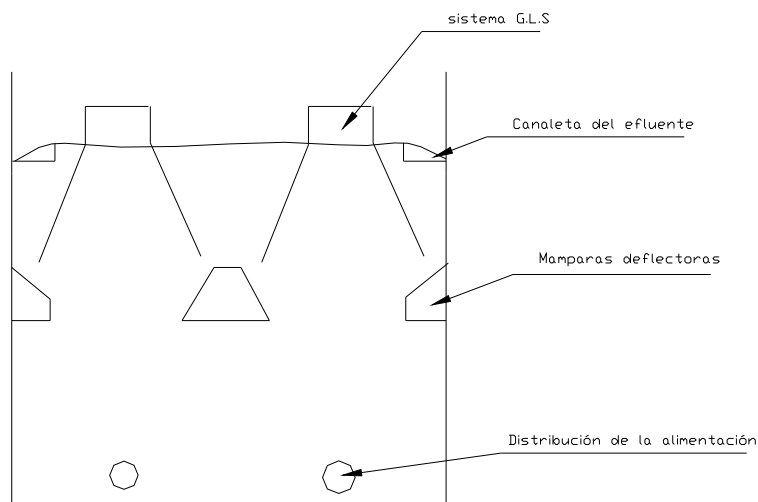
### 1.1.2 Características principales del tanque RAFA

La operación unitaria llevada a cabo como tratamiento primario es el reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (RAFA) que fue desarrollado en la década del 70 por G. Lettinga y su grupo de investigación de la Universidad de Wageningen, en Holanda. Desde entonces, este reactor comenzó a ser utilizado en el tratamiento de aguas residuales industriales y poco tiempo después, a mediados de los años ochenta, en el tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales.

El cuerpo del tanque RAFA puede dividirse en dos zonas principales:

- Zona de digestión
- Zona de sedimentación

**Figura 4. Esquema de un reactor anaerobio de flujo ascendente**



**Fuente:** G Lettinga. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento anaerobico uasb. Pag. 111

El afluente es alimentado por el fondo del reactor por medio de tuberías que lo conducen desde las cajas de distribución, localizadas en la parte inferior del reactor. El afluente, homogéneamente distribuido por el fondo del reactor, asciende a través de un lecho de lodos anaerobios, los cuales son expandidos por la velocidad ascendente del flujo de agua. Esta parte del reactor, en donde se encuentra la cama y lecho de lodos, corresponde a la zona de digestión, ya que es aquí donde los microorganismos tienen el mayor contacto con el substrato orgánico y por consiguiente, en donde se realiza la digestión de la materia biodegradable del afluente. La cama de lodos se encuentra en el fondo del reactor y se caracteriza por altas concentraciones de biomasa por arriba de 80 g/L, mientras que el lecho de lodos que se halla arriba de la cama de lodos tiene concentraciones de biomasa menores (5-20 g/L), generalmente de características floculentas (Hashemian y James, 1988)

Localizado en la parte superior de la zona de digestión se encuentra el separador Gas – sólidos – líquido (GSL). Este separador GSL está constituido por mamparas deflectoras y campanas. Sus objetivos principales son (lettinga y Hulshoff, 1992):

- Separar y descargar el biogás generado
- Prevenir el lavado de la biomasa activa, principalmente de lodo floculento y lodo granular flotante.
- Servir de barrera a la expansión del lecho de lodos debido a altas cargas orgánicas.

La zona arriba del separador GSL es la denominada zona de sedimentación, ya que es aquí en donde la biomasa y sólidos que hayan logrado pasar a este nivel del reactor, son retenidos por sedimentación y regresan a la zona de digestión.

Existen ciertos aspectos de la operación de un tanque RAFA que vale la pena mencionar:



- La distribución de la alimentación en el fondo del reactor debe ser uniforme y la velocidad ascendente del flujo la adecuada para permitir la expansión del lecho de lodos, sin llegar al lavado de la biomasa. Esto asegurará un adecuado contacto entre la materia biodegradable de la alimentación y la biomasa activa, necesaria para la completa digestión anaerobia. De manera contraria, se producirán ciertos circuitos en el flujo ascendente y zonas muertas o inactivas en donde no haya contacto entre los microorganismos y la materia orgánica biodegradable, que inclusive pueden ocasionar fenómenos de toxicidad. (Hashemian y James, 1988)
- El flujo ascendente promueve la formación de agregados de biomasa con buenas características de sedimentación (en forma de granos o flóculos), lo que evita el lavado de la biomasa con el efluente.
- La producción de biogás ayuda al mezclado del lecho de lodos en la zona de digestión. Cuando el biogás alcanza las mamparas deflectoras, se desvía para dirigirse a las campanas recolectoras y no a la zona de sedimentación, en donde causaría turbulencia y evitaría la sedimentación del poco lodo presente en esta zona.
- En la zona de sedimentación, a medida que el flujo asciende por encima de las campanas, el área de flujo aumenta, por la misma inclinación de las paredes de las campanas, y la velocidad ascendente disminuye, lo que permite que se presente la sedimentación. (Van Haandel y Lettinga, 1994)

El diseño de un tanque RAFA, desde el punto de vista de la operación unitaria y como parte de una PTAR doméstica, involucra la determinación de la forma y disposición de los accesorios y sistemas relacionados con su adecuado funcionamiento. Además, el diseño del reactor debe considerar las condiciones de operación, como temperatura, carga orgánica, flujo de alimentación, que son necesarios para el buen desempeño del tanque. (Smith, 1981)

Generalmente, el caudal (Q) de agua residual domestica es un parámetro conocido, que se determina con estudios de aforo. Por su parte, el tiempo de retención hidráulico es un parámetro que debe especificarse para poder calcular el volumen del reactor que cumpla los requerimientos del funcionamiento óptimo del proceso. Para aguas diluidas (DQO < 1000 mg/ L) el volumen del tanque estará determinado por el tiempo de retención hidráulica. ( Lettinga y Hulshoff, 1992)

Para los tanques RAFA que tratan aguas residuales domésticas, que comúnmente son diluidas, el parámetro más importante de diseño del tamaño y forma del tanque es la carga hidráulica (volumen/ TRH x área del flujo en el tanque) y no la carga orgánica volumétrica (masa DQO/ TRH x volumen del tanque), como sucede con aguas residuales concentradas, a saber, los efluentes industriales. El tanque debe diseñarse con base a la carga hidráulica y su funcionamiento se adecua a la carga orgánica impuesta. (Van Haandel y Lettinga, 1994)

En el concepto de carga hidráulica (flujo/ área de flujo en el reactor) está implícita la velocidad ascendente del liquido. La velocidad máxima ascendente a la cual puede trabajar eficientemente un tanque RAFA, con una altura determinada, estará limitada por la descarga en el efluente del lodo contenido en el tanque.

Consideraciones de diseño:

**Tabla II. Criterios de diseño del tanque RAFA para ARD**

Tiempo de retención hidráulica	6 h para T > 18°C
Tiempo de retención hidráulica promedio mínimo	4 h
Altura óptima del tanque RAFA (óptima en Funcionamiento y costos de construcción)	4 – 6 m

Velocidad ascendente
----------------------

< 1 m/ h
----------

**Fuente: G. Lettinga. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento anaerobico uasb. Pag. 108**

La tabla No. II presenta los parámetros de diseño de un tanque RAFA para el tratamiento de aguas residuales domesticas.

Algunos criterios comúnmente empleados para el separador GSL, son los siguientes (Lettinga y Hulshoff, 1992):

- La inclinación de la pared del colector de biogás debe ser de 45 – 60°C, respecto a la horizontal.
- Para tanques con alturas de 5 – 7 m, la altura del colector de gas debe ser de 1.5
- Las velocidades ascendentes en las zonas de paso deben ser menores a 3m / h, aunque para lodo granular puede llegar hasta 6 m/ h. (Noyola, 1994)
- La sobreposición de las mamparas deflectoras, instaladas en un nivel inferior a los colectores de biogás, debe ser de 10 – 20 cm. (Vieira y García, 1992)

Algunos criterios de diseño del sistema de alimentación, que tienen aplicación en tanques RAFA que tratan ARD, son:

- La diferencia de niveles entre el afluente en la caja de distribución y el nivel de agua en el tanque para que se tenga suficiente carga estática debe > 30 cm.
- La distribución de boquillas de alimentación en el fondo del tanque para un tratamiento a  $T > 20^{\circ}\text{C}$  es de 1 boquilla /  $\text{m}^2$  de superficie del fondo del tanque.

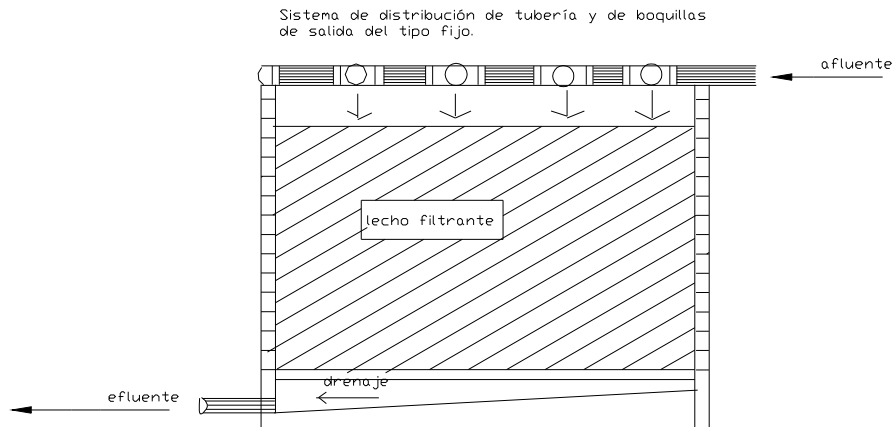
- La altura de los puntos de descarga de la alimentación respecto al fondo del tanque es de 10 – 20cm
- La velocidad mínima de alimentación de agua en el fondo del tanque es de 0.3m/h.

### **1.1.3 Características principales del filtro percolador**

Los filtros percoladores o filtros biológicos tienen la función de degradar biológicamente los contaminantes presentes en el agua residual, tanto en solución como en suspensión. Del total de la DBO que tiene el agua residual, en la sedimentación, apenas con los sólidos sedimentables a dos horas, es separada del a 30 al 50 % de ésta carga, inclusive se puede llegar a un 60%. El resto no es posible separarlo porque está en solución o en estado coloidal. La materia orgánica se degrada mediante degradación aeróbica y la materia suspendida se transforma en sedimentable, separándose en el sedimentador secundario.

Consta básicamente de un manto soporte de piedras o material sintético. Son piedras de 3 a 5 cm o trozos de plástico, y de un sistema de distribución del líquido sobre la superficie del filtro.

**Figura 5. Filtro percolador con sistema de distribución de tubería y de boquillas de salida del tipo fijo, en tanques rectangulares.**



**Fuente: Metcalf y Eddy. Ingeniería de aguas residuales. Pag 707**

La figura 5 muestra el filtro percolador típico con un sistema de distribución fijo.

En el filtro percolador, los microorganismos están adheridos a la superficie de las piedras del filtro percolador, formando una gelatina (zooglea). El líquido percola y los microorganismos degradan la materia orgánica que contiene.

Los filtros se pueden aplicar al tratamiento secundario de un efluente doméstico o mezclarse con efluentes industriales, preferentemente orgánicos, que no contengan inhibidores del proceso biológico.

En el diseño se considera como una única unidad al conjunto de filtro percolador y sedimentador secundario.

Los filtros se clasifican según su carga hidráulica, carga orgánica y la recirculación.

- **Carga hidráulica:** Es el volumen total del líquido incluyendo la recirculación aplicado al filtro por día y por unidad de superficie.

- **La carga orgánica Cv o volumétrica:** Es la cantidad de DBO en peso (peso de la DBO), aplicado diariamente por unidad de volumen de piedra  $CV = Vg \cdot DBO/m \text{ piedra.día}$ .

En función de la DBO del líquido efluente se puede sacar la carga de la DBO del líquido que llega.

- **Recirculación :** Es el retorno de una parte del líquido que ha pasado por el filtro.

Caudal recirculado ( $Q_r$ ), coeficiente de recirculación ( $r = Q_r/Q_a$ ) y caudal afluente ( $Q_a$ ).

En los filtros se recircula el líquido para mantener un caudal más uniforme, para hacer pasar más de una vez la carga orgánica sobre el manto y aumentar de eficiencia del tratamiento, principalmente.

#### **Ventajas :**

- Simplicidad de construcción y operación que no exige personal muy calificado.
- En general, no necesita de energía eléctrica.
- Puede servir como un buen tratamiento intermedio.

#### **Desventajas:**

- El efluente, dada la baja eficiencia del sistema, puede no cumplir con los requisitos para la descarga a los cuerpos receptores, DBO 25 ppm.

- Normalmente hay una gran cantidad de pérdida de carga, una diferencia de cotas importante, entre el sedimentador primario y secundario. Entonces se requiere un diseño muy cuidadoso del perfil hidráulico.

**Tabla III. criterios de diseño para filtros percoladores**

Filtros de baja carga o baja Velocidad	Filtros de alta carga o alta velocidad (recirculado)
$Q_v = 0.100 - 0.300 \text{ kg DBO} / \text{m}^2 \cdot \text{día}$	$Q_v = 0.5 - 1 \text{ kg DBO} / \text{m}^2 \cdot \text{día}$
$Ch = 0.9 - 3.8 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$	$Ch = 20 - 30 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$
$H = 1.5 - 3\text{m}$ (altura del filtro 1.8m) 1.40m)	$H = 0.5 - 2.00\text{m}$ ( 1.20 –
No tiene recirculación	recirculación entre $3 > R > 0.8$

**Fuente: Metcalf y Eddy. Ingeniería de aguas residuales. Pag. 699**

La tabla III presenta los criterios de diseño para los filtros percoladores de baja y alta carga.

#### **1.1.4 Características principales del sedimentador secundario**

El sedimentador secundario fomenta el desarrollo de bacterias heterótrofas, éstas forman flóculos que retienen la contaminación orgánica al cumplir sus funciones metabólicas, alimentándose de ella para finalmente sedimentar.

Para mejorar la eliminación de sólidos suspendidos y DBO se utilizan reactivos químicos (Dr. Emanuel Idelovich, 1997)

Las ventajas de la adición de reactivos químicos reside en la eliminación de picos estacionales. (Dr. Emanuel Idelovitch, 1997)

Las desventajas están en la mayor cantidad de lodo, en algunos casos lodos que son más difíciles de manejar. (Dr. Emanuel Idelovitch, 1997)

Para el diseño de la sedimentación secundaria no se pueden aplicar formulas vistas. Se recurre a valores experimentales, de planta piloto, o de unidades ya construidas. Los factores perturbadores de la sedimentación como proceso biológico son:

- **Perturbaciones por turbulencia:** Las condiciones de circulación de la masa de agua en el sedimentador vienen dadas por el número de Reynolds (Re).

**Tabla IV. Ecuaciones utilizadas en las perturbaciones por turbulencia**

$Re = (VHR)/\mu$	$V_h =$ Velocidad media horizontal = $Q/(BH)$
$Q =$ Caudal $m^3/h$	$B =$ Anchura del sedimentador rectangular en m
$H =$ Altura en m	$R =$ Radio hidráulico = $(BH) / ( B + 2H)$
$\mu =$ Viscosidad cinemática	$L =$ Longitud del sedimentador

**Fuente: Dobbins. Diseño de sedimentadores secundarios.**  
[www.miliarium.como/proyectos/depuradoras](http://www.miliarium.como/proyectos/depuradoras)

La tabla IV presenta las ecuaciones utilizadas en la turbulencia

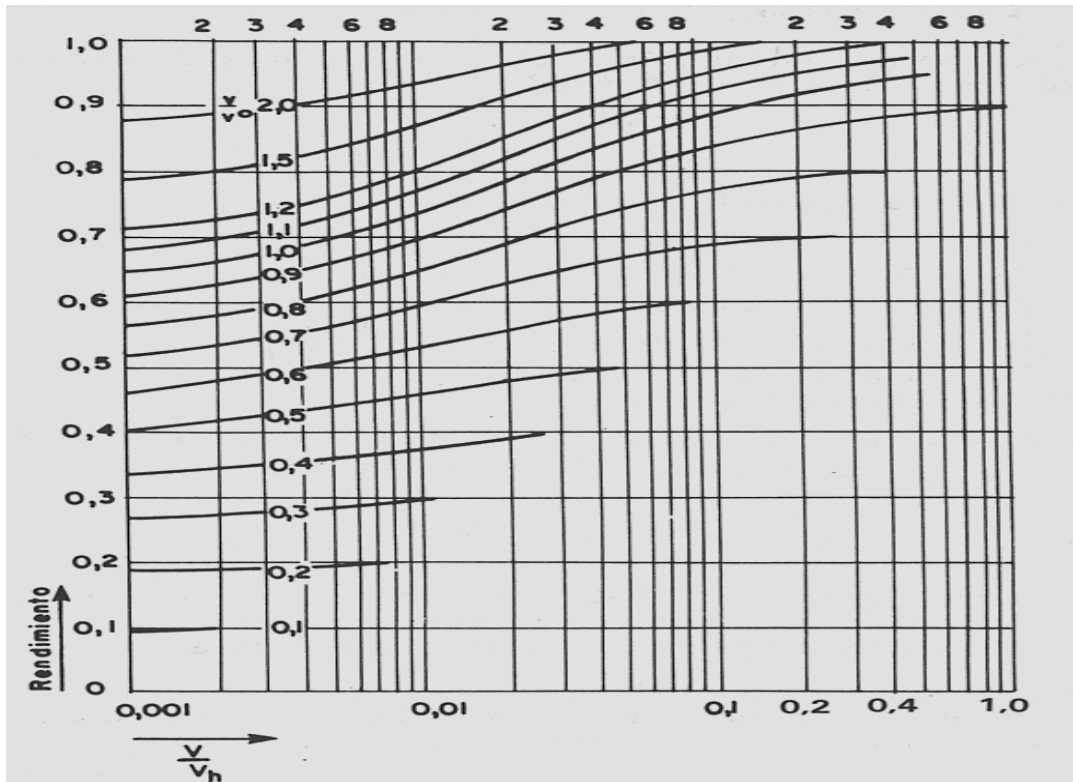


La circulación del agua debe hacerse en régimen laminar siendo  $Re < 20000$ .

- Velocidad crítica de sedimentación ( $V^o = Q / (BL)$ )

$V$  = Velocidad de sedimentación de una suspensión de partículas discretas de la misma dimensión.

**Figura No. 6 Rendimiento del sedimentador**



Fuente: Dobbins. **Diseño de sedimentadores secundarios.** Internet

La figura No.6 muestra la tendencia del rendimiento de un sedimentador en función de las relaciones  $V/V_h - V/V_o$ . La figura representa que para obtener un rendimiento de 0.87 para  $V/V_o = 0.9$  debe cumplirse la desigualdad  $V_h < 2.5V$ .

- **Perturbaciones de arrastre por velocidad**

Las partículas pueden volver a estar en suspensión en un sedimentador ideal si se alcanza la velocidad de arrastre ( $V_a$ ). (Camp, 1954)

**Tabla V. Ecuación empleada para calcular la velocidad de arrastre**

$V_a = (8\beta / f)(g_{\text{grav}}[(f_s - f) / f_s] d)^{1/2}$	
$\beta = 0.004$ para granos arena uniforme	$\beta = 0.08$ para lodos
$\beta = 0.006$ partículas heterogéneas	$f =$ Coeficiente de rozamiento = 0.03
$f_s =$ Densidad de la partícula	$f d = f_s - f$
$f =$ Densidad del agua	$d =$ Diámetro de la partícula.

**Fuente: Dobbins, Diseño de sedimentadores secundarios.**

**[www.miliarium.com/proyectos/depuradoras](http://www.miliarium.com/proyectos/depuradoras)**

La tabla V presenta la ecuación para calcular la velocidad de arrastre en un sedimentador.

Para condiciones de arrastre a velocidades  $V_h < V_a$ , se establece  $(H/L) > (V_h/V_a)$ .

- **Perturbaciones por falta de homogeneidad.**

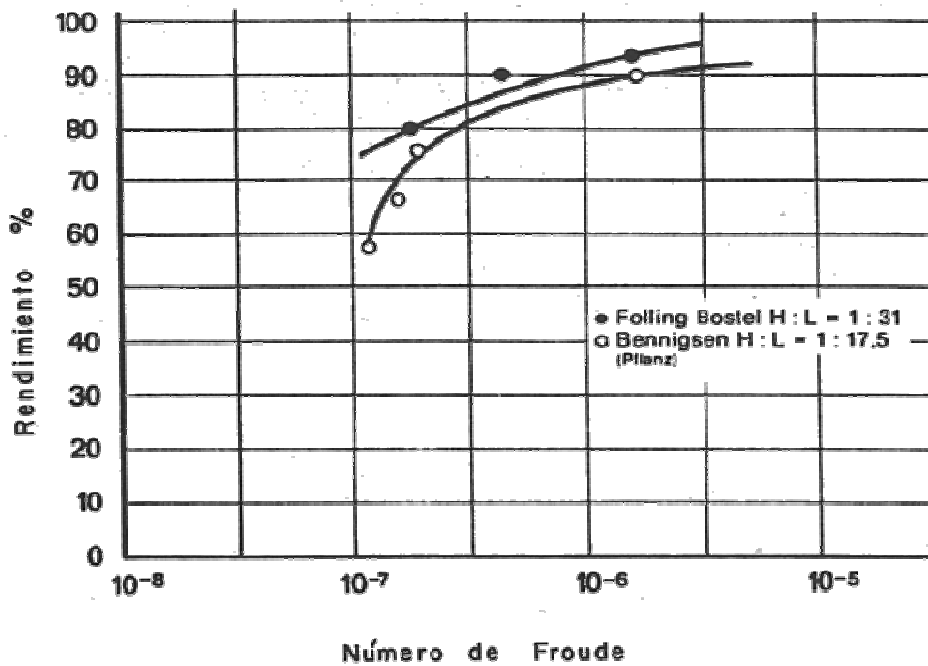
La homogeneidad de la corriente viene dada por el número de Froude (Fr).

$$Fr = V_h^2 / (gR)$$

$V_h =$  Velocidad horizontal de circulación media

$R =$  Radio hidráulico

Figura 7. Rendimiento del sedimentador



Fuente: Dobbins. Diseño de sedimentadores secundarios. Internet

La figura 7 muestra el rendimiento del sedimentador en función al número de Froude

- **Perturbaciones en las entradas y salidas**

Deberán adoptarse dispositivos adecuados, aunque se incremente la longitud establecida del sedimentador en un 6 %.

