



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DISMINUCIÓN DE SÓLIDOS EN EL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO GUANO SECTOR LANGOS PANAMERICANA LA CAPILLA.”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**ACÁN ACÁN ANGEL EUCLIDES**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2011**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a Dios por ser mi guía y motor principal en cada instante de mi vida.

A mis padres que con su apoyo incondicional hicieron posible que culminara mis estudios.

Al Instituto Nacional de Riego quienes auspiciaron esta investigación, de manera especial a la Ing. Patricia Nuñez.

A mi Director de Tesis el Ing. Hanníbal Brito, a mi colaboradora Dra. Gina Álvarez, quienes con sus conocimientos aportaron a la realización de esta investigación.

Quiero agradecer también a mis profesores y amigos que de una u otra manera estuvieron conmigo a lo largo de mis estudios universitarios.

## **DEDICATORIA**

EL presentetrabajo va dedicado a Dios, a mis padres, maestros, compañeros y amigos que siempre han estado presentes para apoyarme, guiarme de manera incondicional para la culminación del presente trabajo.

**NOMBRE**

**FIRMA    FECHA**

Dra. Yolanda Díaz

-----

**DECANA FAC. CIENCIAS.**

Ing. Mario Villacres

-----

**DIRECTOR DE ESCUELA.**

Ing. Hanníbal Brito

-----

**DIRECTOR DE TESIS.**

Dra. Gina Álvarez.

-----

**MIEMBRO DE TRIBUNAL.**

Ing. José Usiña-----

**MIEMBRO DE TRIBUNAL.**

Sr. Carlos Rodríguez-----

**DIRECTOR DEL CENTRO**

**DE DOCUMENTACION.**

**NOTA DE LA TESIS.**

-----

**“Yo ÁNGEL EUCLIDES ACÁN  
ACÁN soy responsable de las ideas,  
doctrinas y resultados expuesto en esta  
tesis y el patrimonio intelectual de la  
Tesis de Grado pertenecen a la  
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA  
DE CHIMBORAZO”**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$V_p$  = Es el volumen de la partícula(mL)

$\gamma$  =Peso específico del fluido ( $\text{Kg/m}^2\text{s}$ )

$\rho$  =Densidad del fluido ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\rho_p$ = Densidad de la partícula ( $\text{Kg/ m}^3$ )

$C_D$ = Coeficiente de arrastre

$A$  = Sección transversal al escurrimiento de la partícula ( $\text{m}^2$ )

$\emptyset_p$ = Diámetro de la partícula (m)

$v$  = Velocidad de flujo (m/s)

$\rho_f$  = Densidad de flujo ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\mu$ = Viscosidad del fluido ( $\text{Kg/ms}$ )

$n$  = Coeficiente de Manning

$rH$  = Radio hidráulico

$J$  = Gradiente hidráulico

$W_s$  = Peso del sólido ( $\text{Kg}\cdot\text{m/s}^2$ )

$\rho_s$ =Densidad del sólido ( $\text{Kg/m}^3$ )

$\phi_s$ =Diámetro del sólido (m)

$\square_f$ =Densidad específica del fluido ( $\text{Kg/m}^2\text{s}$ )

$\text{m}^3$  =Metros cúbicos

$s$  = Segundos

Km =Kilómetro (Km)

S= Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

m = metros

C =Centígrados

$F_R$ = Fuerza de rozamiento

$F_E$ = Fuerza de empuje

$F_p$ = Fuerza externa

a = Aceleración ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

g =Gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

Q = Caudal del fluido ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_d$ = Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

ppm = Partes por millón

$m_p$ = Masa de la partícula

$v_a$  = Velocidad superficial del fluido ( $\text{m}/\text{s}$ )

mm =Milímetros

Kg = Kilogramos

$v_{sc}$ = Velocidad de sedimentación crítica ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ )

$\mu\text{S}$  = Microsiem

$A_S$  = Área superficial del sedimentador ( $\text{m}^2$ )

$\square_s$ =Diámetro del sólido (m)

$V_s$  = Volumen del sólido (mL)

$x$  = Distancia recorrido por el sólido (m)

$t$  = Tiempo (s)

$h$  = Altura (m)

mL = Mililitro

$L$  = Longitud (m)

$a$  = Ancho (m)

$V$  = Volumen del tanque del sedimentador (L)

$Trh$  = Tiempo de retención hidráulica (h)

$N_{RE}$  = Número de Reynolds

INERHI = Instituto Nacional Ecuatoriana de Recursos Hídricos

INAR = Instituto Nacional de Riego

## TABLA DE CONTENIDO

Pp

INDICE DE ABREVIATURAS

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE ANEXOS

RESUMEN.....	i
SUMARY.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	iv
JUSTIFICACIÓN.....	vii
OBJETIVOS.....	viii

## CAPITULO I

1. MARCO TEORICO .....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. SISTEMA DE RIEGO.....	4
1.2.1. Definición del riego .....	4
1.2.2. Importancia del riego .....	4
1.2.3. Método de riego .....	5
1.2.4. Fuentes del agua para riego .....	6
1.2.5. Calidad del agua para irrigación .....	6
1.2.6. Relación de agua- suelo- planta.....	6
1.2.7. Calidad del agua en relación del suelo.....	7
1.2.8. Análisis de agua para riego.....	7
1.2.9. Riesgo de obstrucciones en riego localizado .....	10
1.3. TRATAMIENTO DE AGUA.....	12

1.3.1. Pretratamiento y acondicionamiento previos.....	12
1.3.2. Tratamiento primario.....	12
1.3.3. Rejillas.....	13
1.3.4. Sedimentación del agua.....	13
1.3.4.1. Modelo de decantadores según el sentido de flujo.....	14
1.3.4.2. Sedimentación convencional: modelo Hazen y Camp.....	14
1.3.4.3. Sedimentadores de placas paralelas.....	16
1.3.4.4. Componentes de un sedimentador.....	17
1.3.4.4.1. Zona de entrada.....	17
1.3.4.4.2. Diseños de estructuras de entrada.....	18
1.3.4.4.3. Diseño de canales de entrada.....	19
1.3.4.4.4 Zona de sedimentación: factores que deben considerarse:.....	19
1.3.4.4.5. Zona de salida.....	21
1.3.4.4.6. Zona de recolección de lodos.....	21
1.3.4.5. Placas de asbesto cemento.....	22
1.3.5. Fuerzas actuantes de la partícula.....	22
1.3.5.1. Fuerza externa.....	23
1.3.5.2. Empuje.....	24
1.3.5.3. Fuerza de rozamiento.....	24
1.3.6. Caso de partículas esféricas.....	25
1.3.7. Valores del coeficiente de arrastre, $c_d$ .....	27
1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	29
1.4.1. Viscosidad.....	29

	Pp
1.4.2. Caudal .....	29
1.4.3. Caudal de diseño .....	30
1.4.4. Área.....	30
1.4.5. Volumen.....	32
1.4.6. Tiempo de Retención Hidráulico .....	32
1.4.7. Rejas de limpieza manual .....	33
1.4.7.1. Características de diseño.....	34
1.4.8. Bomba de Diafragma para lodos .....	35
1.4.8.1 Potencia.....	36

## **CAPITULO II**

2. PARTE EXPERIMENTAL .....	38
2.1. DIAGNÓSTICO .....	39
2.2. MUESTREO .....	42
2.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO .....	42
2.3. METODOLOGIA.....	43
2.3.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	43
2.3.1.1. MÉTODOS .....	43
2.3.1.1.1. SELECCIÓN DE MUESTRA .....	43
2.3.1.2. TÉCNICAS .....	43
2.3.1.2.1. ANÁLISIS FÍSICO - QUIMICO.....	44
2.3.1.2.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	53
2.4.2. DATOS EXPERIMENTALES.....	54
2.4.3. DATOS ADICIONALES .....	55