Los dispositivos que se usan para contrarrestar las perturbaciones son:

- **Mampara de tranquilización o baffle deflector**

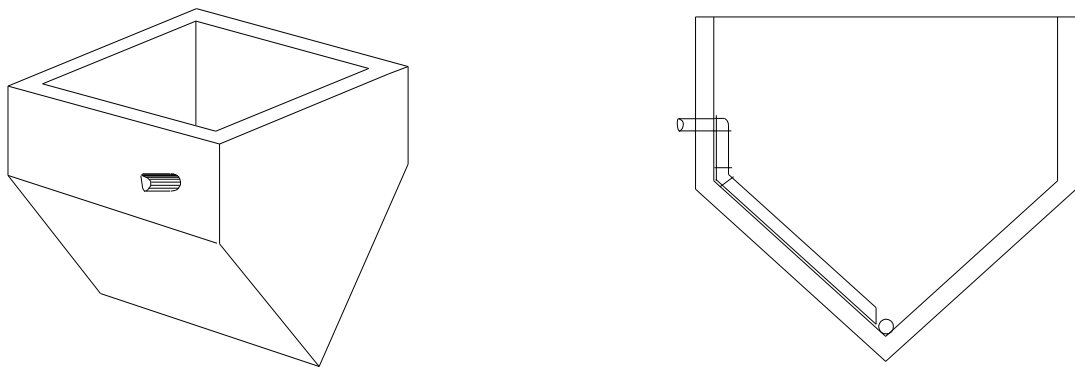
Rompe la energía de entrada del agua y facilita su reparto en las capas inferiores del sedimentador, el baffle deflector debe rebajar la velocidad a 0.5 m/min.

- **Sistema de salida de agua :**

Se utilizan vertederos perimetrales de tipo dentado (atenuación de variaciones en nivel de agua del sedimentador para diferentes caudales).

Velocidad máxima en vertederos: < 3 l/s en sedimentadores verticales  
< 8 l/s en sedimentadores horizontales

**Figura 8. Sedimentador secundario típico**



**Fuente:** [www.miliarium.com/proyectos/depuradoras/](http://www.miliarium.com/proyectos/depuradoras/)

La figura 8 muestra el esquema de un sedimentador secundario típico a usar en una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas.

- **Dispositivo de retiradas de grasas**

Las grasas y sobrenadantes son empujados por una barredera superficial hasta un canal en la pared de entrada.

- **Purga de lodos**

Es utilizada como salida de fondo, por lo que, existe una tubería de fondo que recoge el lodo del sedimentador para transportarlo a un pozo adosado mediante válvulas de accionamiento manual.

En la salida a escala superior, se extrae el lodo hasta una altura inferior al nivel del agua en el sedimentador, debido a la presión hidrostática existente en el fondo del sedimentador.

**Tabla VI Criterios de dimensionamiento de sedimentadores secundarios**

Velocidad ascensional $V^{\circ} < 1.8 \text{ m/h}$
Velocidad horizontal $<$ Velocidad ascensional
Número de Fraude $> 10 \text{ elev. } -5$
$Vh^2/R > 1271 \text{ m/h}$
$Vh < 50 \text{ m/h}$

Fuente: **Dobbins. Diseño de sedimentadores secundarios.**  
[www.miliarium.com/proyectos/depuradora/](http://www.miliarium.com/proyectos/depuradora/)

La Tabla VI presenta los criterios más importantes en el diseño de un sedimentador secundario.

### **1.1.5 Tratamiento y disposición del lodo**

Antes de su disposición, el lodo digerido de las plantas de tratamiento, en comunidades de pequeñas dimensiones, se concentra en lechos de secado

convencionales de arena. Las principales ventajas de los lechos de secado son su bajo costo, el escaso mantenimiento que precisan y el elevado contenido en sólidos del producto final.

El lodo digerido procedente del tanque RAFA, textura homogénea, olor a alquitrán y con un contenido de humedad cerca de 90%, se extiende en un área requerida de alrededor de 0.10 a 0.15 m<sup>2</sup>/10<sup>3</sup> personas, formando una capa de 0.20 a 0.30 m de espesor, y se deshidrata por drenaje a través de la masa de lodo y de arena, y por evaporación desde la superficie expuesta al aire. Los lechos que conforman el secado convencional de arena consisten de hasta 0.30m. de arena gruesa, con un cierto espesor adicional para compensar las pérdidas que se puedan producir durante las operaciones de limpieza, colocadas sobre 0.30 a 0.45m de grava. La base natural de tierra se forma con pendiente a los bajos drenes.

El lodo se puede extraer de los lechos después de que se haya secado y drenado suficiente para ser paleable y usarse como fertilizante suave o como material de relleno. El lodo seco posee una textura gruesa y agrietada, es de color negro o marrón oscuro, tiene poco o nada de olor y un contenido de humedad, después de 10 a 15 días en condiciones favorables, del orden de 60%.

Los lechos descubiertos se suelen utilizar en los casos en los que se dispone de una superficie adecuada y suficientemente aislada como para evitar las quejas provocadas por la generación de olores.

## **2. DISEÑO ESTRUCTURAL Y CALIDAD DEL CONCRETO EN LAS OBRAS HIDRÁULICAS**

### **2.1 Aspectos Estructurales**

Las PTAR son diseñadas para ejecutar procesos similares, sedimentación, filtración, almacenamiento. Entre estos procesos, el agua residual fluye con

baja velocidad en las tuberías bajo la fuerza de la gravedad, con una línea piezométrica resultante similar, dependiendo de la operación unitaria, bajo estas premisas, se considera el diseño estructural basado en condiciones de carga también similares.

Convencionalmente estructuras de concreto reforzado, han sido usadas extensivamente en proyectos de ingeniería sanitaria.

El diseño de estas estructuras requiere atención no solo de los requerimientos de resistencia, sino que también de una buena serviciabilidad, es decir; un diseño apropiado considerará las cargas aplicadas y que no existan o se limiten las grietas que producen fugas.

Un tanque se logrará diseñar y construir seguro contra las fugas, utilizando una apropiada y cantidad de refuerzo, considerando además; un apropiado espaciado y detallado de juntas, calidad del concreto y buenas prácticas de construcción.

Las estructuras deberán diseñarse y construirse según el comité del ACI-350 titulado concreto estructural en la ingeniería ambiental, y con el buen entendimiento del ACI-318 titulado código de requerimientos constructivos para el concreto reforzado.

Estos elementos pueden analizarse como losas que actúan en dos o una dirección, dependiendo de la relación altura / largo.

Las cargas aplicadas son cargas triangulares o trapezoidales, que básicamente son debidas al empuje de tierras y/o líquidos que contiene la estructura. Se deberá considerar la presión lateral del líquido, que actúa en toda la altura de los muros; debido a la posibilidad de que los rebalses o salidas se obstruyan. (Skokie, *Rectangular concrete tank*, 1969)

Las placas podrán considerarse empotradas, articuladas o libres, dependiendo del tipo de estructura que se trate. El detallado del refuerzo es relevante para lograr las condiciones de empotramiento o continuidad de las losas. (Davies J.D, *Bending Moments in Long Walled Tanks* ,1967)

Existe un método aproximado para el análisis de estas losas, comúnmente usado, que consiste en la determinación de momentos y cortantes basándose en coeficientes, los que se encuentran en tabulaciones que definen las reacciones en diferentes puntos de las losas, tanto en sentido vertical como horizontal. (Skokie, *Rectangular concrete tank*, 1969)

Deberá tenerse especial atención en el hecho de que el cortante perimetral actuante en una placa, se transfiere a las placas perpendiculares o adyacentes; como fuerzas de tensión directa.

El refuerzo total a proporcionar en una sección, será el requerido por la flexión, por la tensión y por temperatura.

Deberá proporcionarse doble cama de refuerzo; una en cada cara. El refuerzo de temperatura y el refuerzo por tensión, podrá suministrarse la mitad en cada cama de refuerzo.

Sobre el espesor mínimo de las placas para estas estructuras, deberá ser de 25 centímetros; el recubrimiento mínimo será de 5 centímetros.

En el análisis de la placa o losa de cimentación se considerará la reacción del suelo debida al peso de las paredes y cubierta del tanque y/o sobrecarga, sin considerar; el peso de la placa misma y el peso del agua o líquido que contiene. Deberán considerarse los momentos transferidos por las paredes del tanque.



### 2.1.1 Parámetros de diseño

- **Cargas**

Las cargas vivas que se usan en el diseño estructural de varios elementos pueden usualmente ser determinadas por consideraciones racionales del tipo de estructura a utilizar, debido a que el peso específico varía de una operación unitaria a otra, ya que el peso específico del lodo puede variar de  $1040 \text{ kg/m}^3$  a  $1200 \text{ kg/m}^3$ .

Si la operación unitaria está determinada por lodos activados, el diseñador debe hacer un análisis basado en el equipo electromecánico propuesto para determinar si las cargas son justificadas. Estas cargas deben ser dadas por el fabricante.

La importancia del sistema de tratamiento considerado reside en las bajas cargas vivas que se toman en consideración en el diseño estructural.

Las cargas muertas pueden ser determinadas por el conocimiento de las densidades de los materiales estructurales. Para otros materiales, pared de block, lamina de PVC, acero inoxidable, fibra de vidrio, etc., pueden ser proporcionadas por catálogos del fabricante.

- **Refuerzo mínimo**

La cantidad, tamaño y espaciamiento de las varillas de refuerzo tienen un gran efecto sobre la extensión del agrietamiento. El refuerzo proveído deberá satisfacer las condiciones de resistencia y serviciabilidad, incluyendo consideraciones de los efectos de contracción por fraguado y cambios de temperatura. (Gogate, *Structural Design Considerations for Settling Tank and Similar Structures*, 1968)

El uso de varillas de diámetro menor con espaciamientos más cerrados, da un mejor control del agrietamiento que pocas varillas de mayor diámetro.

El espaciamiento máximo se limita a 30 centímetros y el recubrimiento mínimo deberá ser de 5 centímetros. (ACI, *Building code*)

El diámetro de la barra debe ser menor al 6 % del espesor de la placa. (ACI, *Committee 350*)

- **Cimentación**

En la selección del tipo de cimentación, es importante considerar el mínimo asentamiento diferencial, ya que este puede tener efecto en las paredes al producir agrietamiento. Si no es excesivo, quizás no sea dañino. Debe ser contrarrestado al colocar tubería y conductos.

La cimentación sobre suelo compresible requiere especial atención, por el resultado de la distribución de la presión bajo la losa y por la variación de cargas en suelo causados por el uso alternado o parcial de tanques modulares. (Davies, J.D. *Analysis of Long Rectangular Tanks Resting on Flat Rigid Supports*, 1969)

## 2.2 **Calidad del concreto**

La buena calidad del concreto está en función, de que tanto, puede éste retener el agua bajo presiones hidrostáticas altas, y tener a la vez, un estricto control de grietas ya contemplado por el ingeniero al utilizar juntas y refuerzo.

La finalidad del refuerzo y las juntas, es mejorar las propiedades del concreto endurecido, por lo que, forman parte integrante en la calidad del mismo.

Las propiedades del concreto del concreto endurecido en las obras hidráulicas son las siguientes:

- Alta densidad y permeabilidad, para minimizar la contaminación de las aguas residuales al ambiente.

- Alta resistencia a los procesos químicos y biológicos dentro del tanque.
- Superficie suave para minimizar la resistencia al fluido.
- No debe sufrir cambios dimensionales significantes bajo las condiciones de servicio

Mínima permeabilidad de él concreto se obtendrá usando relaciones agua – cemento tan bajas como la consistencia, con satisfactoria trabajabilidad y buena compactación.

Los inclusores de aire reducen la segregación e incrementan la trabajabilidad. Se utilizan relaciones agua-cemento bajas.

Las puzolanas son útiles cuando se necesita incrementar la trabajabilidad y la compactación cuando se usan bajas relaciones de agua-cemento.

Por la contracción es importante minimizar el cemento. Los requerimientos para la durabilidad, trabajabilidad y densidad establecen que el mínimo en contenido de cemento es de 7.2 bolsas por metro cúbico. (ACI 350, 1989)

La contracción por desecación es la disminución en el volumen de un elemento de concreto cuando éste pierde humedad por evaporación después de que el concreto ha alcanzado su fraguado final y se ha completado una buena parte del proceso químico de hidratación en el gel-cemento. El fenómeno opuesto, esto es, el aumento de volumen a través de la absorción de agua, se llama expansión. (Edward G. Nawy, 1988)

Son varios los factores que afectan la magnitud de la contracción por desecación: (Edward G. Nawy, 1988)

- **Agregado.** El agregado actúa para restringir la contracción de la pasta de cemento; de aquí que los concretos con alto contenido de agregado sean menos

vulnerables a contraerse. Aquellos con elevado módulo de elasticidad o con superficies ásperas son más resistentes al proceso de contracción. (Edward G. Nawy, 1988)

Debe señalarse que el valor del módulo de elasticidad está también afectado por factores diferentes a las cargas, tales como humedad en el concreto, la relación agua-cemento, edad del concreto y temperatura. (Edward G. Nawy, 1988)

- **Relación agua-cemento.** Cuando mayor sea la relación agua-cemento, mayores serán los efectos por contracción. (Edward G. Nawy, 1988)
- **Tamaño del elemento de concreto.** Tanto la relación como la magnitud total de contracción disminuyen con un aumento en el volumen del elemento de concreto. Sin embargo, la duración de la contracción es más larga para grandes miembros ya que se necesita de mayor tiempo para que el secado alcance las regiones internas. (Edward G. Nawy, 1988)
- **Condiciones del medio ambiente.** La humedad relativa del medio ambiente afecta en gran escala la magnitud de la contracción; la relación de la contracción es más baja a estados altos de humedad relativa. Otro factor es la temperatura del medio ambiente, en la que la contracción se estabiliza a bajas temperaturas. (Edward G. Nawy, 1988)
- **Aditivos.** Este efecto varía dependiendo del tipo de aditivo. Un acelerante tal como cloruro de calcio, utilizado para acelerar el endurecimiento y fraguado del concreto, aumenta la contracción. (Edward G. Nawy, 1988)
- **Tipo de cemento.** Los cementos de endurecimiento rápido se contraen de algún modo más que otros tipos, mientras que los cementos compensadores de contracción minimizan o eliminan el agrietamiento por contracción si se utilizan junto con el refuerzo. (Edward G. Nawy, 1988)

Debido a los esfuerzos producidos por la contracción por desecación y las variaciones de temperatura, se generan fugas en el tanque en las grietas que éstos producen y en las juntas embebidas en el concreto.

El total de contracción por desecación del concreto varía de  $4 \times 10^{-4}$  a  $8 \times 10^{-4}$  cm./cm. Cuando es expuesto al aire, al 50% de la humedad relativa. (skokie, *Volume changes of concrete*, 1967)

Aproximadamente el 4% del total de contracción es alcanzado en el primer mes, y el 90% en el primer año. Dado a los límites razonables del tiempo de construcción, es aparente que la mayor parte de la contracción es alcanzada antes que se llene el tanque.

Para contrarrestar los efectos que producen, la variación de la temperatura, la contracción por desecación y la expansión. El tanque de concreto debe tener una relación agua-cemento no mayor de 0.53 (basado en 1.905cm – 2.54cm de Ø en el agregado grueso), con una resistencia a la compresión de 281 Kg./cm.<sup>2</sup>, contenido de aire de 6+- 1% y un *slump* de 10cm. (Skokie, *Watertight concrete*, 1969)

Las variaciones en la mezcla pueden ser consideradas basadas en las condiciones locales o requerimientos, pero deben producir concreto con equivalente densidad y durabilidad.

El ataque por CO<sub>2</sub> solamente ocurre bajo la superficie del agua en el tanque RAFA. Sobre la superficie del agua y bajo condiciones aeróbicas el concreto no es atacado por lo que se debe aplicar una capa protectora en las superficies húmedas de la PTAR. Este revestimiento puede consistir de una pintura epóxica o similar. (Haskoning, 1989)

Con una buena calidad del concreto, pueden ocurrir todavía algunos esfuerzos por contracción, por lo que, en los agrietamientos por cambio de volumen, el diseñador puede usar refuerzos de acero y juntas. Estos dos elementos deben ser considerados mutuamente.

Las juntas de expansión son las más utilizadas por los ingenieros, éstas tienen como función, permitir la expansión y la contracción del concreto durante el periodo de curado y el periodo de servicio, separar las áreas o miembros que pueden ser afectados por los cambios dimensionales (tuberías, ductos, etc.) y por ultimo permitir el movimiento relativo de los desplazamientos debido a la expansión, contracción y el movimiento diferencial de la cimentación. (ACI 350, 1989)

Varios factores afectan el resultado del movimiento que toma lugar en el tanque debido a la temperatura, también de la extensión que el movimiento tomó antes de que los daños ocurriesen, por lo que podría requerirse mantenimiento si no se sabe exactamente colocar las juntas. Debido a la complejidad del problema, nadie aún ha establecido procedimientos nacionales aceptables, para precisar el tamaño y la localización de las juntas de expansión. ( *Expansion joins in Buildings, Technical Report No. 65, 1974*)

En la losa de cimentación del tanque, del estudio de suelos que se realice, el ingeniero especialista en suelos debe proporcionar información para determinar si se deben colocar juntas en la misma.

Las juntas deben tratarse, al colocar bandas termoplásticas de cloruro de polivinilo o *waterstop* para no causar la corrosión en el refuerzo de acero, debido a la infiltración del agua.

Entre las ventajas de las bandas existen las siguientes: Máxima seguridad e impermeabilidad en todo tipo de juntas por su alta elasticidad, resistencia y diseño; alta resistencia química a aguas ácidas, alcalinas y demás sustancias corrosivas y agresivas, máxima impermeabilidad en las juntas y uniones de concreto, no presenta ninguna reacción química con el concreto, excelente

durabilidad por su alta resistencia al envejecimiento, es de fácil colocación en obra y pegado de empalme.

La colocación de ésta banda en la junta vertical, comienza al colocarla de forma perpendicular a la junta en la parte central de la sección transversal del elemento, fijándola con alambres. Después se modifica la formaleta de la sección transversal con el fin de que solo quede embebida la mitad de la sección de la banda, luego se funde el muro, se retira la formaleta y por ultimo se funde el elemento adyacente.

El ancho máximo de la banda no debe ser mayor al espesor del elemento en que ésta será colocada. Para lograr un anclaje correcto dentro del concreto, el ancho mínimo de la banda no debe ser menor a seis veces el tamaño del agregado máximo, más el ancho de la misma junta.

La distancia de la superficie del concreto en contacto con el agua, al punto donde la banda será colocada, no debe ser menor a la mitad del ancho.

La distancia mínima entre el hierro de refuerzo en el concreto y la banda, debe ser dos veces el tamaño del agregado máximo.

En el empalme de estas juntas no debe existir traslape, debido al material del cual están echas, pueden unirse de inmediato por las dos puntas cuando éstas se derriten al estar en contacto con un metal caliente.

### **3. OBRA CIVIL RELACIONADA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

El conjunto de actividades que involucra la obra de construcción de una PTAR y que forma parte de los costos de inversión de la misma, se divide en 4 partes principales:

- Actividades preliminares

Trazo y nivelación del terreno

Chapeo del terreno

- Cimentación
  - Excavación
  - Rellenos
  - Acarreos fuera de obra
  
- Estructura
  - Concreto
  - Junta con *Waterstop*
  - Acero
  - Formaleteado y desformaleteado
  
- Instalaciones
  - Tuberías
  - Ductos
  - Accesorios

### **3.1 Cuerpo del tanque RAFA**

Los parámetros y criterios generales relacionados con la obra civil y de construcción de los tanques RAFA y para las demás obras hidráulicas son las siguientes:

- Tanques enterrados o semienterrados

La altura de las paredes debe ser la menor posible en el caso de los tanques RAFA, debido a las grandes alteraciones de la presión en las conducciones al variar el nivel del líquido en el tanque. (José Zurita, 1976)



Al tener un valor soporte de suelo bajo, y porque la estructura lo requiere, se debe utilizar losa de cimentación como subestructura con un espesor de 25 a 35 cm, en el caso del tanque RAFA, en sedimentadores con tolvas inferiores se utiliza de 10 a 15cm, al igual en los desarenadores y muros internos del tanque RAFA.

Para el concreto debe utilizarse el tipo I de 281 Kg./cm.<sup>2</sup> con impermeabilizante y aditivos anticorrosivos.

Se debe revestir apropiadamente el corte realizado, para evitar derrumbes del terreno, dicho corte se utiliza como formaleta, otra forma es sumar 1 metro más de longitud a la medida de cada rostro externo del tanque, para hacer formaleta en ambas caras del muro, luego para filtrar el exceso de agua en el suelo circundante al muro se debe rellenar con material selecto.

La densidad del acero debe ser de 100 Kg./m.<sup>3</sup> para espesores de 25 a 35 cm, y 55kg/m<sup>3</sup> para espesores de 10 a 15 cm.

- Tanques al nivel de terreno

Para tanques con nivel de plataforma igual al nivel de la parte superior de la losa de cimentación, los criterios de concreto, desperdicio, y densidades del acero son iguales.

Los criterios antes expuestos para tanques pueden variar con la altura de profundidad del mismo, al depender del perfil hidráulico del terreno, debido a la diferencia de cotas mínimas al nivel de plataformas de ambas obras hidráulicas, a la diferencia de cotas invert entre puntos en un ducto que conecte de una obra hidráulica a otra, y principalmente por la carga hidráulica que el agua debe tener a la entrada de la obra hidráulica.

Es preferible que el tanque RAFA quede expuesto, debido a factores culturales, porque la mayoría de veces al transcurrir el tiempo, las personas se

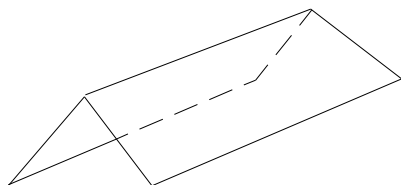
olvidan que hay un tanque enterrado al que hay que darle mantenimiento, esto por consiguiente evitaría el costo por excavación.

### 3.2 Campanas del separador GLS

Las campanas del separador GLS son construidas de concreto reforzado, con espesores de 10 a 15 cm, fibra de vidrio de 4 mm, y lamina de PVC de 6 mm.

En las campanas hay que perforar un rectángulo de 0.50x0.70m, para que el operador entre a la cámara de digestión, éste es llamado *manhole*, las aberturas se deben sellar con un impermeabilizante y una tapadera de 0.70x0.90m, y se deben perforar con tornillos busca rosca de acero inoxidable de  $\varnothing \frac{1}{4}$  pulg x 1 pulg @ 0.10 m.

#### Figura 9. Esquema de las campanas GLS

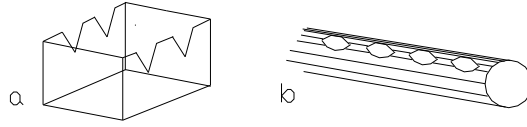


La figura 9. muestra la campana GLS en el tanque RAFA

### 3.3. Canaletas del efluente y sistema de distribución

Las canaletas del efluente pueden ser echas de concreto empotradas en los extremos de éstas con la pared del tanque, éstas se utilizan para distribuir uniformemente el agua que va a ser transportada al filtro percolador u otra obra hidráulica, también son colocadas para la misma función, tuberías de 150mm con un corte longitudinal a media circunferencia.

## Figura 10. Canaletas del efluente



La figura 10. muestra las canaletas del efluente utilizadas a) de concreto con vertederos. b) tubería de 150mm de PVC

El sistema de distribución puede ser construido de tubería de PVC con conexiones universales colocadas a una distancia de 0.30 m a rostro interno del tanque RAFA, esto es, debido a la limpieza que debe realizarse dentro de la tubería, porque la velocidad del afluente es bastante baja y la cama de lodos ejerce una presión sobre los puntos de distribución, y la materia es sedimentada dentro de la tubería.

Con las conexiones universales se puede extraer la tubería en su longitud para destaponar los puntos de alimentación y limpiarse por dentro. La distribución de los puntos de alimentación de ésta tubería está basada según el diseño de ésta.

Otra forma es construir cajas de distribución con registros. Un registro por punto de alimentación al fondo del tanque RAFA. Estas cajas de distribución cuentan con un canal de alimentación que distribuye el flujo a cada registro por medio de vertederos.

Las ecuaciones empleadas en el diseño de los canales y cajas de distribución son:

- Ecuación de Bandini para canales rectangulares con base igual a dos veces el tirante hidráulico (De Azevedo y Acosta, 1988)

$$\lambda = (nxQ)(Rx(S)^{1/2})$$

En donde:  $Q$  = flujo en m<sup>3</sup>/s

$n$  = Coeficiente de Manning (0.016)

$R$  = Coeficiente de forma (1.26 para canales rectangulares)

$S$  = Pendiente en m/m (0.0005)

$\lambda$  = Tirante hidráulico en "m"

- Ecuación para vertederos rectangulares (De Azevedo y Acosta, 1988)

$$Q = 1.838(L)(H)^{3/2}$$

En donde:  $Q$  = Flujo en m<sup>3</sup>/s

$L$  = Longitud de cresta en "m"

$H$  = Carga del vertedero en "m"

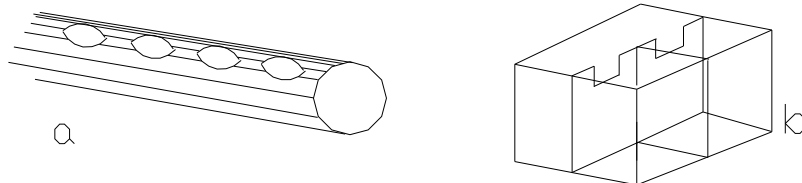
- Fórmula de Thompson (Ecuación para vertederos triangulares) (De azevedo y Acosta, 1988)

$$Q = 1.4(H)^{5/2}$$

En donde:  $Q$  = Flujo en m<sup>3</sup>/s

$H$  = Carga del vertedero en "m"

**Figura 11. Esquema del sistema de distribución**



La figura 11. muestra el sistema de distribución utilizado en los tanques RAFA.  
a) tubería de pvc b) por cajas de distribución

### **3.4 Tubería y accesorios**

La entrada de líquidos puede hacerse mediante conducciones abiertas o cerradas. En el caso de conducciones cerradas o tuberías, éstas pueden estar sometidas a presión, lo cual ocurrirá si la tubería se ha de cerrar en algún caso mediante válvulas o compuertas, para lo cual el tubo será suficientemente resistente para soportar la presión que se cree por la diferencia de nivel existente. Si la tubería no ha de cerrarse o no se prevé su puesta en carga, aquélla puede ser de un material que no trabaje a presión interna, es decir, que para tales conducciones valdrá un tubo de concreto sin armar. (Gerardo G. Zabaleta, 1970)

Las tuberías para la conducción de agua u otros líquidos, tanto para su entrada o salida de los depósitos como para la comunicación entre ellos, pueden ser de distintos materiales, siempre que sean suficientemente resistentes a la presión radial interior que se produce en los mismos por efectos de la carga o presión hidrostática del líquido. A igualdad de resistencia son preferibles aquellos materiales cuya rugosidad interior sea mínima para disminución de las pérdidas de carga por rozamiento. (Gerardo G. Zabaleta, 1970)

La tubería y accesorios utilizados para la distribución del afluente son:

- Tubería de PVC hidráulico con 1 campana, 51 mm de diámetro
- Codos de 45° de PVC hidráulico, 51 mm de diámetro
- Coplas de PVC hidráulico, 51 mm de diámetro
- Abrazaderas de perfil de acero de 1 ¼ pulg., con pintura anticorrosiva

- Soportería para tubo y abrazaderas de perfil de acero de 1 ¼ pulg., con pintura anticorrosiva.

La tubería para la descarga de lodos de purga:

- Tubería de PVC hidráulico con 1 campana, 100 mm de diámetro
- Válvulas de mariposa para tubería de 100mm
- Tubo ahogado en concreto, de acero cédula 40, diámetro 100 mm, con arandela sujeta a armado de muro y brida en un lado
- Cruces de PVC hidráulico, 100 mm de diámetro

La tubería y los accesorios para la conducción y descarga de biogás son los siguientes:

- Coplas y codos de 90° de Ø 100mm, éstos deben ser colocados en la captación del biogás.
- Reducidor de PVC Ø 100mm x 50mm para conectar las coplas Ø 100mm hacia tubería principal de PVC Ø 50mm, donde el biogás se dirige hacia el quemado.
- Trampa de llama que consiste de una unión universal PVC Ø 50mm, en la cual coloca una malla inoxidable

Puede usarse en un lugar distante del tanque ó en un punto sobre éste el sistema de trampa de agua, éste tiene dos codos PVC de 90° Ø 50mm, una tee PVC Ø 50mm, y dos tubos PVC Ø 50mm con una longitud de 0.27 m, En este dispositivo queda retenida el agua,

Para quemar el gas que en su mayoría es metano se debe utilizar un quemador de biogás de acero inoxidable.

Los accesorios correspondientes a la tubería de biogás se pueden considerar como un 40 % del costo de la tubería (40%)

En general, el desarenador, sedimentador, filtro percolador requieren de pocos accesorios en comparación con el tanque RAFA, debido a que de alguna forma están relacionadas a la eficiencia que éstas individualmente van a tener en la remoción del agua residual, por ejemplo, si es un caudal de agua residual domestica, en el desarenador se debe colocar una trampa de grasa, una cámara conectada al mismo para depositar los lodos retornados del sedimentador secundario, también va con la condicionante de en la siguiente etapa un tanque anaerobio se va a construir.

En el pre-tratamiento los accesorios más utilizados son:

- Dos rejillas en acero al carbono
- Una compuerta de desarenador
- Dos vertederos proporcionales
- Tubería para trampa de grasas (tee + codo + tubería )

En un sistema que no sea por gravedad, en la cámara de deposito de lodos retornados se deben colocar las bombas necesarias para transportar el agua residual de un punto a otro, éste diseño depende de las características de la bomba, la altura entre puntos, el caudal de bombeo y las perdidas de carga. Por lo regular, para que tengan uso adecuado las bombas en la planta, en la tubería que une estos dispositivos con el tanque RAFA, se utilizan dos uniones universales, dos válvulas de PVC de bola doble universal, dos válvulas de cheque de bronce (vertical), dos controles de nivel flotador y dos estaciones pulsadores ( *start – stop* )

En el filtro percolador se utiliza los siguientes accesorios:

- La tubería necesaria para la alimentación en el medio biológico.
- El medio en donde la población biológica reside, éste es elaborado de plástico.

- Tubería de venteo aprox. a 1 metro de la plataforma
- Abrazaderas tipo cincho inoxidable

Por último, en el sedimentador secundario:

- La tubería o flauta en el fondo de la tolva
- Sistema de purga de lodos

Algunos tanques son enterrados; otros están cubiertos; en determinados casos existen tuberías de llegada o de drenaje que están colocadas en zanjas de determinada profundidad. En todos estos casos, para el control e inspección y reparación en su caso, se necesita disponer de pozos de registro que permitan el acceso, la limpieza y la reparación. Tales registros suelen ser de concreto en masa o armado y van provistos de tapa de hierro dulce o fundido, reforzada en el caso de que sobre ella hayan de pasar cargas pesadas. (Gerardo G. Zabaleta, 1970)

### **3.5 Pasillos y barandales**

Las especificaciones para los pasillos y barandales utilizados en los caminamientos a través de laderas ó sobre los tanques que estén al nivel de terreno son las siguientes:

Altura de barandal: 1.2 m

Ancho de pasillo 1 m

Barandales con tubería de acero cédula 40, 50 mm Ø

## **4. MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA PLATAFORMAS**

### **4.1 Cubicaciones**

Se denomina cubicaciones en los movimientos de tierras, al cálculo que es necesario efectuar para conocer de antemano el volumen de material que ha



de ser movido o transportado, bien para ser empleado en otro lugar de la obra, o bien para retirarlo como sobrante de la misma. Entre los sistemas de cubicaciones, el más usado es el sistema de perfiles. (Jose Zurita Ruiz, 1976)

#### **4.1.1 Sistema de perfiles**

Este sistema es el empleado para calcular el movimiento de tierras en los trazados que son de gran longitud y relativamente estrechos. (José Zurita Ruiz, 1976)

La PTAR descrita se caracteriza por tener una extensión de terreno ó área pequeña, la longitud de la misma es significativamente mayor al ancho, debido ala sucesión de etapas en serie, por lo que se puede considerar el sistema de perfiles para el movimiento de tierras.

Antes que todo, para conocer éste sistema de perfiles, primero debe realizarse el levantamiento topográfico, el cual se origina en el campo, y consiste en plasmar en un plano el polígono general que está referenciado respecto a un punto inamovible. (José Zurita Ruiz, 1976)

En el caso de la PTAR, éste puede ir referenciado en el nivel de la banqueta en la entrada hacia la PTAR, u otro punto conveniente.

En gabinete se hará el plano, con la información obtenida en el campo, éste debe contener como mínimo la siguiente información:

- Tabulación de las estaciones con azimut y distancias
- Escala
- Orientación
- Área
- Colindancias
- Pie de formato

Después de conocer la geometría, se procede a la configuración altimétrica del área interna del polígono. Esto se logra a través de una nivelación del área del polígono. El método más común y usual para la nivelación es el de los perfiles.

Éste consiste en colocar estacas en aquellos lugares por donde ha de ir el trazado, de forma que se adapten a la realidad del terreno. Es decir, en terrenos sinuosos, las estacas estarán más juntas, en las zonas llanas, éstas podrán ir más separadas. Es un trabajo de equipo dividido en varios cometidos: Un grupo pondrá los vértices de la poligonal y replanteará las curvas, otro clavará las estacas en aquellos lugares que el trabajo aconseje según su objeto, y al mismo tiempo medirá las distancias entre ellas, otro equipo nivelará estacas, las cuales irán numeradas. (José Zurita Ruiz, 1976)

Otro equipo tomará los perfiles transversales, los cuales son pequeños perfiles longitudinales perpendiculares al eje del perfil longitudinal trazado, localizado cada uno de ellos en una de las estacas o puntos de la longitudinal. (José Zurita Ruiz, 1976)

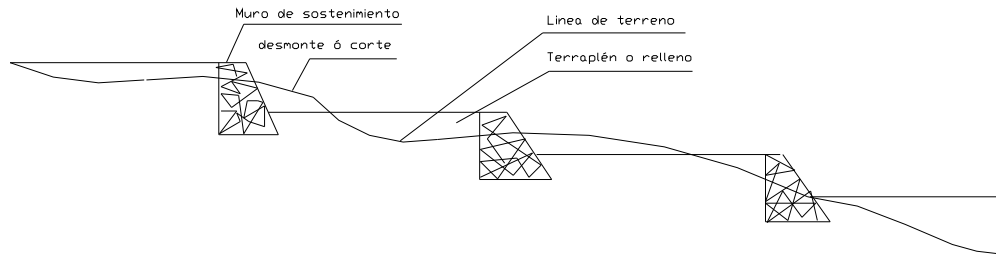
La nivelación directa (o geométrica) es el sistema más empleado en trabajos de ingeniería, pues permite conocer rápidamente diferencias de nivel por medio de lecturas directas en distancias verticales. Ésta puede ser: Simple o compuesta.

Con los datos (cota y distancia) obtenidos por medio de los trabajos efectuados en el campo, se procede en gabinete a dibujar a escala dicha base de datos, con ésta no es posible trazar las curvas de nivel que representan el relieve del terreno, es necesario determinar los puntos que se unen para trazar las curvas de nivel.

Los puntos de cota redonda, son los puntos que se unen con los de la base de datos para trazar las curvas de nivel, éstos se determinan por medio de interpolación aritmética.

La rasante ó nivel de la plataforma de cada obra hidráulica está condicionada por el perfil hidráulico de la misma, ya de establecer las rasantes o abanalamiento se debe tener el diseño hidráulico de la PTAR.

### Figura 12. Obra de abanalamiento



Fuente: José Zurita. Obras hidráulicas. Pag. 45

La figura 12. muestra una obra de abanalamiento, en la cual se observa que deben construirse muros entre plataformas

Para establecer éstas, se trazan tanto perfiles longitudinales como sean necesarios, y siempre en el sentido de la pendiente, para proyectar las rasantes de forma que se consigan volúmenes lo más iguales posibles para desmontes o cortes y terraplenes. (José Zurita Ruiz, 1976)

La orientación de las plataformas con respecto a las curvas de nivel es determinante en lo que a movimiento de tierras se refiere y al rendimiento de la maquinaria en el momento de la ejecución de la obra.

En términos generales se presentan tres casos:

- Primer caso: Que el eje longitudinal de la plataforma se oriente en forma paralela a las curvas de nivel.  
Se obtendrán plataformas más grandes y los desmontes ó cortes del movimiento de tierras serán poco variables.

Constructivamente es más eficiente, pues entre más grande sean las plataformas, la eficiencia en el tractor que las corte será más alta, y por lo tanto lo hará en menos tiempo.

- Segundo caso: Que el eje longitudinal de la plataforma se oriente en forma perpendicular a las curvas de nivel.

Constructivamente las plataformas serán más difíciles de cortar y la eficiencia del tractor que ejecute el trabajo será menor.

- Tercer caso: Éste es el más común y es una combinación de los anteriores, éste será el que se presente en los diseños de las plataformas, y mientras más alejado se encuentre de los dos casos anteriores, se obtendrá un movimiento de tierras mayor.

Para calcular el movimiento de tierras se procede de igual forma que en los canales o caminos, considerando cada bancal ó plataforma de muro a muro, como un perfil transversal, y la distancia será la que haya entre perfil y perfil. (José Zurita Ruiz, 1976)

Al simular la sección como una superposición de triángulos rectángulos, se obtienen todas las superficies de los perfiles transversales para proceder a la cubicación de acuerdo con las formulas que a continuación se detallan: (José Zurita Ruiz, 1976)

- Para dos desmontes o dos terraplenes consecutivos:

$$\text{Volumen} = (\text{superficie del 1.º} + \text{superficie del 2.º}) \times (\text{distancia}) / 2$$

- Para un perfil en desmonte y otro en terraplén, o viceversa:

Si vemos en el perfil longitudinal a que distancia corta la rasante al terreno en el paso de desmonte a terraplén, tendremos (figura 13.A):

$$\text{Desmonte o corte} = (\text{Desmonte o corte}) \times (\text{Distancia}) / 2$$

$$\text{Terraplén o relleno} = (\text{Terraplén o relleno}) \times (\text{Distancia}) / 2$$

- Para un perfil totalmente en desmonte (o terraplén), y el consecutivo con parte en desmonte y parte en terraplén (figura 13.B):

$$\text{Desmonte o corte} = (\text{Desmonte} + \text{Desmonte}) / 2$$

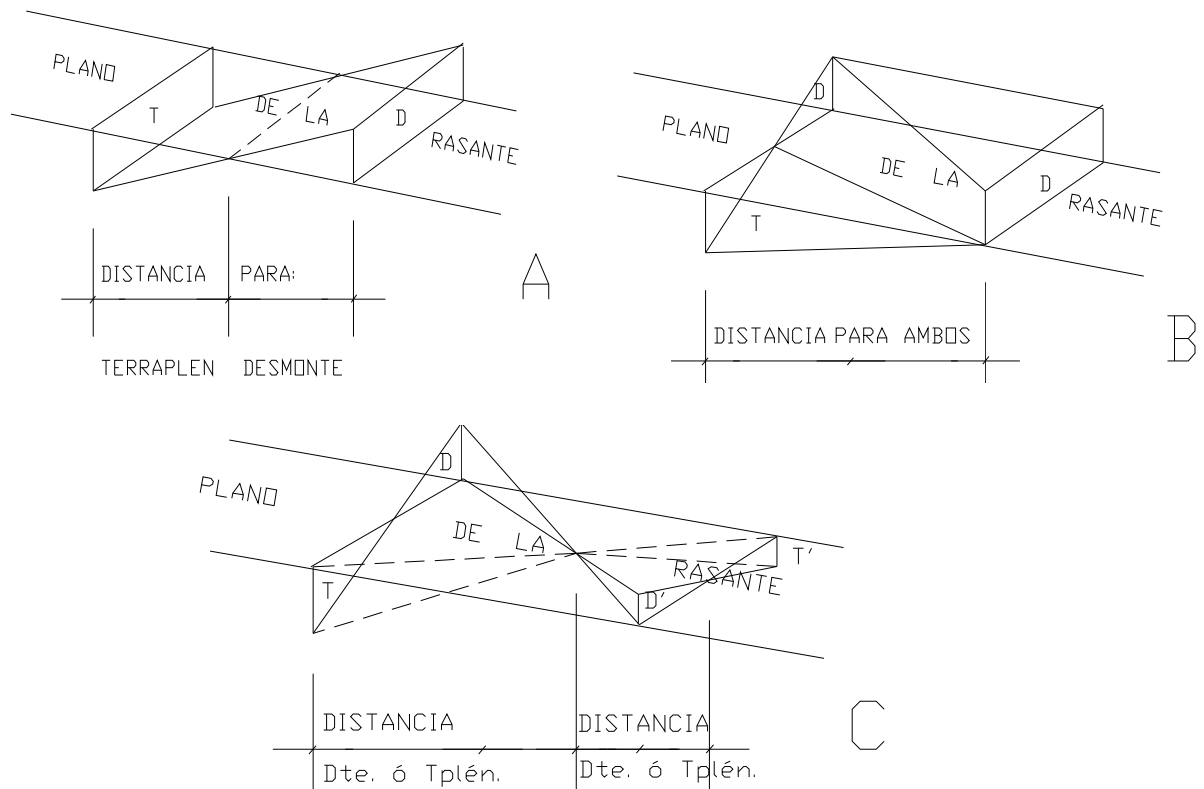
$$\text{Terraplén o relleno} = (\text{Terraplén}) \times (\text{Distancia}) / 3$$

- Para el caso en que ambos perfiles vayan con parte en desmonte y parte en terraplén, pero en sentido lateral opuesto (figura 13.C):

$$\text{Desmonte} = (\text{Desmonte}) \times (\text{Distancia}) / 3 + (\text{Desmonte}') \times (\text{Distancia}') / 3$$

$$\text{Terraplén} = (\text{Terraplén}) \times (\text{Distancia}) / 3 + (\text{Terraplén}') \times (\text{Distancia}') / 3$$

**Figura 13. Representación gráfica de los perfiles sobre una plataforma**



**Fuente: José Zurita. Obras hidráulicas. Pag 45**

La figura 13. muestra los perfiles que se observan sobre una plataforma donde se construye una obra hidráulica

Cuando la cuadrilla de topografía ya tiene colocadas las estacas, donde se marca el corte o relleno que llevan las plataformas, es entonces cuando el jefe de maquinaria o en su defecto el ingeniero decide iniciar el trabajo de movimiento de tierras.

A continuación se tratará de dar algunos lineamientos para la ubicación de la maquinaria, en la ejecución del movimiento de tierras.

De preferencia debe utilizarse retroexcavadora cuando los cortes sean mayores de un metro de altura.

Para cortes menores o iguales a un metro de altura, de preferencia debe utilizarse tractor, que solo corte y empuje.

Los parámetros anteriores ayudan a escoger la maquinaria adecuada para obtener una mayor eficiencia en su uso.

El punto inicial de los trabajos de movimiento de tierras es recomendable que sea el sector más alejado del botadero.

Al planificar el desarrollo del proyecto se debe considerar el requerimiento cualitativo y cuantitativo de maquinaria para llevarlo a cabo, al tomar en cuenta que además de los factores mencionados anteriormente deben analizarse otros, que afectarán la producción del movimiento de tierras, entre los cuales se pueden mencionar:

- El rendimiento de un tractor cuando corta plataformas pequeñas, disminuye hasta un 50% de su rendimiento normal para calles o plataformas grandes. (Cuando permiten un movimiento de la máquina de 25 metros)
- Un grupo de producción en movimiento de tierras, donde se utilizará una excavadora mecánica, que deberá estar auxiliada de los camiones requeridos para tener un ciclo cerrado en el acarreo del material.

Si al analizar topográficamente el área del terreno donde se ejecutará el movimiento de tierras se obtuviera que:

- El terreno plano es mayor (cuando tiene pendiente menor o igual al 3 %) que el terreno inclinado. Se utilizarán grupos de producción formados con tractor.
- El terreno inclinado es mayor (cuando tiene pendiente mayor al 3%) que el terreno plano, se utilizan grupos de producción formados con una excavadora mecánica.

- La cantidad de grupos de producción estará definida por los volúmenes a cortar, mover y transportar, así como el tiempo planificado para ejecutar el movimiento de tierras, según se refleja en el programa de avance físico.

Al conocer lo anterior se puede definir la cantidad de maquinaria y camiones, así como también su tipo, que son necesarios para la realización del proyecto en el tiempo deseado.

Para determinar el combustible, por lo regular una excavadora necesita aproximadamente 25 galones diarios para trabajar las 8 horas, la retroexcavadora aprox. 10 galones diarios, la moto niveladora de aprox. 20 galones diarios, y la vibro compactadora aprox. 5 galones diarios. Éstos valores dependen de la marca de la maquinaria.

## **5. PROGRAMACION PERT – TIEMPO**

La programación Pert – tiempo, es un método que establece la acotación de un plan en el tiempo.

Éste método considera dicha acotación como, la duración de las actividades como variable entre un tiempo mínimo u optimista, y un tiempo máximo o pesimista, de modo que la duración esperada de cada actividad es una función probabilística entre esos tiempos extremos y el tiempo más probable de duración, que representa la moda de la distribución de probabilidades adoptada (la distribución beta). (José Leñero, 1970)

Por la falta de experiencia de los contratistas en la construcción de plantas de tratamiento ó por el hecho de construir en época de invierno, el ingeniero encargado debe estimar en forma probabilística la duración de las actividades de la construcción.