## CAPITULO III

	Pp
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE UN SEDIMENTADOR .....	56
3.1. CÁLCULOS .....	56
3.1.1. Determinación de la viscosidad .....	56
3.1.2. Cálculo del caudal.....	56
3.1.3. Cálculo del caudal de diseño mediante la teoría.....	57
3.1.4. Cálculo del área del sedimentador .....	57
3.1.5. Cálculo del ancho del sedimentador .....	57
3.1.6. Cálculo de la longitud del tanque .....	58
3.1.7. Determinación de la carga superficial actual .....	58
3.1.8. Determinación de la carga superficial después de instalados los módulos.....	58
3.1.9. Determinación de la longitud relativa para flujo laminar .....	58
3.1.10. Determinación de la longitud relativa en la región de transición .....	59
3.1.11. Determinación de las longitudes relativas. ....	59
3.1.12. Determinación de la velocidad crítica de asentamiento.....	59
3.1.13. Determinación de Número de Reynolds ( $N_{Re}$ ) del sistema .....	60
3.1.14. Cálculo del volumen del sedimentador.....	60
3.1.15. Cálculo del tiempo de retención hidráulico .....	60
3.1.16. Determinación del número de placas.....	61
3.1.17. Velocidad de transporte de flujo a través de las rejillas .....	61
3.1.18. Condiciones de diseño .....	61
3.1.19. Cálculo de potencia de la bomba .....	62
3.1.19.1. Cálculo de la velocidad de succión.....	62

	Pp
3.1.19.2. Cálculo de la presión de succión.....	62
3.1.19.3. Cálculo del $N_{re}$ para el sistema de transporte de lodo .....	63
3.1.19.4. Cálculo de factor de fricción Fanning para flujo laminar .....	63
3.1.19.5. Cálculo de pérdidas de energía en las tuberías .....	63
3.1.19.6. Cálculo de pérdidas de energía en los accesorios .....	64
3.1.19.7. Cálculo de altura de carga del sistema.....	64
3.1.19.8. Cálculo de flujo másico .....	64
3.1.19.9. Cálculo de $H_p$ de la bomba.....	64
3.2. RESULTADOS .....	65
3.2.1. Resultado de análisis Físico Químico del agua.....	65
3.2.2. Resultado de análisis microbiológico del agua.....	66
3.2.3. Resultado de los cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.....	67
3.2.4. Dimensiones para el proyecto de rejillas de barras de limpieza manual.....	67
3.3. PROPUESTA.....	69
3.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	75

## CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
4.1. CONCLUSIONES .....	76
4.2. RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA .....	78
ANEXOS .....	79

## INDICE DE TABLAS

### TABLA Pp

1.2.8-1 Valores normales de análisis de agua de riego (FAO).....	9
1.2.9-1 Riesgo de obstrucciones en riego localizado.....	11
1.4.7-1. Dimensiones para las rejillas de barras de limpieza manual.....	34
2.2.1-1 Plan de muestreo.....	42
2.3.1.2.1-1. Determinación de la Turbiedad.....	44
2.3.1.2.1-2. Determinación de conductividad.....	45
2.3.1.2.1-2 Determinación de sólidos totales.....	46
2.3.1.2.1-3. Determinación de pH.....	47
2.3.1.2.1-4. Determinación de nitrato.....	48
2.3.1.2.1-5. Determinación de nitrito.....	49
2.3.1.2.1-2. Determinación de alcalinidad.....	50
2.3.1.2.1-7. Determinación de sólidos sedimentables.....	51
2.3.1.2.1-8. Determinación de cloruros.....	52
2.3.1.2.2-1. Determinación de Coliformes fecales.....	53
2.4.2.1-1 Análisis físico químico de agua de riego .....	54
2.4.2.1-2 Análisis microbiológico de agua de riego.....	55
2.4.2.1-4 Datos experimentales.....	55
2.4.3-1 Especificaciones de las placas de asbesto cemento.....	55
3.2.1-1 Parámetros dentro y fuera de norma análisis físico químico.....	65
3.2.2-1 Parámetros dentro y fuera de norma análisis microbiológico.....	66
3.2-3-1 Resultado de los cálculos para el dimensionamiento del sedimentador.....	67
3.2.5-1. Resultados de las propiedades del fluido.....	68

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp
1.3.4.1-1 Modelo de decantadores según el sentido de flujo.....	14
1.3.4.2-1 Características de un sedimentador.....	15
1.3.4.4.2-1 Diseño de estructuras de entrada.....	19
1.3.4.4.4-1 Sedimentadores horizontales.....	20
1.3.4.4.5-1 Estructura de salida en sedimentadores rectangular.....	21
1.3.5-1 Fuerzas actuantes.....	23
1.3.6-1 Relación entre $C_D$ y $N_{RE}$ .....	27
1.4.7-1 Rejillas de limpieza manual.....	33
1.4.8-1 Bomba Centrifuga .....	35
3.1.19-1 Sistema de transporte de lodo.....	62
3.3-1 Descripción del sistema de sedimentación.....	69
3.3.-2 Vistas del sedimentador.....	70
3.3-3 Canaletas para el agua decantada.....	71
3.3-4 Dimensión de las placas.....	72
3.3.-5 Diagrama del proceso de sedimentación.....	73
3.3.6. Sistema de transporte de lodos.....	74

## **RESUMEN**

Se diseñó un sistema de tratamiento para la disminución de sólidos tanto sedimentables como flotantes en el sector de Langos Panamericana la Capilla, que son beneficiarios del Sistema de Riego Chambo Guano.

El Canal principal tiene un recorrido de 51 Km desde la bocatoma ubicado en los Ceceles hasta el reservorio 62 situado en el sector de Langos Panamericana la Capilla en la que se observa presencia de material sólido que obstruye el paso del agua y así el normal funcionamiento del sistema, siendo el reservorio el más afectado acumulando  $600\text{m}^3$  anualmente disminuyendo así su capacidad de almacenar.

Para el inicio del estudio, se realizó un diagnóstico, de los problemas que se tiene, para lo cual, se hizo un recorrido a través del canal, observando que existen tramos en las que la pendiente del suelo es susceptible a la erosión.

Una vez identificado el principal problema, se prosiguió a la identificación de las zonas para la toma de muestras y verificar así su calidad.

Seguidamente se realizó el análisis de agua en la ESPOCH, Laboratorio de Análisis Técnico, con los resultados obtenidos se establece que el agua utilizada para el riego contiene un alto porcentaje de material sólido, esto debido a que los parámetros de conductividad es de  $373,71 \mu\text{Sm/cm}$ , turbiedad de  $118,30 \text{ NTU}$ , sólidos totales con  $988,71$

mg/L, sedimentables con 400 mg/L, y los disueltos con 232,08 mg/L los cuales se encuentran fuera de los límites establecidos.

Posteriormente se realizaron los cálculos específicos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento, el cual, consta de un pretratamiento como son la instalación de rejillas, con el cual, se evitará el paso de los sólidos de mayor volumen y de un tratamiento primario el cual consta de un sedimentador con placas, a través del cual, se puede separar los sólidos más densos que el agua.

Es importante que los usuarios beneficiarios del Sistema de Riego Chambo Guano deban capacitarse para un mejor funcionamiento del sistema, siendo ellos los responsables del mantenimiento de las redes de distribución así como del reservorio para un normal funcionamiento.

## SUMMARY

A treatment design was designed to decrease and floating solids in Langos Panamericana La Capilla, the beneficiary of Chambo Guano watering system.