La duración estimada, con recursos establecidos en función de la misma, determina una posibilidad de ejecución en dicho marco temporal, ya que, al tener más experiencia sobre la técnica constructiva, predicción del estado meteorológico. Otra posibilidad podría tenerse para llegar a la realidad, debido a que el universo de un proyecto es el conjunto de posibilidades no realizadas.

El método por el carácter probabilística que tiene determina un modelo de la realidad, no la realidad misma. Pudiera acercarse más éste a la realidad si hubiese una convención en el proceso constructivo de proyecto en proyecto, condiciones similares del terreno, por lo que éste proyectaría en el futuro, la estandarización del tiempo en las actividades como las actividades mismas, la mano de obra especializada, entre otras.

La programación Pert – tiempo debe realizarse para alcanzar dicho acometido, ya que, pueden determinarse las actividades, medir el rendimiento aproximado de la mano de obra para obtener el tiempo estimado, calcular las actividades que conllevan a la menor duración del proyecto (ruta crítica) y calcular sobre la base de está la probabilidad de realizar la construcción de la PTAR bajo el plazo contractual.

### **5.1 Determinación de actividades**

Una vez que el objetivo del plan está claramente comprendido, corresponde establecer cuáles son las actividades que es necesario ejecutar para alcanzarlo. (José Leñero, 1970)

En la PTAR debe tenerse especial atención en la determinación de las actividades que pueden realizarse paralelamente dentro de la construcción de la infraestructura, por lo que debe planificarse y programarse sobre la base de los conocimientos técnicos que se tengan de, la calidad del concreto, movimiento de tierras para plataformas, obra civil relacionada a la PTAR, etc.

Cada actividad debe estar caracterizada por un comienzo, una acción a cumplir y un término de ella perfectamente definidos. (José Leñero, 1970)

La cuantificación basada en planos y especificaciones es la generadora de la premisa anterior, debido a que ésta establece posibles rendimientos de mano de obra que definen el término de acciones en las diferentes actividades del proyecto.

Las actividades deben determinarse en función del orden de precedencia que éstas tengan con otras actividades, y la importancia individual que ésta tenga en la contribución hacia la realización del proyecto.

Para determinar las actividades a cumplir se pueden seguir dos procedimientos alternativos: o examinar las tareas a realizar a partir del objetivo y desde allí retroceder preguntándose ¿Qué se debe hacer antes para que este evento se cumpla? O bien examinar el proyecto desde su inicio, en cuyo caso la pregunta será ¿Qué puedo hacer una vez cumplido este evento? (José Leñero, 1970)

El resultado de este examen será una anotación de las actividades que se vayan a individualizar, en una lista de actividades. (José Leñero, 1970)

Aunque esta forma de proceder hace aparecer próximas en la lista, las actividades cuya relación es más inmediata, esto no es una condición necesaria.

Lo importante al hacer la lista de actividades es que se incluyan a todas las que son necesarias para alcanzar el objetivo. Esto dependerá de la experiencia del equipo planificador, por una parte, y de un proceso repetido de análisis, por otra. Si en esta etapa se olvidaran algunas actividades, o no se las definiera en la forma más correcta, estos problemas pueden resolverse en utilización de tablas de secuencia. (José Leñero, 1970)

En la tabla de secuencia, una vez que se tiene la lista de actividades, corresponde establecer cuál es el orden de precedencia obligado entre ellas y cuáles pueden ejecutarse paralelamente. (José Leñero, 1970)

## 5.2 El tiempo en las actividades

Cada actividad tiene un tiempo estimado de ejecución, el cual se indica, colocado sobre la flecha que la identifica, un número que representa ese tiempo, medido en horas, días, semanas, etc. Este es llamado tiempo normal.

El tiempo normal se determina basándose en:

- Registros referentes a la duración de actividades iguales. Por ejemplo, algunas oficinas Gubernamentales y empresas, han determinado tiempos tipo para actividades de la construcción.

En el caso de la construcción de la PTAR descrita, poco se conoce en cuanto a las actividades y el tiempo para realizarlas en las oficinas gubernamentales, y pocas empresas privadas los han determinado.

La duración normal en la red Pert-tiempo es llamada “tiempo más probable” o “moda” de la distribución probabilística.

Al suponer que las actividades nunca han sido realizadas, se deben estimar los tiempos; optimista, normal o probable, y pesimista.

El tiempo optimista corresponde, a la duración que podría tener la actividad si todos los elementos que la componen pudieran realizarse en el menor tiempo posible y sin dilaciones de ninguna especie en el paso de un elemento a otro. Por definición se acepta que esta duración, u otra menor, a pesar de ser factible, sólo tiene un 1% de probabilidad de lograrse. (José Leñero, 1970)

Mientras que el tiempo pesimista corresponde a la duración que podría tener la actividad si cada elemento que la compone se tardara el máximo en realizarse

y que la coordinación entre los elementos fuera débil, sin caer en la interrupción, la negligencia o la intervención de factores de fuerza mayor. Por definición se acepta que esta duración, u otra mayor, sólo tiene una probabilidad de 1% de ocurrir. (José Leñero, 1970)

Es conveniente aclarar que las tres duraciones deben ser estimadas bajo la condición que se emplean los mismos recursos, de modo que la variación se produce por variables no controlables como podría ser el caso de la lluvia, condiciones topográficas, que haya o no napas de agua y que haya o no roca dura e donde se va asentar la estructura.

No está demás recalcar que las bondades de los resultados que se obtengan dependerán, en gran medida, de la acuciosidad con que se determine cada una de estas duraciones.

### **5.3 La ruta crítica**

La ruta crítica es el camino más largo del diagrama en términos de tiempo; es la cadena de actividades cuya realización consume más tiempo.

A las actividades de este camino se les llaman actividades críticas y el retraso de cualesquiera de ellas, provoca el retraso equivalente de todo el proyecto.

Una vez calculadas las ocurrencias más tempranas (TE) y más tardías (TL) de las actividades componentes, se seleccionan aquellas que tengan esos dos valores iguales ( $TE = TL$ ); dichos eventos se les conoce como “eventos críticos”; a las actividades que enlazan tales eventos, se les llama “actividades críticas” y al conjunto de eventos críticos de un diagrama se les denomina “camino o ruta crítica”. (José Leñero, 1970)

La determinación de la ruta crítica, es importante, pues nos señala el conjunto de actividades y subsecuencias, que rigen el proceso, o sea aquellas

que constituyen, por así decirlo, el contenido medular o básico del proceso del trabajo.

Las actividades que no son de la ruta crítica cuentan con mayor tiempo para su terminación. Sus tiempos de inicio y finalización, limitados por los tiempos de los eventos, pueden ser alterados sin afectar la duración del proyecto; las actividades no críticas “flotan” dentro del tiempo que se dispone para su terminación. A estos tiempos se les conoce como holguras o tiempos flotantes. (José Leñero, 1970)

En las cadenas de actividades no críticas, la holgura puede utilizarse como mejor convenga a la programación. Generalmente la holgura es utilizada como:

- Margen de seguridad
- Equilibrio de las necesidades de mano de obra
- Atraso de la aplicación de recursos.

Cuando son demasiadas las actividades en las cuales se debe realizar lo referido anteriormente, el paquete computacional *Project manage* es el indicado a utilizar, debido sencillez que modifica la ruta crítica, con tan solo, colocar la lista de actividades y la precedencia que existe entre ellas, además se puede observar en el diagrama de Gantt del paquete, la holgura de cada actividad no crítica, por lo que, éste es el utilizado para determinar los márgenes de seguridad, atraso de la obra, etc.

Para dedicarle más atención al equilibrio en las necesidades de la obra, es importante que en la modalidad *Graph Resources* del paquete, se establezca la cantidad de albañiles en cada actividad.

El paquete muestra la lista de actividades de la ruta crítica, con la duración normal o probable de cada una y la duración normal o probable total del proyecto, basado en los rendimientos y cantidad de personal necesario para cada actividad.

## 5.4 La probabilidad en la programación

La programación Pert – tiempo, supone que la duración de las actividades que la componen no es fija o determinística, en la construcción de infraestructura ésta puede ser empleada, debido a que existen casos tales como, movimiento de tierras en época de lluvias, por lo que la duración de la actividad puede variar según sea la intensidad de éstas y el número de horas que llueva en el período. (José Leñero, 1970)

Para levantar las incertidumbres provocadas por la imposibilidad de asignar tiempos fijos a algunas o todas las actividades del proyecto, el método Pert-tiempo se apoya en el cálculo de probabilidades y supone que la duración de cada actividad en particular puede alcanzar una magnitud enmarcada por una curva de distribución de probabilidades.

Las actividades con “duración probabilística” son aquellas cuya ejecución no admite la asignación de un tiempo fijo para realizarlas. Del mismo modo, si una red contiene actividades de esta naturaleza, se dice que es una “red probabilística”. (José Leñero, 1970)

En las redes probabilísticas no se puede calcular una fecha fija para su término, sino lo que se calcula es la esperanza matemática de que sus actividades terminen “no más tarde” de la fecha que se calcula. En términos de probabilidades, la esperanza matemática o “tiempo esperado” tiene una probabilidad de 50% de cumplirse. (José Leñero, 1970)

El método Pert – tiempo permite no sólo calcular el tiempo esperado de término de la red, sino también calcular la probabilidad de terminarla en otra fecha mayor o menor que aquella.

La distribución beta es la distribución de probabilidades para los tiempos utilizados en la programación Pert-tiempo, ésta es definida en un rango correspondiente a un valor máximo o tiempo pesimista, “b”, y un valor mínimo o tiempo optimista, “a”. La distribución beta es uní modal y su “moda”, o “valor más probable”, “m”, debe ser otro de los parámetros conocidos para determinar la

curva particular de la familia de curvas beta que corresponde a la distribución de probabilidades que representará la duración de cada actividad. (José Leñero, 1970)

En la determinación de la curva queda aún un parámetro por fijar y éste se define al asumir que el rango, (b-a) es igual a seis desviaciones estándar. Los estadísticos consideran que esta suposición es una aproximación satisfactoria para cualquier distribución uní modal. (José Leñero, 1970)

El cálculo del tiempo esperado se hace con una fórmula aproximada muy sencilla que dice:

$$Te = \left[ a + 4m + b \right] \frac{1}{6}$$

La ecuación de la desviación estándar es:

$$\sigma = \left[ b - a \right] \frac{1}{6}$$

La varianza es, por definición, el cuadrado de la desviación estándar y por tanto:

$$\sigma^2 = \left[ (b - a) \frac{1}{6} \right]^2$$

La Duración esperada, o esperanza matemática de la duración de la red, se obtiene al suponer que las actividades que la componen son independientes entre sí, de modo que el tiempo total será la suma de los tiempos esperados para cada una de las actividades de la ruta crítica.

El tiempo esperado de ocurrencia del evento final (TEF) será:

$TeF = \sum te_i$  tal que i sea una actividad crítica y la suma incluya a todas las actividades de la ruta crítica

Este tiempo es el que tiene un 50% de probabilidad que el evento final ocurra “no más tarde de esa fecha”. (José Leñero, 1970)

Para la determinación de la desviación estándar final se aplica la suposición, las actividades son siempre independientes entre sí, lo que implica que las covarianzas son nulas y por tanto la varianza del evento final vendrá dada por la suma de las varianzas de las actividades de la ruta crítica. (José Leñero, 1970)

La varianza está dada por la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 \text{ final} = \sum (\sigma_{e-i})^2$$

Tal que  $i$  se actividad crítica y la suma incluya a todas las actividades de la ruta crítica.

La desviación estándar será la raíz cuadrada de esa varianza tal y como lo indica la siguiente ecuación:

$$\sigma \text{ final} = \sum [(\sigma_{e-i}^2)]^{1/2}$$

Una potencialidad importante del método es la capacidad de calcular la probabilidad de terminar la red en una fecha comprometida. Para ello se recurre a hacer un cambio variable, al establecer una variable normalizada  $U$  tal que: (José Leñero, 1970)

$$U = \frac{TC - TeF}{\sigma^2 \text{ final}}$$

Los valores  $TeF$  y  $\sigma^2$  tienen los valores definidos por las ecuaciones del tiempo esperado final y la varianza, por su parte,  $TC$ , el tiempo comprometido, es el resultado de la suma de los tiempos que emplee cada actividad de la ruta crítica, dentro de la distribución de probabilidades correspondiente, para que la red termine en el plazo comprometido. (José Leñero, 1970)

La variable  $U$  tiene la dimensión de un escalar ya que es el cociente de una dimensión de tiempo en el numerador y en el denominador. (José Leñero, 1970)

Las condiciones que señala la variable  $U$ : 1) de ser adimensional, y 2) tener una distribución de probabilidades normal y centrada, permite usar una tabla de



valores normalizados de la curva de Gauss, en la cual se puede entrar con el valor calculado de U para el tiempo comprometido TC y encontrar en forma directa la probabilidad de que la red se terminen no más tarde del tiempo comprometido.

El método descrito para calcular la probabilidad de cumplir un tiempo comprometido para el evento final es aplicable también a cualquier evento de la red, al remplazar el concepto de ruta crítica por el del camino más largo entre el evento inicial y el evento que interesa. (José Leñero, 1970)

La suposición de que la ocurrencia de un evento condicionado por la ejecución de varias actividades, sigue la distribución normal, es satisfactoria si el número de actividades que lo condicionan es igual o superior a diez.

Para que el valor de la variable U indique un valor de probabilidad confiable, las duraciones de las actividades deben determinarse con demasiado cuidado, para no caer en resultados erróneos.

## **6. COSTOS DIRECTOS INCIDENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS**

En la evaluación económica de un proyecto de tratamiento de aguas residuales, es necesario considerar los costos de construcción y los asociados a éstos. Generalmente los costos que influyen en la construcción de una PTAR están representados por los siguientes componentes:

- **Obra civil:** Se considera la cantidad de obra requerida en m<sup>3</sup> de concreto armado.
- **Equipamiento:** Este concepto se limita al equipo electromecánico necesario (bombas). En el caso del tanque RAFA, el separador GSL, la captación del biogás, y el sistema de distribución deben ser considerados. Para el caso

del filtro percolador se incluye el empaque plástico y el sistema de distribución ya sea fijo o dinámico.

- Sistemas de tubería. Se considera aproximadamente como un 25% del costo total de construcción.
- Instalación eléctrica. Es considerado un 10% del costo total de construcción.
- Controles e instrumentos. Se considera un limitado 5% del costo total de construcción, debido a que se favorece la operación manual.
- Otros. En este factor se consideran los costos del inoculo (tanque RAFA) y de arranque, pruebas hidrostáticas en los tanques, ensayos que se tengan que realizar para asegurar una buena operación.

Adicionalmente hay que considerar costos asociados como los de administración, servicios legales, servicios de ingeniería/arquitectura, inspecciones e imprevistos. Estos costos asociados equivalen aproximadamente al 25% del costo total de construcción, en promedio, y deben añadirse al total para calcular el costo real del proyecto. Pueden existir otras categorías de costos (adquisición del terreno, drenaje, etc.), pero ellos deben ser considerados en cada proyecto específico,

Un punto de importancia que debe tomarse en cuenta. Sobre todo por la situación económica de Guatemala, es el factor de inflación, ya que cuando se realizan los cálculos del proyecto se emplean datos de costos en tiempo presente y bajo condiciones de presupuesto que no se mantienen en el mercado por más de tres meses.

## **6.1 Determinación del material que conlleva el mayor costo dentro de la planta**

Dentro de los rubros descritos existen materiales que tienen un costo elevado, así como su integración como un rubro. En la obra civil, sin duda, el que conlleva el mayor costo es el concreto, después le sigue el acero de refuerzo.

En el equipamiento el material más costoso es el acero inoxidable, después le sigue la fibra de vidrio utilizada ya sea como parte constituyente de las campanas del tanque RAFA y por último las laminas de PVC.

Entre los rubros, la obra civil representa el costo de inversión más elevado, debido a que constituyen aproximadamente un 43-46% del total del costo de inversión, mientras que el equipamiento lo ocupa aproximadamente entre 22-25%.

## **7. EJEMPLO DE APLICACIÓN**

El ejemplo de aplicación está descrito por una PTAR de 1,800 habitantes con una dotación de 250 lt/hab./día, un caudal de retorno (0.84) de aprox. 210 lt/hab./día, un caudal máximo de entrada a la planta de 6.06 lts/seg y un caudal medio de 4.85 lts/seg., con la suposición que se construirá sobre un terreno que tiene por los menos un movimiento de tierras de 400 metros cúbicos de terraplén y 5 ó 10 metros cúbicos de corte.

Las obras hidráulicas estarán construidas sobre el terreno, el agua se transportara por efectos de la gravedad.

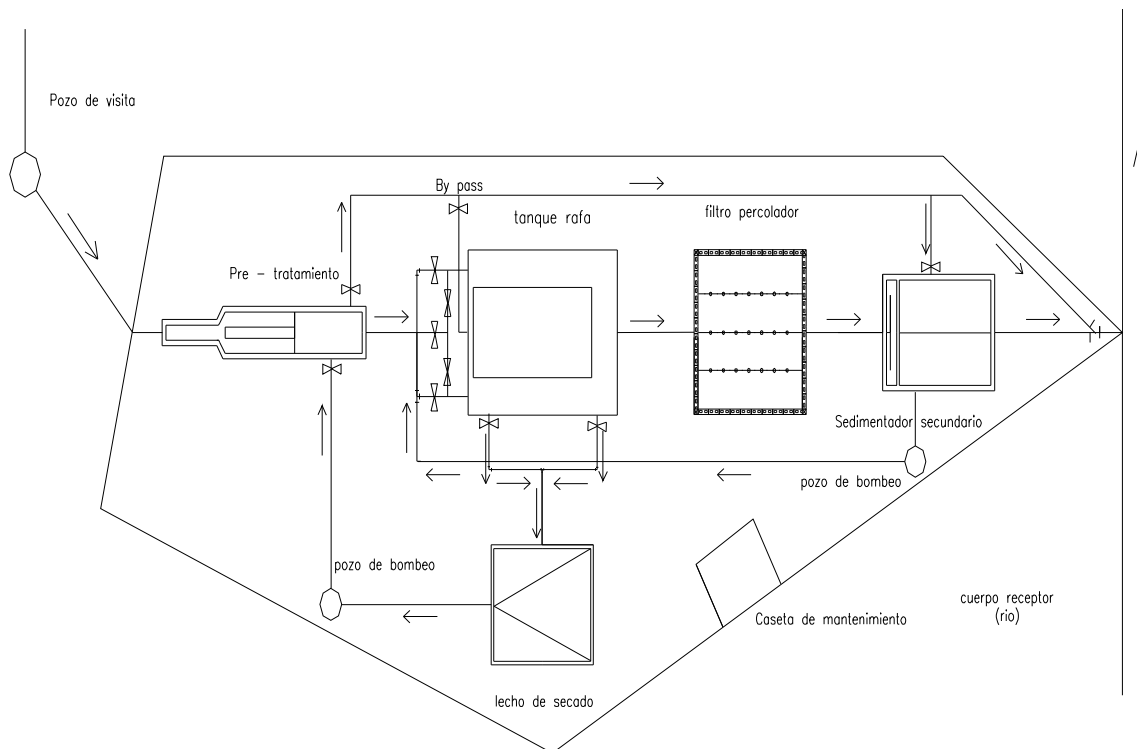
Para describir mejor el proyecto Pert- tiempo se presentan como parte del mismo los planos desarrollados por el estudiante que se tomaron como base (cuantificación, rendimientos, tiempos estimados) para la elaboración de una

programación con un intervalo de tiempo comprendido de mayo a septiembre (tiempo de lluvia).

Los planos y la programación Pert- tiempo son un buen punto de partida para alcanzar un modelo más realista del tiempo de la ejecución y los costos que se conllevan durante el periodo.

Esto se alcanzara si se tiene un mercado competitivo en la realización de las PTAR, por lo que los oferentes o contratistas y personal administrativo de las identidades interesadas estarán de acuerdo a un precio dado construir cierta cantidad de PTAR. Al tener un mercado competitivo en este sector de no consumo, los pocos oferentes que existen no registrarán el precio debido a que existe una oferta dada por el conocimiento que se tiene del proyecto por parte de las entidades gubernamentales.

**Figura 14. Esquema tentativo de la planta de tratamiento**



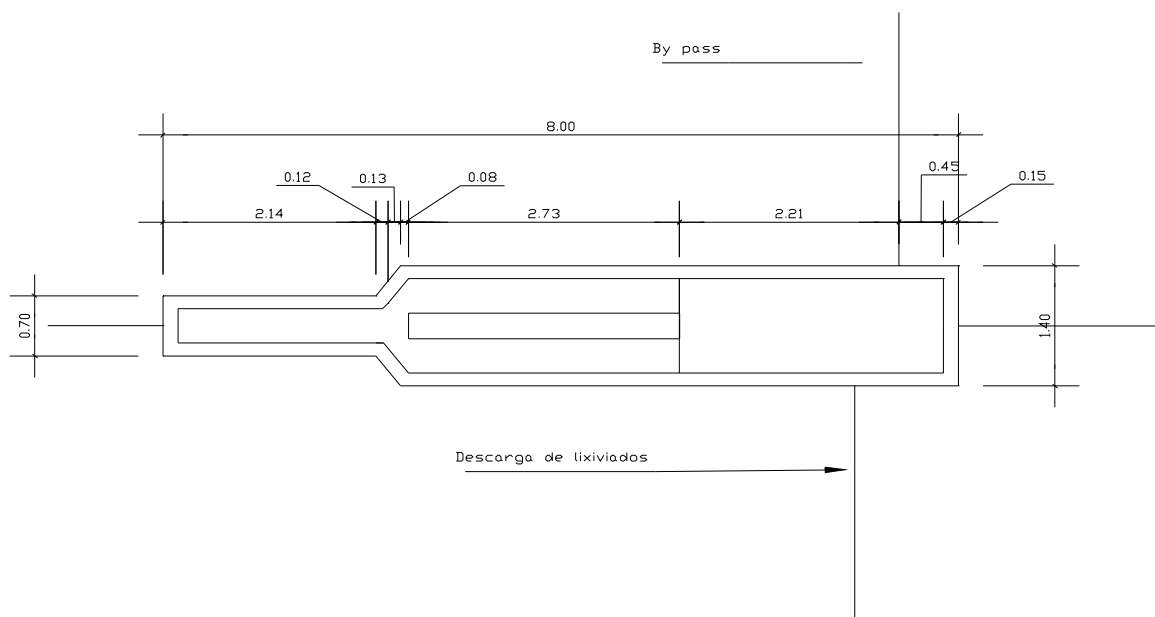
La figura 14. muestra el esquema tentativo utilizado para la elaboración del Pert-tiempo de una PTAR con un área de aproximadamente 426 mts.<sup>2</sup>

Con las etapas que se muestran en el esquema, se puede estimar un área comprendida entre 400 mts.<sup>2</sup> y 500 mts.<sup>2</sup> para la construcción de la misma.

Cada una de las etapas está sobre el terreno, se supone un movimiento de tierras en este ejemplo de 400 mts.<sup>3</sup>, el cual es removido por una retroexcavadora.

Para el presupuesto se tendrá un estimado de este rubro, como un porcentaje del costo directo de la obra civil, de la misma manera será con los materiales eléctricos y la conexión, la caseta de mantenimiento, la malla perimetral, las gradas de acceso y otros.

**Figura 15. Esquema del desarenador propuesto**



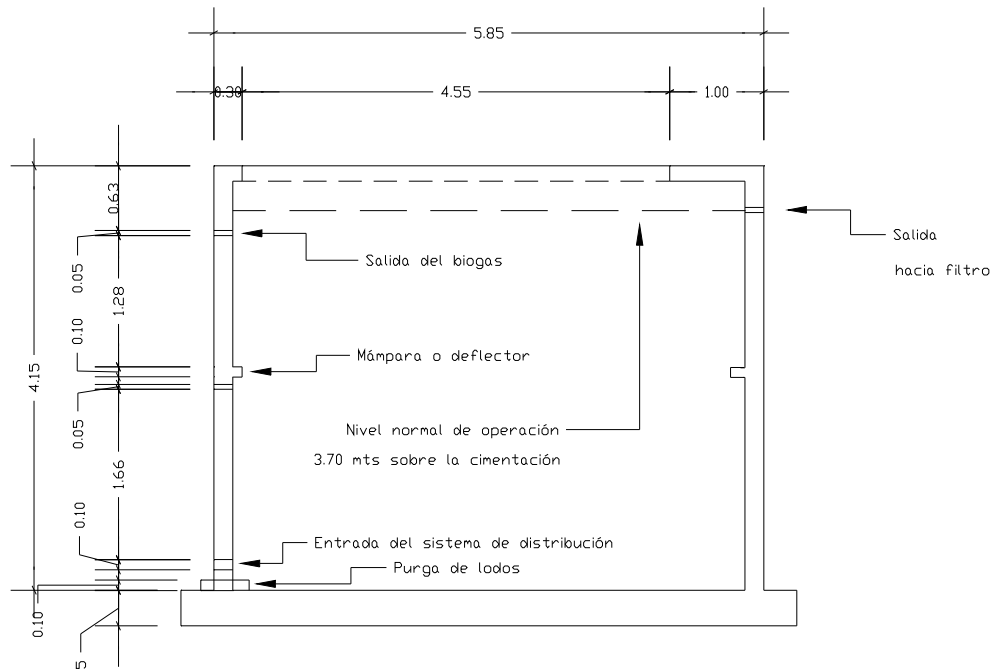
La figura 15 muestra el desarenador utilizado en el ejemplo de aplicación

**Tabla VII. Parámetros de diseño del desarenador**

Velocidad horizontal mts/seg	0.30
Relación largo/ ancho	7.61
Altura en desarenador	0.60 mts
Altura en el trampa de grasa	1.7 mts
Velocidad teórica de caída $V_s$	2.62 cm/seg
Velocidad de caída propuesta para el ejemplo $V_o$	1.6 cm/seg
Relación $V_s/V_o$	1.63 cm/seg

La Tabla VII presenta los parámetros de diseño del desarenador propuesto para el ejemplo de aplicación

**Figura 16. Esquema del tanque RAFA para 1,800 habitantes propuesto por el estudiante en el ejemplo de aplicación**

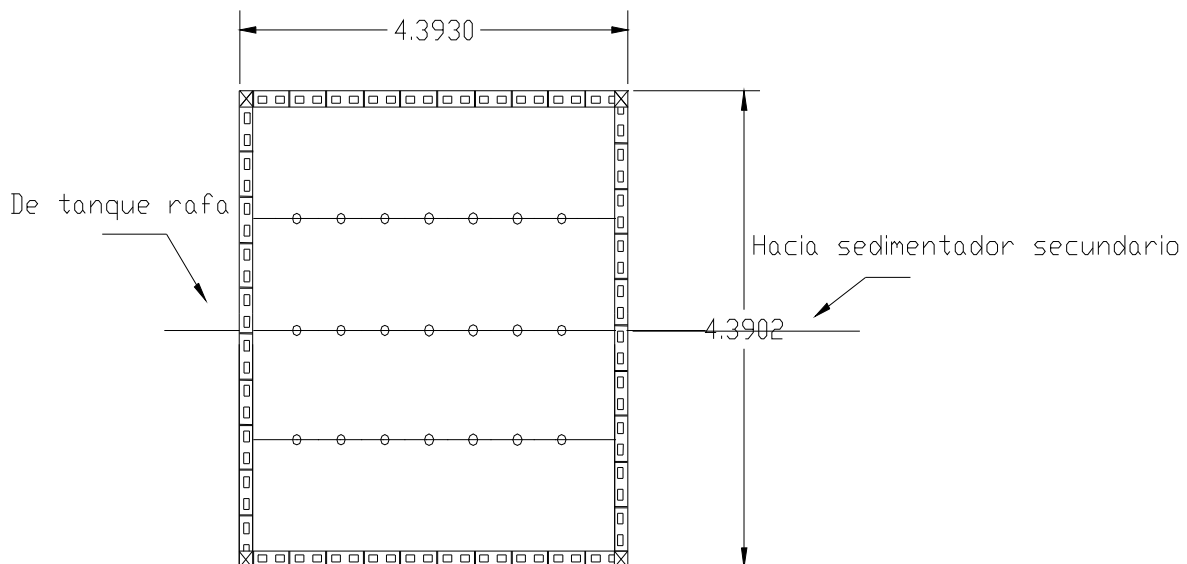


La figura 16 muestra las dimensiones en elevación del tanque RAFA para el sistema de tratamiento de aguas residuales

**Tabla VIII. parámetros de diseño del tanque RAFA**

Tiempo de retención hidráulica pico	3.70 mt
Altura de sistema de distribución sobre la cimentación del tanque rafa	20.00 cm.
Area efectiva del tanque rafa, (4.00 x 5.45)	21.8 mts <sup>2</sup>
Distribución de boquillas de alimentación en el fondo del tanque	1 boquilla/mt <sup>2</sup>
Angulo de inclinación del sistema G.L.S	55°
Velocidad ascensional con una dotación supuesta de 210 lt/persona/día. 0.59mt/hr	
Canaleta del efluente	4 orificios/mt

**Figura 17. Esquema de filtro percolador**



La figura 17 muestra la vista de planta del filtro percolador

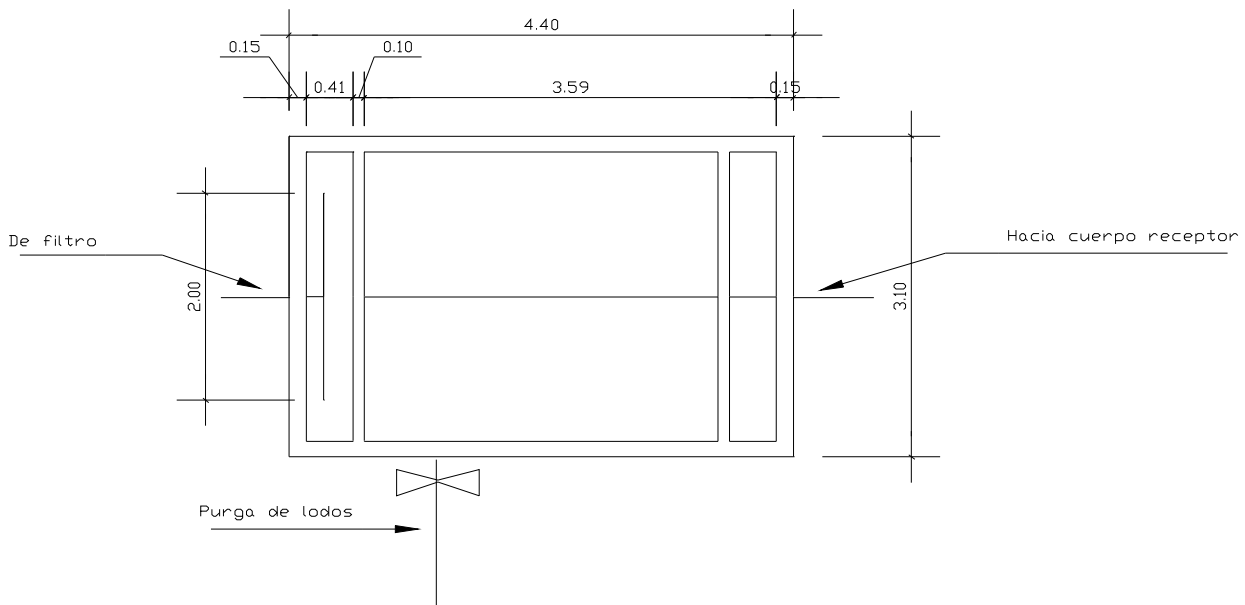
**Tabla IX. Parámetros de diseño del filtro percolador**

Altura (hasta solera de remate)	2.40 mts.
Altura de material plástico	1.90 mts
Altura del canal hidráulico	0.60 mts
Largo del canal hidráulico	4.00 mts

La tabla IX presenta los valores más relevantes en la obra civil del filtro percolador

El filtro percolador lleva un canal hidráulico situado sobre la cimentación del mismo para dirigir el agua residual hacia el sedimentador secundario, se coloca material plástico en toda el área efectiva del filtro.

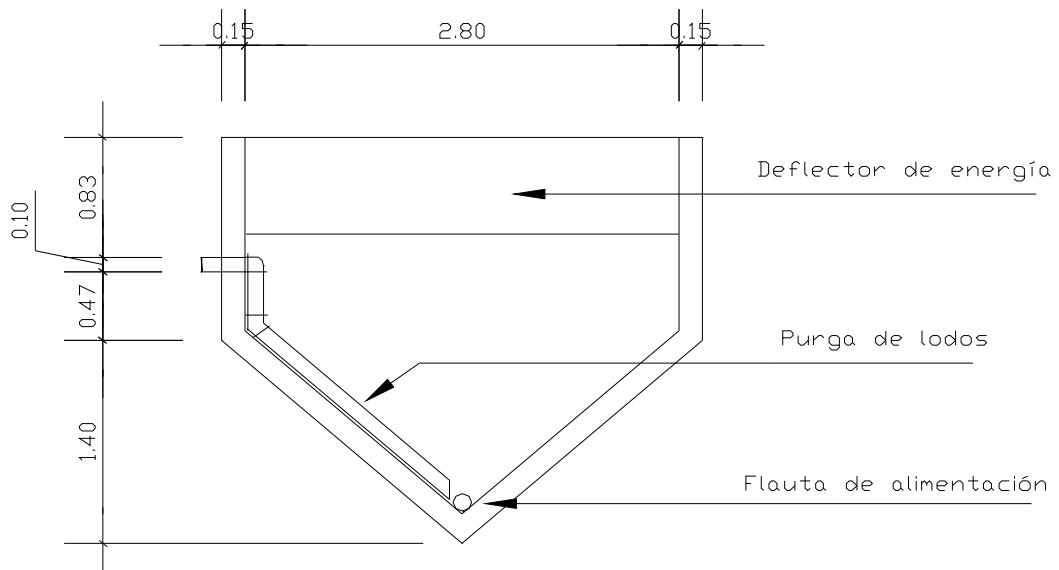
**Figura 18. Esquema del sedimentador secundario**



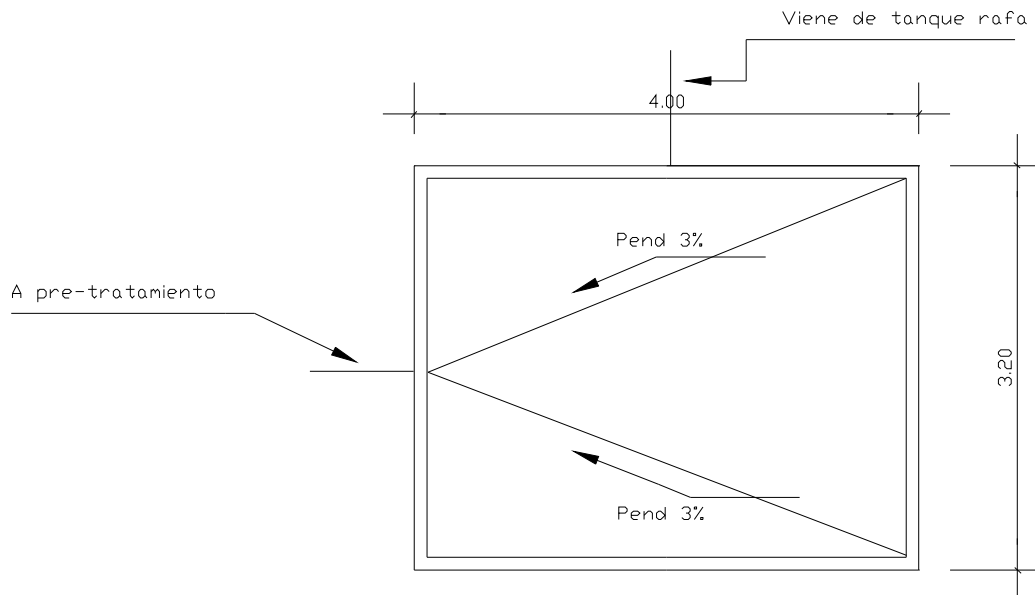
La figura 18 muestra la vista de planta del sedimentador secundario



**Figura 19. Esquema de la elevación sedimentador secundario**



**Figura 20. Esquema del lecho de secado**



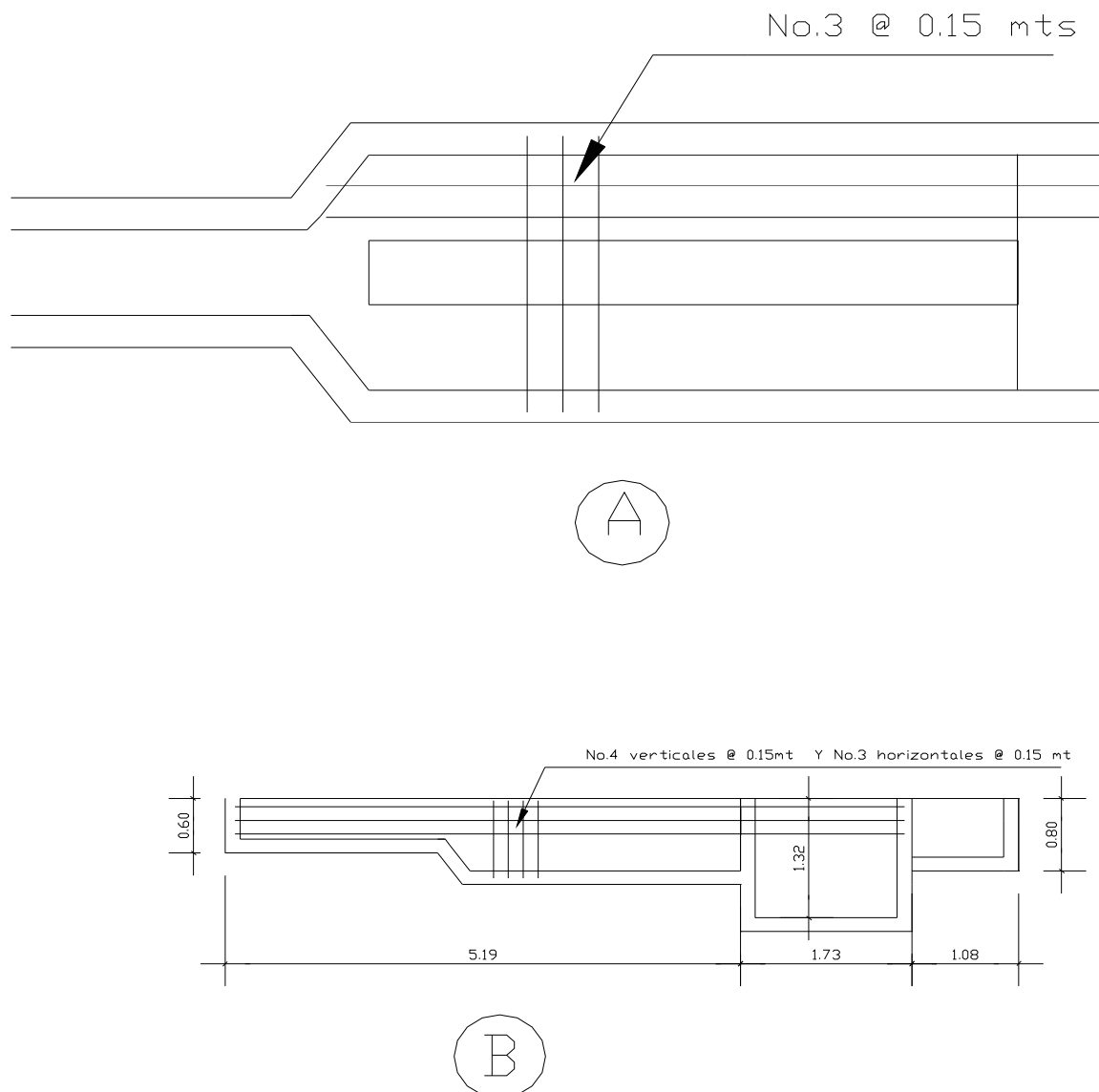
La figura 20 muestra en planta el lecho de secado con un espesor de pared de 0.10mt.

El lecho de secado lleva tres capas de materiales, la primera capa de abajo hacia arriba está compuesta de grava de  $\frac{3}{4}$ " , la segunda está compuesta de grava de  $\frac{1}{2}$ " y por ultimo arena de río gruesa sin compactar.

La primera capa tiene un espesor de 0.30 mts., la segunda capa tiene 0.20 mts. y la tercera 0.20mts.

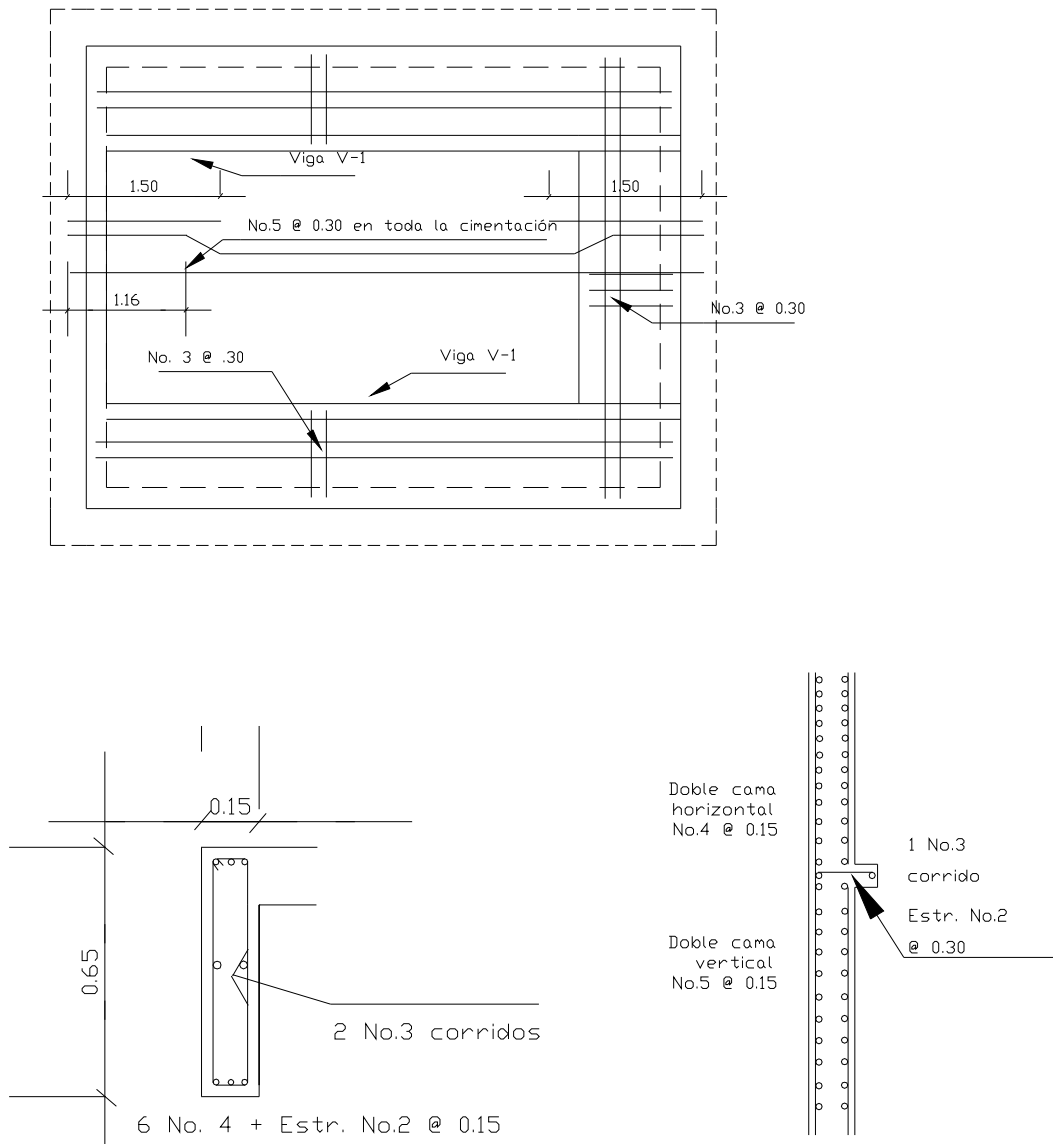
El lecho de secado lleva un tapón hembra perforado tipo drenaje francés  $\varnothing$   $\frac{1}{2}$ " en el fondo colocado en el extremo donde la pendiente de 3% se dirige.