The main canal has an extension of 51 Km since its beginning in los Ceceles until the reservoiro62 located in Langos Panamericana La Capilla, where the solid material is observed blocking the water passing and the normal function of the system, being the reservoir the most affected 600 m<sup>3</sup> per year decreasing its capacity.

At the beginning of the study along the canal, a diagnostic was carried out; from the problems, there are stretches sensitive to erosion.

When the problem was identified, the names of the zones were carried out to take samples and verification of its quality.

After that, an analysis of water at the ESPOCH, Technical analysis Lab, was done and with the results it is established that water contains a high percentage of solid material due to cloudiness parameters of 118,30 NTU., total solids with 988,71 mg/L, settler with 400 mg/L, and dissolving with 232,08 mg/L, found out the established limits.

Specific calculi to dimension the treatment system were carried out with a pretreatment such as grating install to avoid volume and a primary treatment where a settler of plates for separating solids denser that water.

It is important for beneficiaries of the watering system Chambo Guano prepare with a good system function be responsible of the net maintaining for a normal function.

## INTRODUCCIÓN

El agua es imprescindible para la vida; por ello, desde que tenemos referencias históricas, las grandes civilizaciones se desarrollaron principalmente a lo largo de importantes ríos. En estos lugares no solo disponía de agua, sino que también podían cultivar las plantas que necesitaban.

El agua para el riego ha tenido y tiene una importancia económico-social, desde los inicios de la civilización asegurando y diversificando la producción agrícola, y permitiendo en muchos casos, la permanencia de la población rural en sus propios sectores.

El riego es un factor de trascendental importancia para asegurar e intensificar la producción agrícola. En el Ecuador, los sistemas de riego, en su mayoría de tipo campesino, destinan la producción para autoconsumo y abastecimiento de alimentos estratégicos para la canasta básica, lo que destaca su importancia para la seguridad y soberanía del país. Sin embargo ellos enfrentan problemas de carácter técnico y estructural que limita su desarrollo. Ante la necesidad de estudiar su importancia, limitantes, desafíos, se desarrolló la ponencia “Riego campesino” presentada en el Quinto Encuentro Nacional del Foro de los Recursos Hídricos, Quito- Ecuador, 2008.

El tratamiento de aguas, es un proceso en el cual se incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el

ambiente y un residuo sólido o fango también convenientes para los futuros propósitos o recursos.

La mayoría de las fuentes superficiales de agua tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión, siendo necesaria su remoción previa, especialmente en temporada de lluvias.

Los procedimientos de separación de material muy grueso (rejillas: gruesas y finas) se realizan o están relacionados a las captaciones. Se considera como pretratamientos y acondicionamientos previos en la planta, a unidades como desarenadores y sedimentadores.

En estas unidades se considera que las partículas, aun siendo de diferentes tamaños, se comportan como partículas discretas y aisladas.

La sedimentación es un proceso muy importante. Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento.

Con el tratamiento primario principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua.

Dentro de estos sólidos en suspensión pueden distinguirse:

Los sólidos sedimentables: son los que sedimentan al dejar el agua en condiciones de reposo durante una hora, este tiempo también depende del tamaño del sedimentador.

En los procesos de tratamiento del agua, las rejillas se utilizan para proteger, tuberías y otros elementos, contra posibles daños y obturaciones ocasionadas por objetos de gran tamaño como trapos y palos.

El proceso de sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y tiene una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración, en cambio, separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua, o que han sido resuspendidos por cualquier causa en el flujo, y que por tanto no quedan removidos en el proceso anterior.

Es más económico remover la mayor cantidad de sólidos en la sedimentación y sólo una mínima parte en la filtración.

## JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza en el sector de Langos Panamericana la Capilla, lugar donde se tiene un reservorio de agua para riego en la que existen problemas por la presencia de materiales sólidos que acarrea el agua.

El presente trabajo se realiza con la finalidad de diseñar un sistema de tratamiento para el Sistema de Riego Chambo Guano, pues la acumulación de material sólido disminuye la capacidad de volumen almacenamiento, además estos adhieren en las tuberías de distribución, por lo que el mantenimiento es constante.

A través de todo el recorrido del Canal principal del Sistema de Riego Chambo Guano existen tramos en el cual se produce el deslizamiento continuo de materiales, siendo arrastrados por la corriente de agua, específicamente sólidos sedimentables, que afecta al sistema poniendo en riesgo el normal abastecimiento del agua para el sector.

Con un sistema de tratamiento se va a mejorar la calidad del agua, evitar la acumulación de materiales sólidos, el mantenimiento del sistema se mejorará como es el tiempo de limpieza del reservorio que se realiza anualmente, disminuirá pérdidas económicas por el uso de mano de obra, combustible, entre otros, también se mejorará el ciclo de riego, se disminuirá la contaminación de los suelos evitando la toxicidad de los productos, y por ende el problema de salud.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar el diseño de un sistema de tratamiento para la disminución de sólidos en el Sistema de Riego Chambo Guano Sector Langos Panamericana la Capilla.

### **ESPECIFICOS**

- Hacer un diagnóstico de las condiciones a las que se encuentra el Sistema de Riego Chambo Guano Sector Langos Panamericana la Capilla.
- Caracterizar el agua de riego en el Sistema de Riego Chambo Guano Sector Langos Panamericana la Capilla.
- Identificar las variables de proceso para su dimensionamiento.
- Diseñar el sistema de tratamiento.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1. Generalidades

De acuerdo a lo establecido por el Instituto Nacional de Riego el caudal concesionado para riego en Ecuador ha crecido apenas en dos años (2005-2007) en el 13%. En este último año, el caudal autorizado alcanzo a 479 m<sup>3</sup>/s a través de 31519 concesiones, es decir a un promedio de 15 L/s.<sup>1</sup>

En el Ecuador presenciamos, en las tres últimas décadas, dos fenómenos que alcanzan de manera simultánea, la intensificación en el uso del agua para la agricultura y la masificación de la producción bajo riego en ciertos renglones y regiones, como medio para alcanzar altas cuotas de plusvalías a favor del gran capital. Las condiciones climatológicas cambian ostensiblemente en las últimas décadas debido al calentamiento global y también a la ampliación de la frontera agrícola en nuestro país. Ahora en los cultivos de exportación de toda o casi toda la superficie es bajo riego. El área regada cubría en el año 2000, nada menos que el 79% al 100% del total cultivada.

El Sistema de Riego Chambo, situado en los cantones de Riobamba Guano (provincia de Chimborazo) trae un origen de un Canal principal de aproximadamente 51 Km, desde la bocatoma ubicada en Ceceles hasta la compuerta de acceso a los reservorios 62 y 63, que

---

<sup>1</sup>INAR: Instituto Nacional de Riego

domina una planicie ondulada de una altura promedio de 2750 m.s.n.m. El área geográfica es de 10000 has.

La construcción del canal principal inicio en 1944, a cargo de la Caja Nacional de Riego, transformada luego en el instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI). La obra, con una longitud en ese entonces de 63 Km, fue realizada parte en corte abierto y parte en túneles, sin algún revestimiento, con excepción de unos tramos críticos.

En 1952 se completó el desarrollo de unas primeras zonas de regadío, que fueron ampliadas paulatinamente durante los 30 años sucesivos. A partir de 1982, el proyecto Chambo I financiado por la Comunidad Europea y el Proyecto Chambo- Guano financiado por el gobierno Italiano, implementaron las 7 zonas de riego que existen actualmente; cobertura del servicio alcanzó 3000 ha., sobre los 7000 ha., previstos en varios estudios, de esta el 70% de tierras son aptas para el riego, con la irrigación se puede compensar el déficit hídrico de cualquier cultivo implantado en la zona.