**Figura 21. Aspectos estructurales en el pre – tratamiento**



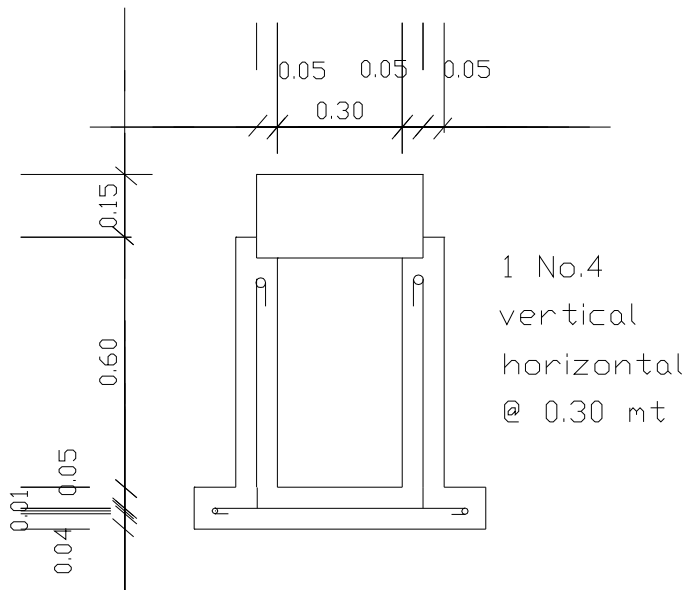
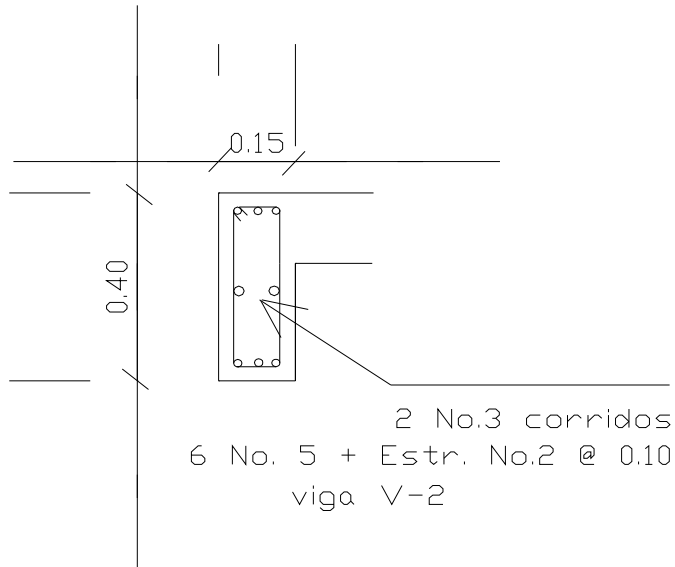
La figura 21 muestra en A un esquema de la estructura en planta del pre-tratamiento y en B un esquema en elevación.

**Figura 22. Aspectos estructurales en el tanque RAFA**



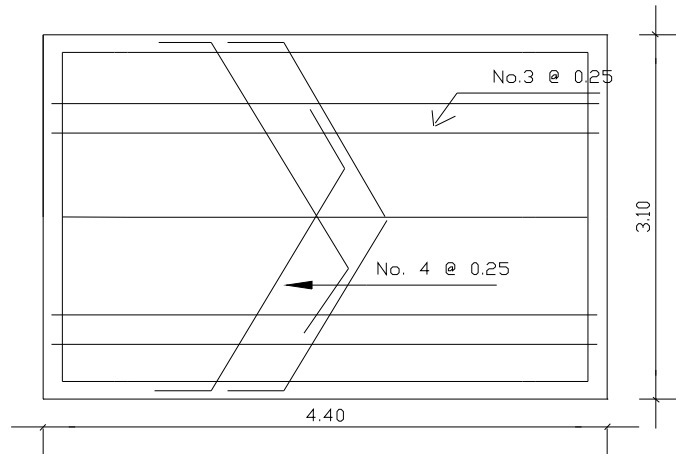
La figura 22 muestra los aspectos estructurales del tanque RAFA

**Figura 23. aspectos estructurales del filtro percolador**



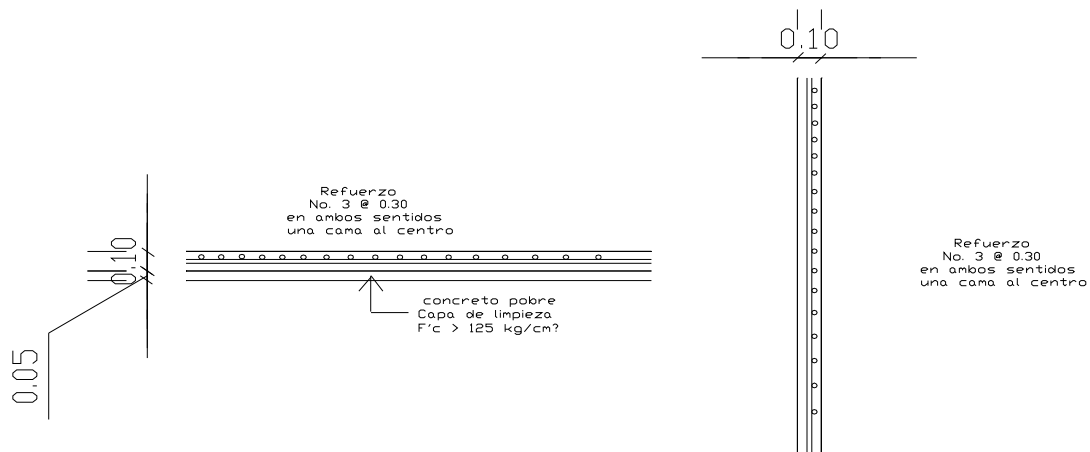
La figura 23 muestra los aspectos estructurales de mayor importancia en el filtro percolador

**Figura 24. aspectos estructurales del sedimentador secundario**



La figura 24 muestra la planta de la estructura del sedimentador secundario

**Figura 25. aspectos estructurales del lecho de secado**



La figura 25 muestra la cimentación y el muro estructural del lecho de secado

### 7.1 Pert – tiempo para una planta de tratamiento de 1,800 habitantes

El ejemplo de aplicación contiene una lista detallada de actividades que el estudiante propuso para la programación de la construcción de una PTAR de 1,800 habitantes, la cual se desarrolló con el sumo cuidado de establecer

todas las actividades posibles para obtener una mejor estimación de la duración de la ruta crítica.

Se establecieron 129 actividades que fueron tabuladas en el programa *project manager* de *microsoft* el cual fue de ayuda para calcular la ruta crítica.

El cálculo de probabilidades se hizo basándose en la teoría demostrada para el cálculo de estimaciones de tiempo, al tener una desviación estándar total de ruta crítica, en la distribución normal.

La tabulación de actividades, en cuanto a su orden de precedencia, se estableció en la mayoría de actividades en el programa el orden por *default*, el cual indica que una actividad no puede empezar sino termina su predecesora.

El proyecto generado muestra un posible modelo de la realidad, por lo que, para construir por primera vez una PTAR con esta programación, se necesitaría que usar paralelamente el control ya en obra, para que en futuros proyectos con caudales similares de descarga de las comunidades, se tenga una mejoría, en la estimación del tiempo para su ejecución.

Se estableció un intervalo de tiempo en el cual las demoras en las actividades sean posibles, afectadas principalmente por la lluvia. Un control de la reducción del intervalo será más eficaz si se tiene gran experiencia en modificar los tiempos y predecesores.

**Estimación del tiempo de la ruta crítica, ruta no crítica, duración pesimista, esperada y optimista para 129 actividades.**

**CONTINUACIÓN TABLA X.**

<b>ACTIVIDADES CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
41. Desformateado en H=1.5 mt, Delta H=1mt., en el tanque, H=0.90 mt. En muro de sedi.	1.53 días	10/07/2003	11/07/2003	38	Alb.7, Alb.6 Ay.2
43. Formateado en el tanque a una H= 2.5 mts., teniendo un diferencial de altura de 1 mt.	2.57 días	10/07/2003	14/07/2003	38	Alb.2, Ay.4,
45. Construcción de solera de remate en cono del sedimentador, solera de humedad en el filtro percolador	2 días	10/07/2003	14/07/2003	38	Alb.3, Ay.3,
46. Colocación de faldón de madera para solera de remate en sedimentador, solera de humedad en el filtro percolador	0.57 días	14/07/2003	14/07/2003	41,45	Alb.1, Alb.2
47. Construcción de tarima para la pestaña o mampara del tanque Rafa, H= 2.25 mts.	0.63 días	11/07/2003	14/07/2003	41	Alb.1, Alb.2
48. Colocación de refuerzo de la pestaña ó mampara del tanque Rafa	0.41 días	14/07/2003	14/07/2003	47	Ay.4, Alb.1,
49. Fundición de muros del lecho de secado, H=2.5 mt., delta H=1mt en el tanque Rafa, losa de cimentación del filtro, solera de remate en el sedimentador, solera de humedad en el filtro.	0.58 días	14/07/2003	15/07/2003	43,44,46,48	Mixto listo
51. Fraguado de muros del lecho de secado, H=2.5mt., delta H=1mt en el tanque Rafa, losa de cimentación del filtro y soleras.	1.17 días	15/07/2003	16/0703	49	

## CONTINUACIÓN TABLA. X

<b>ACTIVIDADES CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
54. Curado de concreto en muros del lecho de secado, H=2.5 mt., delta H=1mt. En el tanque Rafa, losa de cimentación del filtro, soleras.	3.67 días	16/07/2003	22/07/2003	51	
56. Levantado de block en filtro percolador a una altura de 0.80 mt.	0.98 días	22/07/2003	23/07/2003	54	Alb.5, Alb.7, Ay.4, Ay.3
57. Colocación de 1 hilada de block tipo U y su respectiva armadura, delta H=0.20 mts. en el filtro percolador.	0.5 días	23/07/2003	23/07/2003	56	Alb.3, Ay.3, Alb.4
59. Fundición H=3.5 mt., delta H=1mt., en el tanque Rafa, columnas del filtro a una H=1mt., solera intermedia tipo U en filtro.	0.58 días	23/07/2003	24/07/2003	53,57,58	Mixto listo
60. Colocación de refuerzo de pasamuro, centrado de pasamuro en tanque Rafa a una H=3.65mt. Para salida de gases, H=3.70mt., para canaleta del efluente	0.63 días	11/07/2003	14/07/2003	41	Alb.1, Alb.5, Ay.2
61. Colocación de acero horizontal H=4.15 mts., delta H=0.65mts., en el tanque Rafa	0.72 días	24/07/2003	25/07/2003	60	Alb.5, Alb.1, Ay.3
63. Colocación de parales, entranquillado, embreizado en tarima para losa de tanque Rafa y vigas tipo V1 en el tanque Rafa.	1.72 días	24/07/2003	25/07/2003	59	Alb.2, Alb.4. Ay.1



**CONTINUACIÓN TABLA X.**

<b>ACTIVIDADES CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
64. Colocar tablonces de 4X8' a una H=3.35mts. Como nivel inferior del tablon , delta H=0.80, llegando a una altura de 4.15mt. En el tanque para muros de concreto	2.35 días	25/07/2003	29/07/2003	61	Alb.1, Alb.4
65. Colocación de armadura de losa y vigas tipo V-1 en el tanque Rafa	1.57 días	25/07/2003	29/07/2003	63	Alb.2, Ay.4,
75. Fundición de puente, parte constituyente de columna en filtro percolador de 0.80mts., solera de remate, vigas, canal hidraulico, losa de tanque, 0.80 mts. de muro de tanque	0.62 días	29/07/2003	29/07/2003	64,65,68,71,72,74	Mixto listo
76. Fraguado del concreto en puente, 0.80 mts. en columnas del filtro, solera de remate, vigas, canal hidraulico, losa de tanque, 0.80 mts. de muro	1.17 días	30/07/2003	31/07/2003	75	
79. Curado del concreto, puente, 0.80mts., en columnas, solera de remate, vigas, canal hidraulico, losa del tanque, 0.80mt de muro de tanque	3.67 días	31/07/2003	05/08/2003	76	
80. Quitar parales, tarima, faldones, desformaletear 0.80 mts., en columnas del filtro, solera de remate del filtro, vigas tipo V-1 y V-2, canal hidraulico en filtro percolador	1.05 días	05/08/2003	06/08/2003	79	Alb.1, Alb.4 Ay.1

**CONTINUACIÓN TABLA X.**

<b>ACTIVIDADES CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
82. Entibamiento de madera en el pozo, formaletear la parte constituyente del pre-tratamiento denominada desarenador	1.38 días	06/08/2003	08/08/2003	81,80	Alb.1, Alb.6, Alb.3, Ay.3
83. Formaleteado de muro de trampa de grasa en el pre-tratamiento.	0.33 días	08/08/2003	08/08/2003	82	Alb.3, Alb.5 Ay.3
84. Fundición de pre-tratamiento y pozo	0.53 días	11/08/2003	11/08/2003	83,82	Mixto listo
87. Fraguado de concreto de pre-tratamiento y pozo	1.17 días	11/08/2003	12/08/2003	84	
89. Desformaleteado de pre-tratamiento y pozo	0.53 días	12/08/2003	12/08/2003	87	Alb.2, Alb.4, Ay.1
90. Instalación de tubería entre pre-tratamiento y demás componentes.	0.55 días	12/08/2003	13/08/2003	89	Alb.2, Alb.4, Ay.1
94. Aplicación de recubrimiento exterior en pre-tratamiento, filtro y tanque Rafa.	1.97 días	13/08/2003	18/08/2003	90,78	Alb.3, Alb.1, Ay.3, Ay.4
95. Aplicación de recubrimiento interior (segunda mano)	1.05 días	18/08/2003	19/08/2003	86,88,92,93,94	Alb. 3, Ay.4, Alb.2,Ay.1
98. Primera prueba hidrostática en el tanque Rafa (llenado de tanque)	4 días	19/08/2003	25/08/2003	95	Pipa
100. Determinación de fugas en el sistema de tratamiento	4 días	25/08/2003	29/08/2003	78,90,98	Asis.
101. Vaciar el tanque Rafa del agua contenida en la prueba hidrostática.	3.08 días	29/08/2003	03/09/2003	100	Alb.2, Alb.4, Ay.1

**CONTINUACIÓN TABLA X.**

<b>ACTIVIDADES CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSO</b>
102. Picar, colocar impermeabilizante dentro del tanque Rafa	1.05 días	03/09/2003	04/09/2003	101	Alb.1, Alb.4 Ay.4
103. Segunda prueba hidrostática en el tanque Rafa (llenado del tanque)	3.08 días	04/09/2003	09/09/2003	102	Asis.
107. Determinación de nuevas fugas en general	1.97 días	09/09/2003	11/09/2003	103	Asis.
108. Arreglar las nuevas fugas en juntas de instalaciones exteriores de tubería	1.03 días	11/09/2003	12/09/2003	107	Alb.4, Alb.1 Ay.4.
109. Aplicación de acabados en parte exterior de pre-tratamiento, tanque Rafa y filtro percolador.	1.62 días	12/09/2003	17/09/2003	108	Alb.2, Alb.7 Ay.2
114. Pintar tubería externa a los componentes del sistema que este a la interperie	1.62 días	12/09/2003	17/09/2003	108,104	Alb.3, Alb. Alb. 7, Ay.1
129. Entrega	1.5 días	17/09/2003	18/09/2003	109,113,114,115,117, 123,127, 128	Alb.3, Alb.1 Ay.4
Resultados del analisis pert ( con ayuda del <i>software project manager</i> )					
Duración total de actividades no criticas.	77.48 días				
Duración esperada total con el 50 % de probabilidad de ocurrencia para las actividades criticas.	80.73 días				

**TABLA XI. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE LA RUTA NO CRÍTICA**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
2. Topografía, perfil hidráulico	3.17 días	27/05/2003	30/06/2003	1	topog. Ing. Asis.
4. Diseño de planos (acometida eléctrica, agua potable, arquitectura, perfil	3.33 días	30/05/2003	04/06/2003	2	Asis, Ing
5. Cuantificación de materiales (acometida eléctrica, agua potable	3.83 días	04/06/2003	10/06/2003	4	Asis, Dib.
7. Diseño de plano estructural	4.17 días	10/06/2003	17/06/2003	6	Ing.
8. Cuantificación de material de obra gris	3 días	17/06/2003	20/06/0'3	7	Dib. Asis
9. Trazo de plataformas en campo	1.83 días	04/06/2003	06/06/2003	1,4	Alb.1, Alb. 2, Ay.1
10. Conformación de plataforma	4.17 días	06/06/2003	12/06/2003	9	Retroexcavadora
11. Excavación de cono de sed., base de losa Rafa, base del filtro.	1.25 días	12/06/2003	13/06/2003	10	Bobcat
12 Cotización, transporte de material.	4 días	20/06/2003	26/06/2003	8	Administración
13. Fundición de tacos de cemento	0.5 días	26/06/2003	26/06/2003	12	Ay. 2, Alb. 3
14. Colocación de selecto en lechos, cono del sed., cimentación Rafa,	0.58 días	26/06/2003	26/06/2003	11, 12	Ay.1, Alb.1, Alb.2
15. Construcción y colocación de armadura de cimentación en tanque Rafa y filtro percolador.	1.68 días	26/06/2003	01/07/2003	13, 14	Ay.1, Alb.1, Alb.3
16. Ensabetar cono y muro de sedimentador	0.58 días	26/06/2003	27/06/2003	14	Alb. 3, Alb.4, Ay.2

**CONTINUACIÓN TABLA XI.**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
17. Colocar armadura de gradas, faldones de madera	3 días	12/06/2003	17/06/2003	10	Alb.1, Alb.2
18. Colocación de 2 camas de acero vertical a una altura de 4.5 metros en el tanque Rafa	0.82 días	26/06/2003	26/06/2003	14ss	Alb.6, Alb.9
19. Colocación de acero de refuerzo en todo el cono de cimentación del sedimentador y a 0.5 arriba de éste en todo su perímetro, colocación de acero vertical de refuerzo en las columnas del filtro percolador	1.72 días	27/06/2003	02/07/2003	16,13	Alb.6, Alb.9 Ay. 2
20. Colocación de refuerzo de pasamuros, centrado de pasamuros a una H = 0.10 mt de la base del tanque Rafa	0.32 días	26/06/2003	27/06/2003	18	Ay. 3
21. Colocación de acero horizontal No.4 a 0.5 mt de la base de la losa de cimentación del tanque Rafa	0.53 días	27/06/2003	27/06/2003	20	Ay. 3, Alb.9
22. Centrar, entraquillar, colocar formaleta conformada por tableros de 4x8' a 0.30 mt del ochavo en el tanque Rafa	0.57 días	27/06/2003	01/07/2003	21	Alb. 7, Ay. 3
23. Colocación de formaleta en el cono de cimentación del sedimentador	0.57 días	02/07/2003	02/07/2003	19	Alb.1, Ay.1 Alb.4
25. Colocación de acero horizontal No.4 hasta H = 1.5 mt delta H=1 mt en el tanque	1.05 días	03/07/2003	04/07/2003	24	Alb.1, Alb.2

## CONTINUACIÓN TABLA XI.

ACTIVIDADES NO CRÍTICAS	TIEMPO ESPERADO	COMIENZO	FINALIZACIÓN	PREDECESORAS	RECURSOS
26. Colocación de acero vertical y horizontal a una altura de 0.90 mts. en el muro del sedimentador	0.52 días	03/07/2003	03/07/2003	24	Alb.6, Alb.7, Ay.2
29. Formateado hasta H = 1.5 mts. Delta H = 1 mt.	0.74 días	07/07/2003	07/07/2003	25,28	Alb.1, Ay.1, Alb.3
31. Construcción de 2 andamios	3.35 días	03/07/2003	08/07/2003	27ss	Alb.5, Alb.6, Ay.3
32. Colocación de capa de limpieza en lechos de secado	0.3 días	26/06/2003	26/06/2003	13	Alb.7
33. Colocación de acero vertical en los muros del lecho de secado	1.18 días	26/06/2003	03/07/2003	32	Alb.2, Alb.3
34. Construcción y colocación de armadura cimentación en el lecho de	0.5 días	03/07/2003	03/07/2003	33	Ay.4
36. Colocación de acero horizontal en los muros del lecho de secado	0.5 días	08/07/2003	09/07/2003	36	Alb.3
37. Colocación de refuerzo de pasamuros, centrado de pasamuros en el tanque H = 2.15 mt.	0.28 días	08/07/2003	09/07/2003	31,35	Alb.3, Ay.2
39. Colocación de acero horizontal H = 2.5 mts. Delta H = 1 mt en el tanque Rafa	2.07 días	09/07/2003	14/07/2003	37	Alb.1, Ay.2
40. Colocación de 2 varillas No. 4 y eslabon No. 2 en los muros del lecho de secados	0.28 días	09/07/2003	09/07/03	36	Alb.5, Ay.3
42. colocación de armadura, losa cimentación filtro	3.43 días	10/07/2003	16/07/2003	38	Alb.7 Ay.4 Alb3 Alb1

**CONTINUACIÓN TABLA XI.**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
44. Formaleteado para los muros del lecho de secado	0.48 días	11/07/2003	14/07/2003	40,41	Alb.6, Alb. Ay.2
50. Colocación de acero horizontal, H = 3.5 mt. Delta H = 1 mt en el tanque Rafa	0.57 días	15/07/2003	15/07/2003	49	Alb.3, Alb. Ay.3
52. Desformaleteado de muros de lecho secado, H = 2.5 mt, Delta H = 1mt en el tanque, solera de remate en sed.,solera de humedad en filtro	0.63 días	16/07/2003	16/07/2003	51	Alb.1, Alb. Ay.1
53. Formaleteado H = 3.5 mt. Delta H = 1 mt. , Rafa	1.55 días	17/07/2003	18/07/2003	50,52	Alb.2, Alb. Ay.2, Ay.4
55. Colocar acero vertical en 8 columnas en el filtro percolador	2.11 días	14/07/2003	17/07/2003	45	Alb.3, Alb. Ay.2
58. Formaletear columnas H = 1 mt a partir de la base de cimentación del filtro	1 día	17/07/2003	21/07/2003	55	Alb.2, Alb. Ay.4
62. Colocar estribos hasta solera de remate en el filtro percolador	0.41 días	24/07/2003	24/07/2003	59	Ay1, Ay.2
66. Fraguado de concreto en H= 1 mt., en tanque, columnas de filtro a una altura de 1 mt., solera intermedia tipo U en el filtro.	1.17 días	24/07/2003	25/07/2003	59	
67. Construcción y colocación de armadura de canal hidráulico en filtro percolador	1.47 días	22/07/2003	23/07/2003	54	Alb.4, Alb. Ay.1
68. Colocación de tablas 0.40x3.15 mt en el canal (filtro)	0.47 días	23/07/2003	25/07/2003	67	Alb.5, Alb. Ay.3

**CONTINUACIÓN TABLA XI.**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
69. Levantado de block hasta solera de remate en filtro percolador.	0.57 días	24/07/2003	24/07/2003	59	Alb.6, Alb.7, Ay.4
70. Desformatear, desencofrar columna H = 0.80 mt (dimensionado en metros de tabla).	0.82 días	25/07/2003	26/07/2003	66	Ay.2, Alb.2
71. Formatear columna hasta solera de remate en filtro percolador.	0.41 días	25/07/2003	28/07/2003	62,72	Alb.3, Alb.4, Ay.1
72. Construcción de armadura, colocación de faldon en solera de remate.	1 día	24/07/2003	25/07/2003	69	Alb.4, Ay.1, Ay.4
73. Paraleado, entranquillado, entarimado, losa de tanque Rafa, puente y vigas tipo V-2 en filtro.	1.65 días	24/07/2003	28/07/2003	69	Alb.3, Alb.6, Ay.2
74. Colocación y construcción de armadura para puente y vigas tipo V-2 en filtro percolador.	0.65 días	28/07/2003	28/07/2003	73	Alb.5, Alb.7, Ay.4
77. Excavar a los niveles requeridos por el perfil hidraulico para la instalación de tubería entre componentes del sistema de tratamiento.	1.63 días	30/07/2003	31/07/2003	75	Alb.3, Alb.2, Ay.1
78.colocar tubería exterior entre componentes del sistema de tratamiento.	3 días	31/07/2003	05/08/2003	77	Alb.3, Alb.2, Ay1, Ay.2



**CONTINUACIÓN TABLA XI.**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
81. Colocación de varillas verticales y horizontales en el pre-tratamiento y pozo.	1.4 días	29/07/2003	30/07/2003	65	Alb.5, Alb.6, A
85. Colocación de captación de gas en el tanque Rafa.	2 días	11/08/2003	13/08/2003	84	Asis. Alb.4
86. Colocación de purga de lodos en el tanque Rafa.	2 días	11/08/2003	13/08/2003	84	Alb.3, Alb.6, A
88. Colocación de sistema de alimentación en el tanque Rafa.	1.13 días	11/08/2003	12/08/2003	84	Alb.5, Ay.1, A
91. Cotización, orden de compra, transporte de campanas de pvc.	14.33 días	15/07/2003	04/08/2003	49	Administración
92. Colocación de campanas en el tanque Rafa	6.22 días	04/08/2003	12/08/2003	91	Alb.6, Alb.7, A
93. Aplicación de recubrimiento interior en pre-tratamiento, filtro, pozo, sedimentador, y tanque Rafa (primera mano)	1.97 días	06/08/2003	08/08/2003	80	Alb.7, Alb.3, A, Ay.1
96. Elaboración del sistema de distribución del filtro percolador	10.83 días	06/08/2003	22/08/2003	80	Alb.4, Alb.2, A
97. Colocación del sistema de distribución del filtro percolador	2.5 días	22/08/2003	27/08/2003	96	Alb.1, Alb.5, A, Ay.1
99. Primer ensayo del sistema de distribución en el filtro percolador	0.5 días	27/08/2003	27/08/2003	97,98	Asis.

**CONTINUACIÓN TABLA XI.**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
04. Arreglar las fugas en las juntas de tubería externas	1.05 días	29/08/2003	01/09/2003	100	Alb.4, Ay.3
05. Cotización, orden de compra, transporte e material plastico.	21 días	09/07/2003	09/09/2003	36	Administración
06. Colocar material plastico.	0.52 días	09/09/2003	09/09/2003	80,95,105	Ay.2, Ay.3
10. Segundo ensayo del sistema de distribución en el filtro percolador.	0.39 días	09/09/2003	10/09/2003	103,100,106,99	Asis.
11. Cotización, orden de compra, transporte e armadura metalica.	22 días	14/07/2003	03/09/2003	39	Administración
12. Colocar soportes, escalera de acceso y barandas.	2.08 días	03/09/2003	05/09/2003	111	Sub-contratista
13. Lijar, colocar anticorrosivo, pintar soporte, escalera de acceso y barandas.	5.83 días	05/09/2003	16/09/2003	112	Ay.1, Ay.2, Ay.3
15. Colocación de material anti- insectos en el filtro percolador.	1.03 días	10/09/2003	11/09/2003	110	Alb.6, Alb.2, Ay.2
16. Cotización, orden de compra, transporte e grava, arena y ladrillo tayuyo.	7 días	15/07/2003	24/07/2003	49	Administración
17. Colocación de grava, arena y ladrillo tayuyo.	1.8 días	24/07/2003	25/07/2003	116	Alb.5, Alb.6, Ay.3

**CONTINUACIÓN TABLA XI.**

<b>ACTIVIDADES NO CRÍTICAS</b>	<b>TIEMPO ESPERADO</b>	<b>COMIENZO</b>	<b>FINALIZACIÓN</b>	<b>PREDECESORAS</b>	<b>RECURSOS</b>
118. Cotización, orden de compra, transporte de materiales electricos a usarse en la PTAR	25.67 días	24/07/2003	29/08/2003	59	Administración
119. Excavación de zanjas para tubería tipo conduit de pvc	2.05 días	29/08/2003	02/09/2003	118	Alb. 4, Alb.7, A
120. Colocación e instalación de tubería con sus respectivos cables	1.4 días	02/09/2003	04/09/2003	119	Alb.7, Alb.1, A
121. Instalar los componentes electricos	1 día	04/09/2003	05/09/2003	120	Alb.5, Alb.3, A
122. Prueba de materiales electricos	0.62 días	05/09/2003	05/09/2003	121	Subcontratista
123. Arreglos en los materiales electricos	0.65 días	05/09/2003	08/09/2003	122	Subcontratista
124. Cotización de materiales para conducción de agua potable	22 días	10/06/2003	11/07/2003	5	Administración
125. Instalación de tubería de conducción de agua potable	1.13 días	11/07/2003	14/07/2003	124	Alb.3, Alb.4, A Ay.2
126. Ensayo de presión en tubería de agua potable	0.31 días	14/07/2003	14/07/2003	125	Alb.1, Asis.
127. Arreglos en la tubería de conducción de agua potable	0.65 días	14/07/2003	15/07/2003	126	Alb.3, Alb.5, A
128. Arranque del tanque Rafa	9 días	13/08/2003	27/08/2003	85	

**TABLA XII. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO ESPERADO**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>
1. Limpieza	1.12	0.7	1	2	0.217	0.0469
2. Topografía, perfil hidraulico	3.17	2	3.25	4	0.333	0.1111
3. Perforación, analisis de campo, estudio de suelos	3	2	3	4	0.333	0.1111
4. Diseño de planos (acometida electrica, agua potable, arquitectura, perfil	3.33	3	3	5	0.333	0.1111
5. Cuantificación de materiales de obra civil (acometida electrica, agua potable )	3.83	2	4	5	0.500	0.2500
6. Estudio de suelos en laboratorio	7.83	5	8	10	0.833	0.6944
7. Diseño de plano estructural	4.17	3	4	6	0.500	0.2500
8. Cuantificación de material de obra gris	3	2	3	4	0.333	0.1111
9. Trazo de plataformas en campo	1.83	1	2	2	0.167	0.0278
10. Conformación de plataforma, corte de taludes y gradas	4.17	3	4	6	0.500	0.2500
11. Excavación de cono de sedimentador, base de losa del tanque Rafa, base del filtro.	1.25	1	1.5	2	0.167	0.0278
12. Cotización, orden de compra, transporte de material.	4	3	4	5	0.333	0.1111
13. Fundición de tacos de cemento	0.5	0.5	0.5	0.5	0.000	0.0000
14. Colocación y compactación de selecto en lechos, cono del sed., cimentación Rafa, base del filtro.	0.58	0.5	0.5	1	0.083	0.0069
15. Construcción y colocación de armadura de cimentación Rafa y filtro	1.68	0.7	1	2	0.217	0.0469

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Variación</b>
16. Ensabietar cono y muro de sedimentador	0.58	0.50	0.50	1.00	0.0833	0.000
17. Colocar armadura de gradas, faldones de madera	3	1.00	1.50	2.00	0.1667	0.020
18. Colocación de 2 camas de acero vertical a una altura de 4.5 metros en el tanque Rafa	0.82	0.60	0.70	1.50	0.1500	0.020
19. Colocación de acero de refuerzo en todo el cono de cimentación del sed. y 0.5 arriba de éste en todo su perímetro, colocación de acero vertical de refuerzo en las columnas del filtro	1.72	0.70	0.70	1.50	0.1333	0.010
20. Colocación de refuerzo de pasamuros, centrado de pasamuros a una H = 0.10 mt de la base del tanque Rafa	0.32	0.20	0.30	0.50	0.0500	0.000
21. Colocación de acero horizontal No.4 a 0.5 mt de la base de la losa de cimentación del tanque Rafa	0.53	0.50	0.50	0.70	0.0333	0.000
22. Centrar, entraquillar, colocar formaleta conformada por tableros de 4x8' a 0.30 mt del ochavo en el tanque Rafa	0.57	0.40	0.50	1.00	0.1000	0.010
23. Colocación de formaleta en el cono de cimentación del sedimentador	0.57	0.40	0.50	1.00	0.1000	0.010
24. Fundición cimentación del tanque Rafa, arranque del muro del tanque, cimentación del sedimentador	0.15	0.50	0.50	1.00	0.0833	0.000

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>
25. Colocación de acero horizontal No.4 hasta H = 1.5 mt delta H=1 mt en el tanque	1.05	0.80	1.00	1.50	0.11667	0.01361
26. Colocación de acero vertical y horizontal a una altura de 0.90 mts. en el muro del sedimentador	0.52	0.40	0.50	0.70	0.05000	0.00250
27. Fraguado del concreto en losa de cimentación, arranque del muro del tanque, cono	1.17	1.00	1.00	2.00	0.16667	0.02778
28. Desformateado de arranque de muro del tanque Rafa, cono de cimentación del sedimentador.	1.05	0.80	1.00	1.50	0.11667	0.01361
29. Formateado hasta H = 1.5 mts. Delta H = 1 mt. En el tanque Rafa	0.74	0.65	0.70	1.00	0.05833	0.00340
30. Formateado en muro del sedimentador para una altura de 0.90 mts.	1.08	1.00	1.00	1.50	0.08333	0.00694
31. Construcción de 2 andamios	3.35	1.50	3.00	4.00	0.41667	0.17361
32. Colocación de capa de limpieza en lechos de secado	0.3	0.20	0.30	0.40	0.03333	0.00111
33. Colocación de acero vertical en los muros del lecho de secado	1.18	0.40	0.50	0.50	0.01667	0.00028
34. Construcción y colocación de armadura cimentación en el lecho de secado	0.5	0.40	0.50	0.60	0.03333	0.00111

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varia</b>
35. Fundición de cimentación de lechos de secado, H=1.5 mt., delta H = 1mt en tanque Rafa, H=0.90 mts. en el muro de sedimentador	0.58	0.50	0.50	1.00	0.0833	0.00
36. Colocación de acero horizontal en los muros del lecho de secado	0.5	0.40	0.50	0.60	0.0333	0.00
37. Colocación de refuerzo de pasamuros, centrado de pasamuros en el tanque H = 2.15 mt.	0.28	0.10	0.30	0.40	0.0500	0.00
38. Fraguado del concreto de la cimentación en lechos de secado, H=1.5 mt., como nivel inferior de la tabla, delta H=1mt en tanque llegando a una altura de 2.15mt, H=0,90mt en el muro del sedimentador	1.17	1.00	1.00	2.00	0.1667	0.02
39. Colocación de acero horizontal H = 2.5 mts. Delta H = 1 mt en el tanque Rafa	2.07	1.00	1.50	1.50	0.0833	0.00
40. Colocación de 2 varillas No. 4 y eslabon No. 2 en los muros del lecho de secados	0.28	0.10	0.30	0.40	0.0500	0.00
41. Desformaletado en H=1.5 mt, Delta H=1mt., en el tanque, H=0.90 mt. En muro de sedimentador	1.53	1.00	1.50	2.00	0.1667	0.02
42. Colocación de armadura, losa cimentación filtro	3.43	1.00	1.00	2.00	0.1667	0.02
43. Formaletado en el tanque a una H= 2.5 mts., teniendo un diferencial de altura de 1 mt.	2.57	1.00	2.00	2.50	0.2500	0.06

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>
4. Formateado para los muros del lecho de secado	0.48	0.30	0.50	0.60	0.0500	0.00250
5. Construcción de solera de remate en cono del sedimentador, solera de humedad en el filtro percolador	2	1.50	2.00	2.50	0.1667	0.02778
6. Colocación de faldon de madera para solera de remate en sedimentador, solera de humedad en el filtro percolador	0.57	0.40	0.50	1.00	0.1000	0.01000
7. Construcción de tarima para pestaña ó mampara del tanque Rafa, H= 2.25 mt.	0.63	0.40	0.60	0.60	0.0333	0.00111
8. Colocación de refuerzo de la pestaña ó mampara del tanque Rafa	0.41	0.25	0.40	0.60	0.0583	0.00340
9. Fundición de muros del lecho de secado, H=2.5 mt., Delta H=1mt en el tanque Rafa, solera de cimentación del filtro, solera de remate en el sedimentador, solera de humedad en el filtro.	0.58	0.50	0.50	1.00	0.0833	0.00694
10. Colocación de acero horizontal, H = 3.5 mt. Delta H = 1 mt en el tanque Rafa	0.57	0.40	0.50	1.00	0.1000	0.01000
11. Fraguado de muros del lecho de secado, H=2.5mt., Delta H=1mt en el tanque Rafa, solera de cimentación del filtro y soleras.	1.17	1.00	1.00	2.00	0.1667	0.02778



**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>V</b>
52. Desformaletado de muros de lecho secado, H = 2.5 mt, Delta H = 1mt en el tanque, solera de remate en sed., solera de humedad en filtro	0.63	0.40	0.60	1.00	0.1000	0
53. Formaletado H = 3.5 mt. Delta H = 1 mt. , en el tanque Rafa	1.55	1.30	1.50	2.00	0.1167	0
54. Curado de concreto en muros del lecho de secado, H=2.5 mt., delta H=1mt. En el tanque Rafa, losa de cimentación del filtro, soleras.	3.67	3.00	3.00	7.00	0.6667	0
55. Colocar acero vertical en 8 columnas en el filtro percolador	2.11	0.50	0.70	1.50	0.1667	0
56. Levantado de block en filtro percolador a una altura de 0.80 mt.	0.98	0.40	1.00	1.50	0.1833	0
57. Colocación de 1 hilada de block tipo U y su respectiva armadura, delta H=0.20 mts. en el filtro percolador.	0.50	0.40	0.50	0.60	0.0333	0
58. Formaletar columnas H = 1 mt a partir de la base de cimentación del filtro	1.00	0.40	0.50	0.60	0.0333	0
59. Fundición H=3.5 mt., delta H=1mt., en el tanque Rafa, columnas del filtro a una H=1mt., solera intermedia tipo U en filtro.	0.58	0.50	0.50	1.00	0.0833	0
60. Colocación de refuerzo de pasamuro, centrado de pasamuro en tanque Rafa a una H=3.65mt. Para salida de gases, H=3.70mt., para canaleta del efluente	0.22	0.10	0.20	0.40	0.0500	0

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>
61. Colocación de acero horizontal H=4.15 mts., delta H=0.65mts., en el tanque Rafa	0.72	0.50	0.70	1.00	0.0833	0.00694
62. Colocar estribos hasta solera de remate en el filtro percolador	0.41	0.25	0.40	0.60	0.0583	0.00340
63. Colocación de parales, entranquillado, embreizado en tarima para losa de tanque Rafa y vigas tipo V1 en el tanque Rafa.	1.72	1.30	1.50	3.00	0.2833	0.08028
64. Colocar tablonces de 4X8' a una H=3.35mts. Como nivel inferior del tablon , delta H=0.80, llegando a una altura de 4.15mt. En el tanque para muros de concreto	2.35	1.50	2.00	2.00	0.0833	0.00694
65. Colocación de armadura de losa y vigas tipo V-1 en el tanque Rafa	1.57	1.40	1.50	2.00	0.1000	0.01000
66. Fraguado de concreto en H= 1 mt., en tanque, columnas de filtro a una altura de 1 mt., solera intermedia tipo U en el filtro.	1.17	1.00	1.00	2.00	0.1667	0.02778
67. Construcción y colocación de armadura de canal hidráulico en filtro percolador	1.47	1.20	1.40	2.00	0.1333	0.01778
68. Colocación de tablas 0.40x3.15 mt en el canal (filtro)	0.47	0.20	0.20	0.40	0.0333	0.00111
69. Levantado de block hasta solera de remate en filtro percolador.	0.57	0.40	0.50	1.00	0.1000	0.01000

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Vari</b>
70. Desformaletear, desencofrar columna H = 0.80 mt (dimensionado en metros de tabla).	0.82	0.25	0.40	0.60	0.0583	0.00
71. Formaletear columna hasta solera de remate en filtro percolador.	0.41	0.25	0.40	0.60	0.0583	0.00
72. Construcción de armadura, colocación de faldon en solera de remate.	1	0.50	1.00	1.50	0.1667	0.02
73. Paraleado, entranquillado, entarimado, losa de tanque Rafa, puente y vigas tipo V-2 en filtro.	1.65	1.40	1.50	2.50	0.1833	0.03
74. Colocación y construcción de armadura para puente y vigas tipo V-2 en filtro percolador.	0.65	0.50	0.60	1.00	0.0833	0.00
75. Fundición de puente, parte constituyente de columna en filtro percolador de 0.80mts., solera de remate, vigas, canal hidraulico, losa de tanque, 0.80 mts. de muro de tanque	0.62	0.50	0.60	0.80	0.0500	0.00
76. Fraguado del concreto en puente, 0.80 mts. en columnas del filtro, solera de remate, vigas, canal hidraulico, losa de tanque, 0.80 mts. de muro de tanque	1.17	1.00	1.00	2.00	0.1667	0.02
77. Excavar a los niveles requeridos por el perfil hidraulico para la instalación de tubería entre componentes de la PTAR	1.63	1.40	1.60	2.00	0.1000	0.01

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>
78.colocar tuberia exterior entre componentes del sistema de tratamiento.	3	2.00	3.00	4.00	0.3333	0.1111
79. Curado puente, 0.80mts., en columnas, solera de remate, vigas, canal hidraulico, losa del tanque, 0.80mt de muro de tanque	3.67	3.00	3.00	7.00	0.6667	0.4444
80. Quitar parales, tarima, faldones, desformatear 0.80 mts., en columnas del filtro, solera de remate del filtro, vigas tipo V-1 y V-2, canal hidraulico en filtro	1.05	0.80	1.00	1.50	0.1167	0.0136
81. Colocación de varillas verticales y horizontales en el pre-tratamiento y pozo.	1.4	1.20	1.40	1.60	0.0667	0.0044
82. Entibamiento de madera en el pozo, formatear la parte constituyente del pre-tratamiento denominada desarenador	1.38	1.20	1.40	1.60	0.0667	0.0044
83. Formateado de muro de trampa de grasa en el pre-tratamiento.	0.33	0.25	0.30	0.50	0.0417	0.0017
84. Fundición de pre-tratamiento y pozo	0.53	0.50	0.50	0.70	0.0333	0.0011
85. Colocación de captación de gas en el tanque Rafa.	2	1.50	2.00	2.50	0.1667	0.0278
86. Colocación de purga de lodos en el tanque Rafa.	2	0.50	1.00	1.50	0.1667	0.0278
87. Fraguado de concreto de pre-tratamiento y pozo	1.17	1.00	1.00	2.00	0.1667	0.0278

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Variación</b>
88. Colocación de sistema de alimentación en el tanque Rafa.	1.13 dias	0.80	1.00	2.00	0.2000	0.0
89. Desformaletado de pre-tratamiento y pozo	0.53 dias	0.40	0.50	0.80	0.0667	0.0
90. Instalación de tubería entre pre-tratamiento y demás componentes.	0.55 dias	0.40	0.50	0.90	0.0833	0.0
91. Cotización, orden de compra, transporte de campanas de pvc.	14.33 dias	10.00	15.00	16.00	1.0000	1.0
92. Colocación de campanas en el tanque Rafa	6.22 dias	3.00	5.00	6.00	0.5000	0.2
93. Aplicación de recubrimiento interior en pre-tratamiento, filtro, pozo, sedimentador, y tanque Rafa (primera mano)	1.97 dias	1.50	2.00	2.30	0.1333	0.0
94. Aplicación de recubrimiento exterior en pre-tratamiento, filtro y tanque Rafa.	1.97 dias	1.50	2.00	2.30	0.1333	0.0
95. Aplicación de recubrimiento interior (segunda mano)	1.05 dias	0.80	1.00	1.50	0.1167	0.0
96. Elaboración del sistema de distribución del filtro percolador	10.83 dias	7.00	9.00	10.00	0.5000	0.2
97. Colocación del sistema de distribución del filtro percolador	2.5 dias	2.00	2.50	3.00	0.1667	0.0
98. Primera prueba hidrostática en el tanque Rafa (llenado de tanque)	4 dias	3.00	4.00	5.00	0.3333	0.1
99. Primer ensayo del sistema de distribución en el filtro percolador	0.5 dias	0.40	0.50	0.60	0.0333	0.0

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>	
100. Determinación de fugas	4	3.00	4.00	5.00	0.3333	0.1111	
101. Vaciar el tanque Rafa del agua contenida en la prueba hidrostática.	3.08	2.50	3.00	4.00	0.2500	0.0625	
102. Picar, colocar impermeabilizante en Rafa	1.05	0.80	1.00	1.50	0.1167	0.0136	
103. Segunda prueba hidrostática en el tanque Rafa (llenado del tanque)	3.08	2.50	3.00	4.00	0.2500	0.0625	
104. Arreglar las fugas en las juntas de las instalaciones de tubería.	1.05	0.80	1.00	1.50	0.1167	0.0136	
105. Cotización, transporte de material plástico.	21	16.00	20.00	30.00	2.3333	5.4444	
106. Colocar material plástico.	0.52	0.40	0.50	0.70	0.0500	0.0025	
107. Determinación de nuevas fugas en general	1.97	1.50	2.00	2.30	0.1333	0.0178	
108. Arreglar las nuevas fugas en juntas de instalaciones exteriores de tubería	1.03	0.80	1.00	1.40	0.1000	0.0100	
109. Aplicación de acabados en parte exterior de pre- tratamiento, tanque Rafa y filtro	1.62	1.30	1.60	2.00	0.1167	0.0136	
110. Segundo ensayo del sistema de distribución en el filtro percolador.	0.39	0.25	0.40	0.50	0.0417	0.0017	
111. Cotización, orden de compra, transporte de armadura metálica.	22	15.00	23.00	25.00	1.6667	2.7778	

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>
112. Colocar soportes, escalera de acceso y barandas.	2.08	1.50	2.00	3.00	0.25000	0.06250
113. Lijar, colocar anticorrosivo, pintar soporte, escalera de acceso y barandas.	5.83	4.00	6.00	7.00	0.50000	0.25000
114. Pintar tubería externa	1.62	0.80	1.00	1.50	0.11667	0.01361
115. Colocación de material anti- insectos en el filtro	1.03	0.80	1.00	1.40	0.10000	0.01000
116. Cotización, orden de compra, transporte de grava, arena y ladrillo tayuyo.	7	5.00	7.00	9.00	0.66667	0.44444
117. Colocación de grava, arena y ladrillo tayuyo.	1.8	0.50	1.00	1.30	0.13333	0.01778
118. Cotización, orden de compra, transporte de materiales electricos a usarse en la PTAR	25.67	20.00	26.00	30.00	1.66667	2.77778
119. Excavación de zanjas para tubería tipo conduit de pvc	2.05	1.80	2.00	2.50	0.11667	0.01361
120. Colocación e instalación de tubería con sus respectivos cables	1.4	1.20	1.40	1.60	0.06667	0.00444
121. Instalar los componentes electricos	1	0.50	1.00	1.50	0.16667	0.02778
122. Prueba de materiales eléctricos	0.62	0.50	0.60	0.80	0.05000	0.00250

**CONTINUACIÓN TABLA XII.**

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Duración Esperada (días)</b>	<b>Duración Optimista (días)</b>	<b>Duración Más Probable (días)</b>	<b>Duración Pesimista (días)</b>	<b>Desviación Estandar (días)</b>	<b>Varianza</b>	
123. Arreglos en los materiales electricos	0.65	0.50	0.60	1.00	0.08333	0.00694	
124. Cotización de materiales para conducción de agua potable	22	18.00	21.00	30.00	2.00000	4.00000	
125. Instalación de tubería de conducción de agua potable	1.13	0.80	1.00	2.00	0.20000	0.04000	
126. Ensayo de presión en tubería de agua potable	0.31	0.50	0.60	0.80	0.05000	0.00250	
127. Arreglos en la tubería de conducción de agua potable	0.65	0.50	0.60	1.00	0.08333	0.00694	
128. Arranque del tanque Rafa	9	8.00	8.00	14.00	1.00000	1.00000	
129. Entrega	1.5	1.00	1.00	4.00	0.50000	0.25000	
Sumatoria de datos	80.73	60.35	75.30	116.60	30.34500	23.45242	
Sumatoria de varianzas que constituye la ruta crítica						2.934181	
Raíz cuadrada de la sumatoria de varianzas de la ruta crítica = desviación estandar del evento final						1.712945	
Probabilidad de ocurrencia por definición (curva normal)	50%	1%		1%			



La estimación de los recursos se hizo basándose en los rendimientos promedio que se observaron en la ejecución de las actividades en diferentes proyectos.