En diciembre de 1987, entre la comunidad Europea y la República del Ecuador representada por INERHI, se firmó el convenio de financiación para la realización del proyecto Chambo Desarrollo Agrícola, segunda fase de intervención de la C.E en la zona, con el propósito fundamental de promover el desarrollo socio-económico de la población beneficiada (5000 familias).

En los cinco años de duración (1990-1995), el Proyecto Chambo Desarrollo Agrícola realizó un amplio programa de actividades articulado en el marco de dos ejes fundamentales de trabajo: a) el mejoramiento del sistema de riego; b) la puesta en marcha

de un proceso dinámico de mejoramiento de la agricultura y de promoción de acciones autogestionarias por parte de los grupos beneficiarios.

A la fecha, el Sistema de Riego Chambo Guano se presenta como una zona de agricultura floreciente, en donde los aspectos de mayor impacto son representados por la construcción de nuevas viviendas y otros edificios rurales, el regreso ya mencionados de los inmigrantes, y la participación activa de los usuarios en la solución de problemas que conciernen al funcionamiento del servicio.

El recorrido del Canal se desarrolla en gran parte a lo largo de las laderas inestables, de las que se origina un deslizamiento continuo de materiales en el cauce, y derrumbes de magnitud; al mismo tiempo, en tramos de varios Km de longitud el Canal no tiene pendiente adecuada ni dispone de obras complementarias necesarias para evitar el depósito de grandes cantidades de sedimentos.

Esta situación provoca interrupciones del servicio de riego y obliga al proyecto y a la Corporación de las Juntas a intervenir con equipo pesado, técnicos y trabajadores voluntarios, postergando otras operaciones programadas (en 1996, se desalojaron del cauce más de 13000 m<sup>3</sup> de materiales).

En conclusión, el área del Chambo no puede desarrollar plenamente su potencial productivo, más valioso aún si se considera que en los últimos años, la desertificación está avanzando en el Sur del País con consecuencias dramáticas; además existe el riesgo de que daños muy graves a cargo del Canal principal, puedan anular las inversiones y los esfuerzos empeñados en el Sistema de riego.

En el área viven alrededor de 5000 familias de agricultores, las mismas que han dejado de emigrar en forma temporal o definitiva, debido a que las condiciones de riego cambiaron totalmente a partir del año 1994 cuando se concluyeron los trabajos de empate de los túneles y la adecuación de la bocatoma del sistema para garantizar la captación de 5 m<sup>3</sup>/s de agua en forma permanente , por lo cual muchos terrenos que se encontraban abandonados o subutilizados se incrementaron a la producción agropecuaria.

## **1.2. SISTEMA DE RIEGO**

### **1.2.1. Definición del riego**

El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies. En sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequia de corta duración.
- Refrigerar el suelo y la atmosfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.

### **1.2.2. Importancia del riego**

La importancia del riego en los tiempos actuales ha sido definida con precisión. En muchos países el riego es un arte antiguo, tanto como la civilización, pero para la humanidad es una ciencia, la de sobrevivir.

La presión demográfica y las necesidades de cantidades adicionales de alimento imponen el desarrollo rápido del regadío en todo el mundo, que, si bien reviste capital interés para las regiones de más acusada aridez, no hay que olvidar cada vez más importante que desempeña en las regiones húmedas.

### **1.2.3. Método de riego**

El riego puede realizarse de diferentes formas:

- Por inundación o a manta.
- Por surcos o tablares anchos o estrechos.
- Por riego subterráneo, lo que hace que la capa de agua ascienda.
- Por aspersión, el riego por aspersión rocía el agua en gotas por la superficie de la tierra, asemejándose al efecto de la lluvia.
- Por goteo o riego localizado. El riego de goteo libera gotas o un chorro fino, a través de los agujeros de una tubería plástica que se coloca sobre o debajo de la superficie de la tierra.

El de riego es un complemento de otras procedentes de las fuentes siguientes y cuya importancia y existencia no pueden ser ignoradas a la hora de calcular las condiciones de agua para riego:

- Precipitaciones
- Aguas atmosféricas no procedentes de precipitaciones
- Aguas superficiales
- Aguas subterráneas

#### **1.2.4. Fuentes del agua para riego**

El agua de riego se obtiene de: ríos, lagos, pozos o corrientes continuas de agua naturales, de estaciones depuradoras de aguas residuales, por procesos de desalinización del agua del mar y, en menor medida, de lagos salados, que poseen el riesgo de salinizar las tierras, estaciones depuradoras y trasvases de agua procedentes de otras cuencas. Se distribuye por acequias o por tuberías a presión.

#### **1.2.5. Calidad del agua para irrigación**

Los suelos tienen sales solubles que provienen de la descomposición de las rocas de donde originan y de las incorporadas con el agua de riego y aguas provenientes del suelo.

La calidad de agua para riego depende no solo de su contenido en sales, sino también del tipo de sales. Los problemas más comunes derivados de la calidad de agua se relacionan con los siguientes efectos:

- Salinidad
- Infiltración del agua en suelo
- Toxicidad

#### **1.2.6. Relación de agua- suelo- planta**

Las relaciones entre el agua, el suelo y las plantas que son de particular importancia en la agricultura de riego incluyen:

- a. La capacidad del suelo para retener agua y permanecer bien drenado.
- b. Las características del flujo de agua en los suelos.

- c. Las propiedades físicas del suelo incluyendo la materia orgánica, profundidad del suelo, textura del suelo, la estructura del suelo.
- d. Propiedades químicas del suelo incluyendo la concentración del agua localizada en el suelo.

### **1.2.7. Calidad del agua en relación del suelo**

En primer punto de atención, cualquiera que sea la fuente, debe ser la calidad química del agua. En caso de encontrar altos contenidos de sales.

Debe verificarse si se encuentra dentro de los límites permisibles o si debe descartarse el agua por no ser apta para fines de riego.

Pues, al regar, el agricultor no solo lleva agua a su parcela, sino también las sales disueltas en ella. El agua es consumida por la planta o se evapora directamente, pero las sales se quedan y se acumulan en el suelo y en la superficie (por precipitación directa y por acción capilar del suelo). Haciendo imposible la vida a las plantas.

### **1.2.8. Análisis de agua para riego**

Para determinar la calidad de agua de riego es necesario conocer las características de la misma, lo que se obtiene mediante su análisis. Dicha determinación debe incluir:

- Contenido total de sales, expresado por la conductividad eléctrica CE. Como ya se ha dicho se suele expresar en dS/m. por variar con la temperatura se debe efectuar su determinación a 25 C.

- ➔ Análisis químico de los principales iones: sodio, calcio magnesio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. En ciertos casos se añaden también otros elementos como potasio o nitratos.
- ➔ pH
- ➔ Contenido en sustancias tóxicas, principalmente boro.

No se incluyen determinaciones de oligoelementos, salvo que se soliciten explícitamente, en caso de sospechar que alguno de ellos existe en cantidad que pueda provocar daños al cultivo.

Las cantidades de iones existentes se suelen expresar en miliequivalentes (meq) o en miligramos (mg) en cada litro, no existiendo una norma exacta al respecto. En general cloruros y sulfatos se suelen expresar en miligramos y el resto en miliequivalentes.

Los análisis de laboratorio requeridos para utilizar las directrices técnicas, así como valores normales de estos análisis en aguas de riego, vienen especificados en la tabla 1.2.8-1.

**Tabla 1.2.8-1.**

**Valores normales de análisis de agua de riego (FAO)**

<b>Análisis</b>	<b>Límite máximo permisible</b>	<b>Unidad</b>
<b>Salinidad:</b>		
Conductividad eléctrica	0-3	dS/m
Total de sólidos en solución	0-2000	mg/L
Calcio	0-20	meq/L
Magnesio	0-5	meq/L
Sodio	0-40	meq/L
Carbonato	0-0,1	meq/L
Bicarbonato	0-10	meq/L
Cloruro	0-30	meq/L
Sulfatos	0-20	meq/L
<b>Nutrientes:</b>		
Nitrógeno (nitrato)	0-10	mg/L
Nitrógeno (amonio)	0-5	mg/L
Fosforo (fosfato)	0-2	mg/L
Potasio	0-2	mg/L
<b>Varios:</b>		
Boro	0-2	mg/L
pH	0-8,5	
RAS	0-15	

FUENTE: Castañón G., 1805

En aguas para riego localizado deben hacerse, además de los anteriores, los siguientes análisis:

- a. En aguas superficiales: sólidos en suspensión
- b. En aguas que contienen aguas residuales: demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, materia orgánica y microorganismos.

- c. En aguas subterráneas, sobre todo cuando la salinidad es superior a 1dS/m: hierro, oxígeno disuelto, ácido sulfúrico, ferrobacterias y bacterias reductoras de sulfato.

Los análisis requieren tomar una muestra representativa del agua a analizar, para lo cual se seguirán las normas siguientes:

- a. El recipiente de recogida será de vidrio o de plástico, con una capacidad de litro a litro y medio, y se limpiara escrupulosamente con agua objeto de la muestra.
- b. En ríos y embalses se recogen varias tomas en diferentes puntos representativos y se mezclan en una sola muestra. En el supuesto de recoger una sola toma se hará en centro de la corriente de río.
- c. Tomar la muestra antes de ser llevada al laboratorio, ya los resultados de los análisis serán tanto mejores cuanto menor sea el intervalo de tiempo transcurrido entre la recogida de la muestra y el análisis. Será preferible que este intervalo no exceda de 24 horas.
- d. A ser posible, antes de tomar la muestra, ponerse en contacto con el laboratorio, para informarse.
- e. Cerrar el envase y etiquetarlo, para su perfecta identificación.

### **1.2.9. Riesgo de obstrucciones en riego localizado**

Las obstrucciones de los emisores de riego localizado pueden ser producidas por sólidos en suspensión, sustancias químicas y microorganismos contenidos en el agua de riego. Cuando actúan a la vez varios de estos elementos, la solución del problema resulta más difícil.

En la tabla 1.2.9-1 se incluye una escala de valores orientativos para identificar situaciones problemáticas. Las situaciones sin problema se refieren a aquellas donde hay una solución factible desde el punto de vista económico. En las situaciones de problema creciente se precisa hacer ensayos para determinar el coste de posibles soluciones.

**Tabla 1.2.9-1**

**Riesgo de obstrucciones en riego localizado**

<b>Obstrucciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Sin problema</b>	<b>Problema creciente</b>	<b>Problema grave</b>
Física: Sólidos en suspensión	mg/L	< 50	50-100	
Química: pH		< 7	7-8	> 8
sólidos solubles	mg/L	< 500	500-200	> 2000
manganeso	mg/L	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
hierro	mg/L	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
ácido sulfúrico	mg/L	< 0,5	0,5-2	> 2
Biológica: Poblaciones bacterianas	Max n/mL	< 10000	10000-50000	> 50000

FUENTE: Castañón G., 1805

Las partículas sólidas en suspensión se eliminan mediante sedimentación y filtración. Los precipitados químicos, que se producen por exceso de carbonatos o sulfatos de calcio o de magnesio y por la oxidación de hierro, se ven favorecidos por faltas de temperaturas y valores altos del pH.(2)

## **1.3. TRATAMIENTO DE AGUA**

### **1.3.1. Pretratamiento y acondicionamiento previos**

El sistema de pretratamiento es una estructura auxiliar que debe preceder a cualquier sistema de tratamiento. Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo las aguas.

La mayoría de las fuentes superficiales de agua tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión, siendo necesaria su remoción previa, especialmente en temporada de lluvias.

Los procedimientos de separación de material muy grueso (rejillas: gruesas y finas) se realizan o están relacionados a las captaciones. Se considera como pretratamientos y acondicionamientos previos en la planta, a unidades como desarenadores y sedimentadores.

En estas unidades se considera que las partículas, aun siendo de diferentes tamaños, se comportan como partículas discretas y aisladas.

La sedimentación es un proceso muy importante. Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento ya que elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el medio filtrante causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros.

### **1.3.2. Tratamiento primario**

Principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua.

Dentro de estos sólidos en suspensión pueden distinguirse:

- ➔ Los sólidos sedimentables: son los que sedimentan al dejar el agua en condiciones de reposo durante una hora, este tiempo también depende del tamaño del sedimentador
- ➔ Los sólidos flotantes: definibles por contraposición a los sedimentables.
- ➔ Los sólidos coloidales (tamaño entre 10-3-10 micras).

Como, en general, parte de los sólidos en suspensión están constituidos por materia orgánica.

### **1.3.3. Rejillas**

En los procesos de tratamiento del agua, las rejillas se utilizan para proteger, tuberías y otros elementos, contra posibles daños y obturaciones ocasionadas por objetos de gran tamaño como trapos y palos. Generalmente tienen aberturas (separación entre barras) superiores a ½ pulg (12,5mm). (3)

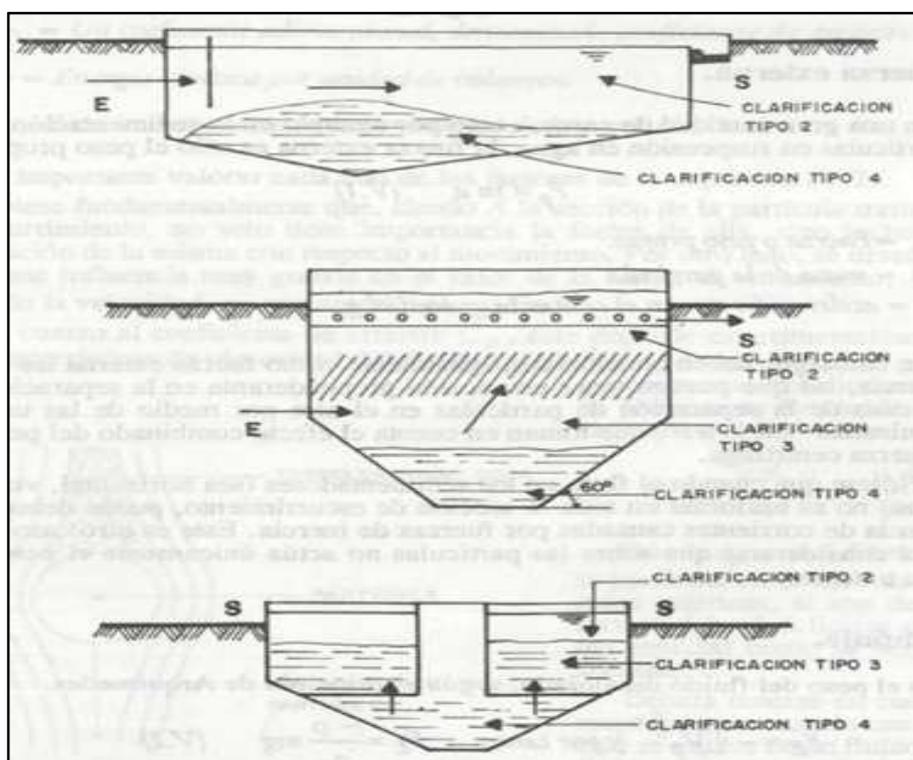
### **1.3.4. Sedimentación del agua**

La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y que tiene una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración, en cambio, separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua, o que han sido resuspendidos por cualquier causa en el flujo, y que por tanto no quedan removidos en el proceso anterior.