Al introducir los datos expuestos anteriormente en el programa *Project manager* el interesado observará que los recursos en mano de obra con los que se pensó inicialmente no son lo suficiente para la elaboración de ciertas actividades.

Por ejemplo, al introducir al programa todos los datos estimados expuestos, se observa en *graph resources* que los días 11 de julio y 14 de julio está sobre asignado el recurso alb 2, en estos días se determinó en la planificación de inicio que alb 2 tendría que hacer dos actividades al mismo tiempo.

Si alb 2 no puede realizar las dos actividades, se puede asignar a alb1 ó alb 3, pero si ambos están ocupados lo mejor sería contratar otro recurso de mano de obra, el cual, tiene que ir contemplado en la integración de costos.

El estimado de la duración del proyecto ayudará a mejorar la distribución de los costos con las actividades, es por ello que ciertas actividades se asocian en un renglón con un costo unitario a una duración establecida por la programación.

De la tabla de estimaciones de la duración esperada, pesimista y optimista se obtiene una desviación estándar del evento final en la ruta crítica de 1.712945 una media de 80.73 días (duración ruta crítica)

Por definición de la curva normal, se tiene un valor de  $Z = 3$  para obtener una duración que tenga una probabilidad de aproximadamente 100% para concluir la obra, el tiempo a ésta probabilidad es de 86 días, 4 meses del 23 de mayo al 25 de septiembre de 2003.

## **7.2 Integración de costos en función del pert- tiempo**

Los costos están integrados en renglones, los renglones contienen varias actividades implícitas que en conjunto generan el costo global de dicho renglón.

Las actividades requieren de una duración acotada por el rendimiento de los recursos a utilizarse, el renglón al tener varias actividades que se realizan al mismo tiempo y otras que no, tendrá una duración que estará acotada por el comienzo de la primera actividad y la finalización de la última actividad.

Los renglones que comprenden la obra civil del sistema de tratamiento están compuestos por la cimentación, levantado de muro, soleras, losa, acabados, columnas.

Los renglones son similares a los realizados para la integración de costos en una vivienda, a diferencia del renglón canal hidráulico que se construye en el filtro percolador, las vigas y el puente que se construirá en el filtro percolador.

El factor de prestaciones a utilizar será de 0.234422 que se estimo proporcional a la duración del proyecto, comprendida del 23 de mayo del 2003 al 25 de septiembre del 2003.

Se utilizara un factor de imprevistos, el cual, será del 7% del total de materiales y el 10% del total de mano de obra.

Para reducir el riesgo a pagar moras por entregar el proyecto después de 4 meses se tomó en cuenta que los trabajadores laborarán solo 5 días (lunes a viernes) en el análisis pert- tiempo de 8 de la mañana a 5 de la tarde con 1 hora de almuerzo.

**Tabla XIII. Renglones de obra civil de la planta de tratamiento y su duración**

1. Cimentación de pre-trat. y lev. de muro	29/07/03	al	11/08/03	11 días
2. Acabados pre-tratamiento	06/08/03	al	17/09/03	29 días
3. Cimentación de tanque RAFA	16/06/03	al	02/07/03	12 días
4. Levantado de muro en tanque RAFA	26/06/03	al	29/07/03	23 días
5. Vigas V-1 de tanque RAFA	24/07/03	al	29/07/03	4 días
6. Losa en tanque RAFA	24/07/03	al	29/07/03	4 días
7. Acabados tanque RAFA	06/08/03	al	17/09/03	29 días
8. Cimentación de filtro percolador	16/06/03	al	15/07/03	21 días
9. Canal hidráulico de filtro percolador	22/07/03	al	29/07/03	6 días
10. Solera de humedad de filtro percolador	10/07/03	al	15/07/03	4 días
11. Levantado de muro en filtro percolador	22/07/03	al	24/07/03	3 días
12. Solera intermedia de filtro percolador	23/07/03	al	24/07/03	2 días
13. Viga V-2 en filtro percolador, puente	24/07/03	al	29/07/03	4 días
14. Acabados filtro percolador	06/08/03	al	17/09/03	29 días
15. Columna en filtro percolador	14/07/03	al	29/07/03	12 días
16. Cono de cimentación del sed. secundario	16/06/03	al	02/07/03	12 días
17. Muro de sedimentador secundario	03/07/03	al	15/07/03	9 días
18. Acabados sedimentador secundario	06/08/03	al	19/08/03	9 días
19. Solera de remate sed. secundario	10/07/03	al	15/07/03	4 días
20. Cimentación de lecho de secado	03/07/03	al	08/07/03	4 días
21. Levantado de muro de lecho de secado	26/06/03	al	15/07/03	13 días

La tabla XIII presenta los intervalos de tiempo para realizar los renglones dentro del proyecto



















CONTINUACIÓN TABLA XIII.

RENGLÓN DE COSTOS	Tanque Rafa				Levantado de muro						
	U	CANT	C.U.	C. T	B	Mano de obra	U	CANT	C.U.	C.T	
1 Concreto					1	Por trato					
					1.1	Andamio	M <sup>2</sup>	20	8	160	
1 Cemento	S	157	36.00	5652.00	1.2	Armadura	M <sup>2</sup>	78.8	8.50	669.80	
2 Arena	M <sup>3</sup>	9	75.00	675.00	1.3	Formaleta	MI	78.8	7.57	596.52	
3 Piedrin	M <sup>2</sup>	9	110.00	990.00	1.4	Fundición	M <sup>3</sup>	16	350.00	5600.00	
					1.5	Colocación <i>Water Stop</i>	MI	62	6.00	372.00	
4 Agua	Gal	960	0.25	240.00						7398.32	
					2	Por dia (ayudantes)				2219.5	
2 <b>Hierro</b>						Sub-Total				9617.82	
1 Hierro No. 5	qq	35	165.00	5775.00		prestaciones laborales				2250.7	
2 Hierro No. 4	qq	35	160.00	5600.00		Total Mano de obra				14088.02	
3 Hierro No. 2											
4 Alambre de amarre	qq	2.8	250.00	700.00							
						<b>Resumen</b>					
					A	Materiales				24454.5	
3 <b>Madera</b>					B	Mano de obra				14088	
1 tabla 1' X 12" X 14'	/	3	49.50	148.50	C	Imprevistos				3431.61	
2 Tendales 2" X 3" X 9'	/					Costo directo				41974.1	
3 Parales 3" X 4" X 7'	/	6	33.50	201.00							
4 Tabla 3" X 1" X 12'	/										
4 <b>Otros materiales</b>											
1 <i>Water Stop</i>	ML	62	70.00	4464.00							
2 Selecto											
3 Clavo 3"	lb	3	3	9							
Total de materiales				24454.50		Costo unitario				Q532.66/M <sup>2</sup>	















**CONTINUACIÓN TABLA XIII.**

<b>RENLÓN DE COSTOS</b>				<b>FILTRO PERC.</b>				<b>Puente</b>			
<b>A</b>	<b>Materiales</b>	<b>U</b>	<b>CANT</b>	<b>C.U.</b>	<b>C. T</b>	<b>B</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>U</b>	<b>CANT</b>	<b>C.U</b>	<b>C.T</b>
1	Concreto					1	Por trato				
1.1	Cemento	S	3	36.00	108.00	1.1	Armadura	M <sup>2</sup>	3.96	10.00	39.58
1.2	Arena	M <sup>3</sup>	0.15	75.00	11.25	1.2	Formaleta	M <sup>2</sup>	3.96	15.00	59.40
1.3	Piedrin	M <sup>2</sup>	0.15	110.00	16.50	1.3	Fundición	M <sup>3</sup>	0.27	350.00	94.50
1.4	Agua	Gal	16	0.25	4.00						193.50
						2	Por día (ayudantes)				58.50
2	<b>Hierro</b>						Sub-Total				251.98
2.1	Hierro No. 3	qq	0.54	160.00	86.40		prestaciones laborales				58.50
2.2	Hierro No. 2						Total Mano de obra				310.48
2.3	Alambre de amarre	qq	0.03	250.00	7.50						
							<b>Resumen</b>				
3	<b>Madera</b>					A	Materiales				39.58
3.1	tabla 1' X 12" X 14'	/	2	49.50	99.00	B	Mano de obra				310.48
3.2	tendales 2" X 3" X 12'	/	1	21.5	21.50	C	Imprevistos				61.50
3.3	Parales 3" X 4" X 10'	/	1	33.5	33.50		Costo directo				769.50
4	<b>Otros materiales</b>										
4.1	Clavo 3"	lb	0.5	3.00	1.50						
4.2	Clavo 2"	lb	1	2.75	2.75						
4.3	Clavo 1 1/2"	lb	2	2.75	5.5						
	Total de materiales				397.40		Costo unitario				Q194.26

**CONTINUACIÓN TABLA XIII.**

<b>RENLÓN DE COSTOS</b>			<b>Filtro Percolador</b>			<b>Acabados</b>					
<b>A</b>	<b>Materiales</b>	<b>U</b>	<b>CANT</b>	<b>C.U.</b>	<b>C. T</b>	<b>B</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>U</b>	<b>CANT</b>	<b>C.U</b>	<b>C.T</b>
1	Concreto					1	Por trato				



















### 7.3 Presupuesto

El presupuesto está integrado por todos los rubros que conlleva el proyecto para la realización del mismo, como lo son: La obra civil, equipamiento, conexiones eléctricas, caseta, sistemas de tubería, movimiento de tierras, administración, servicios legales, servicios de ingeniería / arquitectura, inspecciones e imprevistos, etc.

En el ejemplo de aplicación para simplificar se establece como rubro de referencia la obra civil o construcción de las obras hidráulicas para estimar con relación a éste, el costo que conllevan los demás renglones, es decir, se hará una ponderación subjetiva.

La obra civil es la referencia, por lo que el valor de la misma es de una unidad, el cual es de Q190,192.47, el equipamiento tiene un valor estimado en relación con la referencia de 1.40 unidades, el sistema de tubería 0.25 unidades, la instalación eléctrica de 0.10, costos asociados de administración, servicios legales, servicios de ingeniería / arquitectura, inspecciones e imprevistos de 0.30 unidades, movimiento de tierras de 400 mts<sup>3</sup> de 0.10 unidades, la topografía 0.10 unidades, el estudio de suelos 0.10 unidades, barandales y acceso a las losas del tanque RAFA y filtro percolador 0.2, caminamiento hacia la planta 0.05, muro perimetral con malla 0.10, caseta de mantenimiento 0.10, preliminares 0.15, pruebas hidráulicas 0.15 y otros (costo posible de inculo en el tanque RAFA para arranque) 0.05

El equipamiento tiene el mayor costo, en el debe estimarse el costo del acero inoxidable utilizado en el sistema de venteo de biogás, la tea utilizada en el sistema de venteo de biogás, laminas de pvc o fibra de vidrio utilizadas en el sistema G.L.S.

### 7.1.3

#### Presupuesto de área y volumen

Tabla XIV. Presupuesto de área y volumen

No.	Descripción del renglón	Cantidad	U	Precio unitario	Total Renglón
1	Preliminares	1	G	28,582.87	28,582.87
2	Topografía	1	G	19,019.25	19,019.25
3	Movimiento de tierras	1	G	19,019.25	19,019.25
4	Estudio de suelos	1	G	19,019.25	19,019.25
5	Cimentación pre-trat.	9	mt <sup>2</sup>	152.76	1,371.82
6	Lev. muro pre-trat.	24	ml	189.89	4,557.39
7	Acabados pre-trat.	32	mt <sup>2</sup>	212.28	6,793.00
8	Cimentación RAFA	31.36	mt <sup>2</sup>	989.58	31,033.3
9	Muro tanque RAFA	78.80	mt <sup>2</sup>	532.66	41,974.1
10	V-1 tanque RAFA	5.85	ml	210.84	1,855.40
11	Losa de tanque RAFA	9.30	mt <sup>2</sup>	412.66	3,837.74
12	V-1 tanque RAFA	5.85	ml	764.85	4,474.4
13	Acabados RAFA	258	mt <sup>2</sup>	99.66	25,714.84
14	Cimentación de filtro	4.52	mt <sup>3</sup>	769.50	3,478.15
15	Canal hidráulico de filtro	4.40	ml	384.85	1,693.36
16	Solera de humedad filtro	17.6	ml	120.88	2,127.50
17	Levantado muro en filtro	43	mt <sup>2</sup>	187.74	8,072.95
18	Solera intermedia filtro	17.6	ml	66.45	1,169.4
19	Solera de remate filtro	17.6	ml	94.65	1,665.89
20	Viga V-2 en filtro	8.80	ml	210.84	1,855.4

**Continuación Tabla XIV.**

	Descripción del renglón	Cantidad	U	Costo unitario	Total renglón
21	Puente del filtro	3.96	mt <sup>2</sup>	194.26	769.29
22	Acabados del filtro	86	mt <sup>2</sup>	118.23	10,167.54
23	Columna de filtro	17.6	ml	71.70	1,262.01
24	Cono del sed.	33	mt <sup>2</sup>	472.94	15,606.91
25	Muro del sed.	20.16	ml	245.10	4,941.14
26	Acabados del sed.	52	mt <sup>2</sup>	96.63	5,024.68
27	Solera remate sed.	15	ml	90.53	1,357.91
28	Cimentación del lecho	25.6	mt <sup>2</sup>	234.59	6,005.45
29	Muro lecho de secado	32	mt <sup>2</sup>	163.82	5,242.30
30	Equipamiento	1	G	266,269.46	266,269.46
31	Sistema de tubería	1	G	47,548.12	47,548.12
32	Instalación eléctrica	1	G	19,019.25	19,019.25
33	Administración	1	G	57,057.74	57,057.74
34	Barandales y acceso	1	G	38,038.49	38,038.49
35	Caminamiento	1	G	9,509.62	9,509.62
36	Muro perimetral	1	G	19,019.25	19,019.25
37	Caseta mantenimiento	1	G	19,019.25	19,019.25
38	Pruebas hidráulicas	1	G	28,528.87	28,528.87
39	Otros (inoculación,etc)	1	G	9,509.62	9,509.62
	Costo total				Q791,212.16
	Costo total en dolares tipo de cambio nominal (7.89398) 28/02/03				\$ 100,229.81

#### 7.4 Costo de mantenimiento y operación de la planta

El mantenimiento de la PTAR estará constituida por un operario que realizará diversas tareas durante la operación de la planta.

Las tareas serán ejecutadas en intervalos de tiempo diferentes, ya que unas serán ejecutadas semanalmente, otras mensualmente, otras cada 2 meses, 3 meses, etc.

Por lo mismo se cuantificará un costo medio horas/mes que tendrá la parte contribuyente del porcentaje que se obtenga de las tareas que se realizarán cada 2 meses, 3 meses, etc.

Las tareas diarias que el operador tendrá a su cargo son:

- Limpieza de la rejilla del desarenador con un rastrillo 0.5 horas /día
- Extracción de la arena que se sedimenta en el canal de entrada 0.5 horas
- Colocación de sólidos y arena sedimentada a una carretilla de mano 0.5
- Extracción de los sólidos flotantes como arena pómez y natas que quedan retenidos en el desarenador 0.5 horas / día
- Limpieza de las canaletas del efluente en el tanque RAFA 0.5 horas /día
- Limpieza de las boquillas rociadoras del filtro percolador 0.5 horas/día
- Limpieza de la superficie del filtro percolador 0.75 horas/ día  
3.75 horas/día, total 112.5 horas/mes

Las tareas que el operador realizará cada 8 días son:

- Limpieza de las campanas deflectoras del G.L.S. el tanque RAFA 2 horas/semana

- Comprobación de altura límite del lodo en el tanque RAFA (altura que esta debajo de las mamparas deflectoras) 0.5 horas/semana
- Limpieza general de la infraestructura 2 horas / semana

Total de 18 horas/mes

Las operaciones que el operador realizará cada 15 días son:

- Extracción de lodos del tanque RAFA hacia el lecho de secado 0.5 horas/mes

Las operaciones que el operador realizará cada mes son:

- Limpieza del lecho de secado 2 horas /mes

Las operaciones que el operador realizará cada 2 meses son:

- Limpieza del filtro percolador 2 horas/2 meses, 1 hora/mes

Las operaciones que el operador realizará cada 6 meses son:

- Purga de lodos del tanque RAFA 5 horas/ 6 meses, 0.83 horas/mes
- Limpieza del tanque RAFA 3 horas/6 meses, 0.5 horas/mes

El valor esperado de horas de trabajo es de 135.33 horas/mes, aproximadamente 6 horas/día de lunes a viernes, el salario o costo medio es de Q1,353.30 al pagar Q10.00/hora

Suponiendo que se le pagan Q80.00 /día, con 8 horas/día de trabajo, a Q10.00/hora, se tendría un salario de Q1, 600.00 (supuesto basado en que trabaja los sábados hasta medio día y el algunos días sale tarde).



Cada semana visitará la PTAR el personal calificado para la supervisión de la operación de la misma para que se obtenga una eficiencia esperada.

El ingeniero sanitario es el encargado de supervisar la PTAR por lo menos 4 meses después del arranque del tanque RAFA, costos que deben estar considerados en el costo de servicios de ingeniería en el presupuesto, posteriormente se delega la supervisión a una persona de confianza por la empresa.

Esta persona recibirá un sueldo de Q1,100.00/mes, el encargado de mantenimiento ganará Q1,600.00/ mes, en total Q 2,600.00/mes, aproximadamente Q1.44/hab/mes.

El costo dado por algún imprevisto en la operación y mantenimiento debe ser tomado en cuenta (daño en alguna tubería o válvula, bomba, necesidad de algún químico, etc.) el cual será evaluado por el ingeniero sanitario.

Dicho costo será de Q 1,000.00, por lo que al final el costo de operación y mantenimiento será de Q 2.00/hab./mes. Éste será administrado por la cooperativa de la comunidad.

Estos costos a futuro son los que se deben traer a valor presente para evaluar el costo de operación y mantenimiento que hoy se tiene con relación a otros proyectos, para obtener el costo- beneficio de la operación y mantenimiento de la PTAR propuesta en el ejemplo.

## CONCLUSIONES

1. En el tratamiento, el tanque RAFA se caracteriza por la operación unitaria más importante
2. El incremento en el volumen útil del tanque RAFA, debido a que una población mayor descarga las aguas residuales requiere para su construcción una cantidad mayor de concreto, acero y tubería para el sistema de distribución y canaletas del efluente.
3. La programación Pert- tiempo suministra información precisa y confiable de los costos incurridos a través del tiempo en la construcción de la PTAR para 1,800 habitantes para un tiempo de realización de 4 meses.
4. El análisis Pert- tiempo de la PTAR es un modelo de la realidad, por lo que a medida que se tenga más experiencia en la construcción de proyectos análogos más acertado será el cálculo de la ruta crítica.
6. El costo obtenido en función de la programación Pert- tiempo es de Q791,212.16 (\$100,229.81)
7. El costo y el tiempo incurrido obtenidos por el análisis Pert-tiempo son un buen estimador para la construcción de una PTAR, por lo que al tener a dicho trabajo como referencia ayudará a los contratistas y entidades interesadas a agilizar el cálculo de los costos de inversión.

## RECOMENDACIONES

1. Para la construcción de la PTAR es importante que un asistente de ingeniería tome nota de los rendimientos de los trabajadores y la cuantificación de la tarea realizada para desarrollar un análisis Pert-tiempo que se acerque más a la realidad.
2. Para la operación eficiente de la planta, se requiere de un ingeniero sanitario que analice el proceso complejo de la PTAR.
3. La introducción de los datos obtenidos en el trabajo por parte del interesado en el *Software* servirán para realizar las estimaciones que tengan un criterio subjetivo para programar un proyecto con características similares al presentado, por lo que podría tenerse el mismo como un buen apoyo hacia la sofisticación de la programación que se quiera ejecutar.
4. Para interesar más al estudiante acerca de la construcción de las PTAR se debería agregar en el pensúm de estudios de la carrera de ingeniería civil algún curso que sirva de apoyo para él, acerca del diseño de tanques rectangulares, cubicaciones, movimiento de tierras en plataformas por el sistema de perfiles, normas y especificaciones en la construcción, ya que todo esto le servirá a todo aquel que se visualice algún día como un ingeniero sanitario integrador de ideas.

## BIBLIOGRAFIA

1. CASTILLO Giovanni Erick, Curso **consideraciones estructurales en obras de ingeniería sanitaria**. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS, 1997.
2. G. Zabaleta, Gerardo. **Cálculo y construcción de depósito**. España ED CEAC S.A. diciembre, 1970
3. LEÑERO, José, **Programación Pert-cpm**, ciencia de la administración.
4. LOYOLA Robles A, **Diseño, inoculación y arranque de reactores UASB** III taller y seminario latinoamericano de tratamiento de aguas residuales 1994, Uruguay
5. NAWY, Edwards G. **Concreto Reforzado**, Prentice Hall , México 1988
6. TRAPAGA, Sosa Manolo, Costos y reducción de contaminantes en la colonia villa del sol. Tesis Ingeniería civil Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2001
7. WITTIG Loarca, Werner, evaluación de reactores anaerobios de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales. Tesis M.S. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996
8. ZURITA Ruiz, José. **Obras hidráulicas**, 2da de España, ED CEAC S.A. 1976