Hasta qué límite de turbiedad debe remover la sedimentación y qué turbiedad debe entrar al filtro, es asunto de debate. Todo depende del trabajo que se quiera dar a cada proceso.

Según el tipo de filtro que se use, puede ser más económico remover la mayor cantidad de sólidos en la sedimentación y sólo una mínima parte en la filtración, o remover, en cambio, un porcentaje de sólidos relativamente bajo en la sedimentación (disminuyendo el tamaño de los tanques) y dejando el resto del trabajo a la filtración.

#### 1.3.4.1. Modelo de decantadores según el sentido de flujo



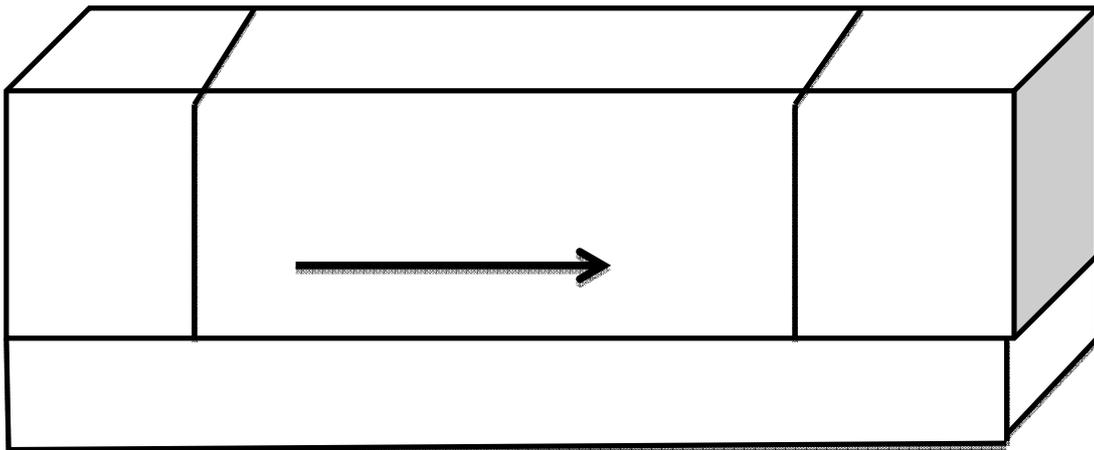
**Fig.1.3.4.1-1 Modelo de decantadores según el sentido de flujo**

#### 1.3.4.2. Sedimentación convencional: modelo Hazen y Camp

El modelo responde a las siguientes características figura 2.

1. Se identifican en el tanque de sedimentación cuatro zonas independientes: de Entrada, de Salida, de Sedimentación y de Retención de partículas sedimentadas.

2. Hay una distribución uniforme de partículas en la entrada. La concentración de partículas de cada tamaño es por lo tanto la misma en todos los puntos de la sección transversal de entrada.
3. En la zona de sedimentación la dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, por lo que responde a un modelo de flujo tipo pistón.
4. Toda partícula que entra a la zona de lodos queda atrapada y se considera removida.
5. Las partículas, aun siendo de diferentes tamaños, se comportan como partículas discretas y aisladas en la zona de sedimentación.



**Fig. 1.3.4.2-1. Características de un sedimentador**

Ahora bien, el sedimentador ideal se diseña para eliminar el 100 % de partículas que tengan una determinada velocidad de sedimentación crítica  $v_{sc}$  o mayor, que son las que estando en las posiciones extremas de la zona de sedimentación son retenidas en las posiciones extremas de la zona de lodos.

$$CS = \frac{Q}{A_s} \quad \text{E.c. 1.3.4.2-1}$$

$A_s$  = Área superficial del sedimentador

Al cociente  $Q/A_s$  que tiene esencialmente dimensiones de velocidad se lo denomina carga superficial y se lo expresa en:

$$\frac{m^3}{m^2 \cdot d} = \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$$

### 1.3.4.3. Sedimentadores de placas paralelas

Para flujo laminar entre placas paralelas según Streeter la longitud relativa efectiva del sedimentador es:

$$L = l/d \quad \text{E.c. 1.3.4.3-1}$$

l: longitud de placa m

d: distancia entre placas m

La existencia de la región de transición obliga a tener en cuenta la longitud relativa  $L'$ , en flujo laminar  $L_c$ , con lo cual se provee un factor de seguridad en el diseño:

$$L' = \frac{0,013v_0 d}{\nu} \quad \text{E.c. 1.3.4.3-2}$$

$\nu$ : viscosidad cinemática  $m^2/s$

$$L_c = L - L' \quad \text{E.c. 1.3.4.3-3}$$

$L_C$ : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición.

El tiempo de retención se calcula por expresión:

$$t = \frac{l}{v_o} \text{E.c. 1.3.4.3-4}$$

Dónde:

t = tiempo de retención (s)

$v_o$  = velocidad promedio del fluido en el sedimentador de alta tasa (m/s)

Mientras que el número de placas será calculado por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(L_s - l \cos \theta) + d}{d + e} \text{E.c. 1.3.4.3-5}$$

Dónde:

N = número de placas

$L_s$  = longitud del sedimentador (m)

l = longitud de la placa (m)

d = espacio entre placas (m)

e = espesor de la placa (m)

#### **1.3.4.4. Componentes de un sedimentador**

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas.

#### **1.3.4.4.1. Zona de entrada**

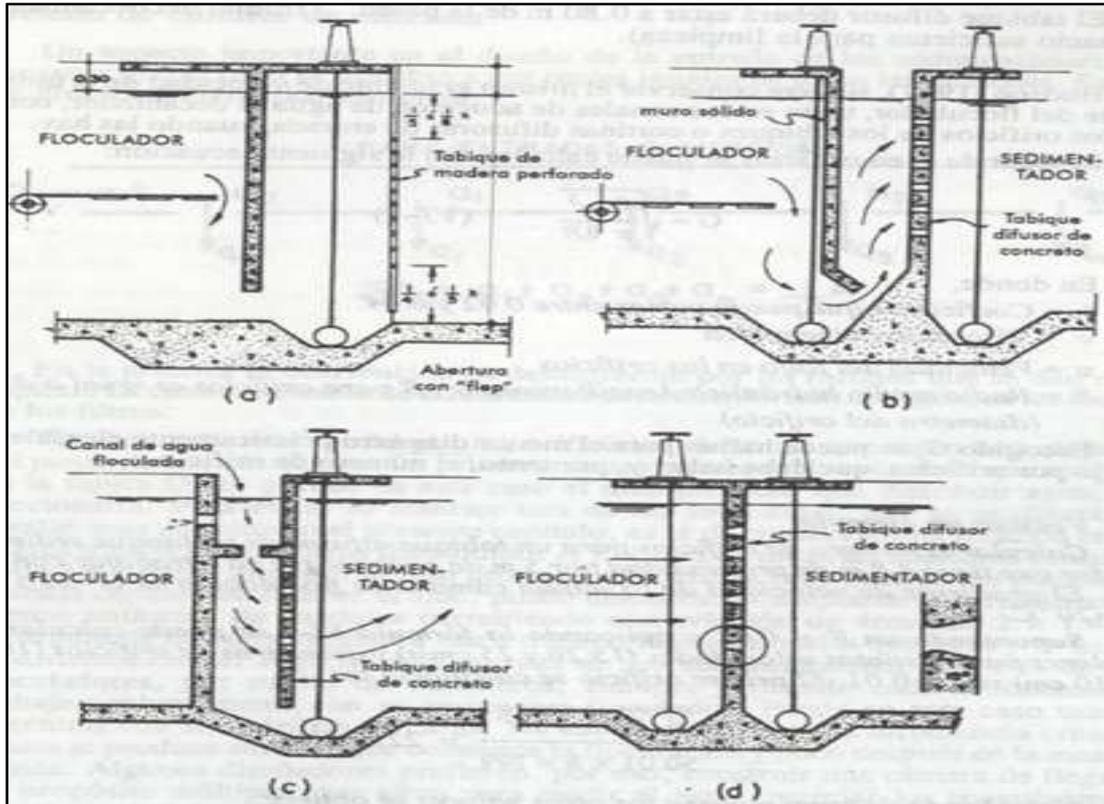
Propósito de la estructura de entrada es:

- Distribuir el agua tan uniformemente como sea posible en toda el área transversal del sedimentador.
- Evitar chorros de agua que puedan provocar movimientos rotacionales de la masa líquida u otras corrientes cinéticas.
- Disipar la energía que trae el agua.
- Evitar altas velocidades que puedan perturbar los sedimentos del fondo.

#### **1.3.4.4.2. Diseños de estructuras de entrada**

No existe ningún diseño de estructura de entrada a un decantador que se pueda considerar como ideal. Todos, en mayor o menor grado, pueden tener ventajas e inconvenientes que hay que analizar en cada caso.

La figura 1.3.4.4.2-1 presenta algunos esquemas. Las estructuras a, b y c constan de muros dobles y la d de muros sencillos.



**Fig. 1.3.4.4.2-1 Diseño de estructuras de entrada**

Las primeras tienen la ventaja sobre la segunda de evitar que la turbulencia creada en el floculador por las paletas se transmita hasta el sedimentador. Son, sin embargo, un poco más costosas. La estructura d es más sencilla, pero proyecta chorros de agua inestables dentro de la masa de agua del sedimentador.

### **1.3.4.4.3. Diseño de canales de entrada**

Un aspecto importante en el diseño de la entrada de los sedimentadores, es asegurar que el flujo se distribuya por partes iguales en todas las unidades.

### **1.3.4.4.4 Zona de sedimentación: factores que deben considerarse:**

- Carga superficial

- Periodo de detención y profundidad
- Forma de los sedimentadores
- Velocidad horizontal de escurrimiento y relación largo- profundidad
- Número de unidades

#### **a. Carga Superficial**

La carga superficial no es sino la velocidad crítica mínima de sedimentación  $Q/A$ , que se espera que en promedio tenga un cierto porcentaje (70-98%) de partículas de la suspensión y depende de:

- Calidad del agua cruda (si predomina el color o la turbiedad).
- Forma y tipo de sedimentador que se adopte.
- Cuidado en el control del proceso.
- Grado de eficiencia que se desee.

#### **b. Período de detención y profundidad**

El periodo de detención es el tiempo máximo que la partícula con la mínima velocidad de sedimentación escogida, tarda en llegar hasta el fondo. Por tanto, es directamente dependiente de la profundidad del tanque. Cuanto menor sea la profundidad, menor será el periodo de detención necesario para recolectar dicha partícula.

#### **c. Forma de los sedimentadores**

Los sedimentadores pueden tener forma: rectangular o circular. Los primeros son los que se usan más comúnmente en plantas de tratamiento de agua (véase la figura 1.3.4.4-1). Los tanques largos suelen dar los mejores resultados. La relación ancho-largo varía entre 1-2,5 y 1-10. Más frecuentemente, entre 1-4 y 1-5. Para conservar esta relación, cuando la forma

del tanque tiene un  $a/L$  diferente, se suelen intercalar tabiques longitudinales, hasta los  $2/3$  de la profundidad.

#### d. Velocidad horizontal y relación largo-profundidad de la zona de sedimentación

La velocidad horizontal en sedimentadores rectangulares produce dos efectos opuestos:

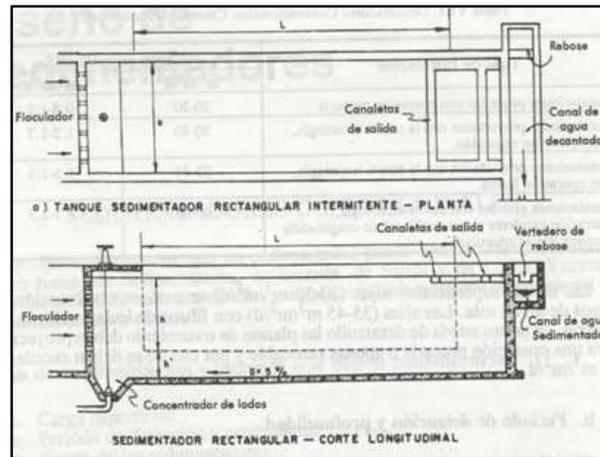


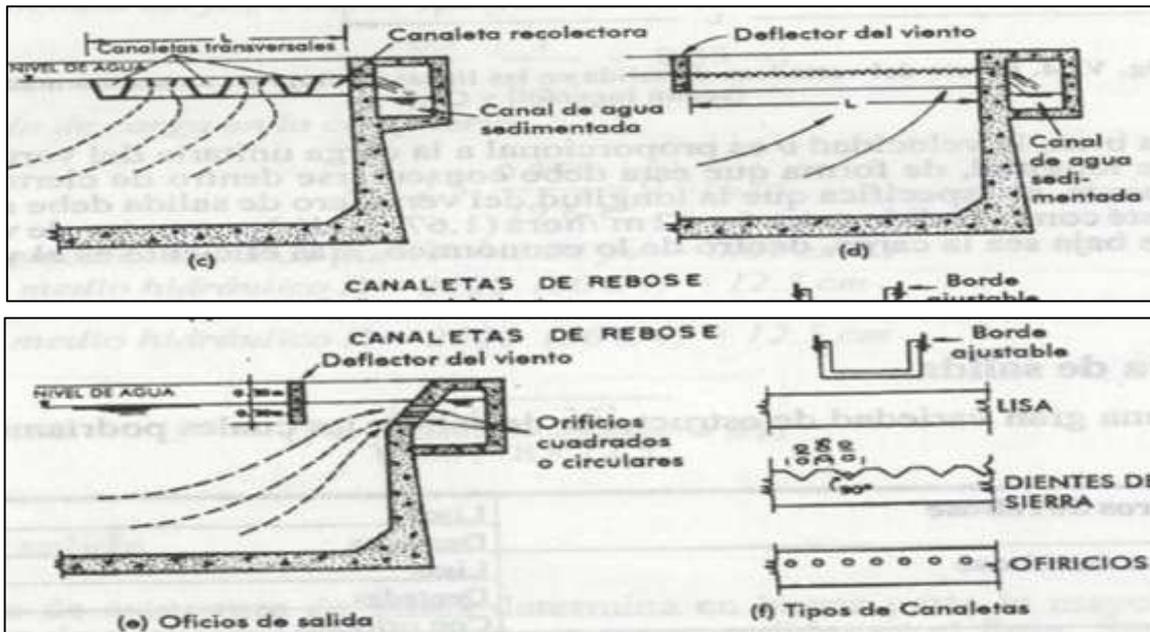
Fig. 1.3.4.4-1 Sedimentadores horizontales

#### e. Número de unidades

En toda la planta debe haber por lo menos dos unidades de sedimentación, de tal forma que cuando se suspenda una se pueda seguir trabajando con la otra.

#### 1.3.4.4.5. Zona de salida

El tipo de estructura de salida determina en buena parte la mayor o menor proporción de partículas que pueden ser resuspendidas en el flujo. Sin embargo, estas perturbaciones afectan sólo la masa de agua que está al final del decantador; en cambio, las de la entrada pueden afectar toda la masa líquida.



**Fig.1.3.4.4.5-1 Estructura de salida en sedimentadores rectangulares**

#### 1.3.4.4.6. Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica

#### 1.3.4.5. Placas de asbesto cemento

Las placas de asbesto-cemento, cuyo tamaño normal es de 1,20 m de ancho por 2,40 m de largo, han sido, sin lugar a dudas, el material comúnmente utilizado por su bajo costo, su resistencia a la corrosión y su disponibilidad en todos los países. Inicialmente se usaron láminas de 10 mm de espesor pero después se vio que eran también adecuadas las de 6 mm a 8 mm siempre y cuando hayan sido fabricadas con fibra de asbesto largo. Pruebas hechas en Santiago de Chile mostraron que una lámina de 6 mm y 2,40 m de largo apoyada dos centímetros en cada punta, puede resistir más de 80 kg, de carga al centro sin romperse ni deformarse. Esto es más que suficiente para los efectos prácticos.

Lateralmente la lámina de asbesto-cemento de 6 mm se pandea hasta producir una flecha mayor de 5 cm al ser colocada con una inclinación de 60°, cuando está soportada solo en sus dos extremos y el pandeo es aún mayor cuando el ángulo es de 45°. Para evitar esto suele colocársele uno o dos separadores al centro de las placas de forma que se apoyen unas sobre las otras y eviten así una deflexión excesiva. Estos separadores se han hecho en algunos casos con listones de madera de 5 a 6 cm de alto (según el espaciamiento de las placas) por 2,5 cm de espesor y 1,20m de largo. (3)

### 1.3.5. Fuerzas actuantes de la partícula

Sobre una partícula cualquiera en movimiento en un fluido en reposo, actúan las siguientes fuerzas: 1- Fuerzas externas, 2- Empuje, 3- Fuerza de rozamiento

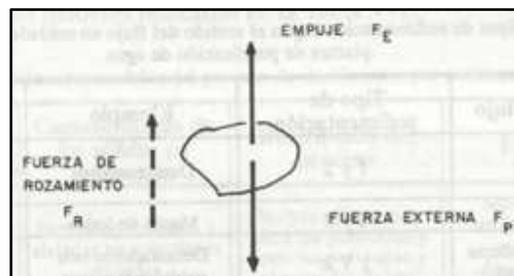


Fig. 1.3.5-1 Fuerzas actuantes

#### 1.3.5.1. Fuerza externa.

En una gran cantidad de casos, como por ejemplo en la sedimentación simple de partículas en suspensión en agua, la fuerza externa es sólo el peso propio.

$$F_p = ma \quad \text{E.c. 1.3.5.1-1}$$

$F_p$  = Fuerza o peso propio,

$m$  = masa de la partícula

$a$  = aceleración que en el caso es la gravedad  $g$ .

Sin embargo, deben considerarse igualmente como fuerza externa las fuerzas de inercia, las que pueden tener una acción preponderante en la separación. Tal es el caso de la separación de partículas en el aire por medio de las unidades denominadas "Ciclones", que toman en cuenta el efecto combinado del peso y de una fuerza centrífuga.

Nótese que cuando el flujo en los sedimentadores (sea horizontal, vertical u oblicuo) no es uniforme en toda la sección de escurrimiento, puede deberse a la presencia de corrientes causadas por fuerzas de inercia. Este es otro caso en que deberá considerarse que sobre las partículas no actúa únicamente el peso como fuerza externa.

#### **1.3.5.2. Empuje.**

Es el peso del fluido desalojado, según el principio de Arquímedes.

$$F_E = -\gamma V_p \text{ por tanto } F_E = \frac{\rho}{\rho_p} mg \text{ E.c. 1.3.5. 2-1}$$

En donde:

$V_p$  = Es el volumen de la partícula.

$\gamma$  = Peso específico del fluido,

$\rho$  = Densidad del fluido

$\rho_p$  = Densidad de la partícula.

### 1.3.5.3. Fuerza de rozamiento

Actúa siempre y cuando la partícula esté en movimiento relativo respecto al fluido. Su dirección es la misma que la velocidad de la partícula pero de sentido contrario.

Experimentalmente Newton encontró que:

$$F_R = C_D A \rho \frac{v^2}{2} \quad \text{E.c. 1.3.5.3-1}$$

Siendo:

$C_D$  = Un coeficiente adimensional, denominado coeficiente de arrastre.

$\frac{v^2}{2}$  = Energía cinética por unidad de volumen.

$A$  = Sección transversal al escurrimiento de la partícula.

Es importante valorar cada uno de los factores de la (Ecuación 1.3.5.3-1)

Nótese fundamentalmente que, siendo  $A$  la sección de la partícula transversal al escurrimiento, no solo tiene importancia la forma de ella, sino inclusive la orientación de la misma con respecto al movimiento. Por otro lado, se destaca que tiene una influencia muy grande en el valor de la fuerza de rozamiento,  $F_R$ , el valor de la velocidad,  $v$ , que aparece al cuadrado.

En cuanto al coeficiente de arrastre  $C_D$ , éste depende experimentalmente de las características de viscosidad del fluido y de la forma de las partículas y puede generalmente relacionarse con su Número de Reynolds expresado así:

$$N_{Re} = \frac{v \cdot \phi_p \cdot \rho_f}{\mu} \text{E.c.1.3.5.3-2}$$

Donde

$\phi_p$ : Diámetro de la partícula en el caso de partículas esféricas; si son de otras formas deberá definirse en forma especial como se verá más adelante.

$v$  : Velocidad de flujo

$\rho_f$ : Densidad de flujo

$\mu$  : Viscosidad del fluido

Deberá tenerse en cuenta al respecto, que cuando una partícula se mueve en un fluido (o un fluido se mueve alrededor de una partícula), y el  $N_{Re}$  es bajo, se forma entre la partícula y el fluido una capa límite de tipo laminar y actúa fundamentalmente la viscosidad.

Para valores mayores del  $N_{Re}$  esto es, a mayor velocidad de caída se forma en la superficie superior de la partícula una estela, donde tienen lugar turbulencias que crean diferencias de presión por lo que predomina el mecanismo de arrastre.

### 1.3.6. Caso de partículas esféricas

En este caso se tendrá:

$$A = \frac{\pi \phi_p^2}{4} \text{Cualquiera sea la orientación de la partícula}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{4g}{3 C_D}} (S_s - 1) \phi_p \text{ E.c. 1.3.6-1}$$

$$S_p = \frac{\rho_p}{\rho_f}$$

Dónde:

$v_s$ : diámetro de la partícula

$S_p$ : Densidad relativa de la partícula

En general, la velocidad para sedimentadores de tasa alta, la velocidad crítica de asentamiento está dado por:

$$v_{sc} = \frac{S_c v_o}{\text{Sen}\theta + L\text{Cos}\theta} \quad \text{E.c. 1.3.6-2}$$

$\theta$ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa

$S_c$ : 1.0 para sedimentadores de placas paralelas

La velocidad promedio del fluido  $v_o$  en el elemento de sedimentación de alta tasa se obtiene dividiendo el caudal que entra al decantador por su área horizontal que hay que proyectar perpendicularmente a las placas.

O sea que:

$$v_o = \frac{Q}{\text{Sen}\theta * A_h} \quad \text{E.c. 1.3.6-3}$$

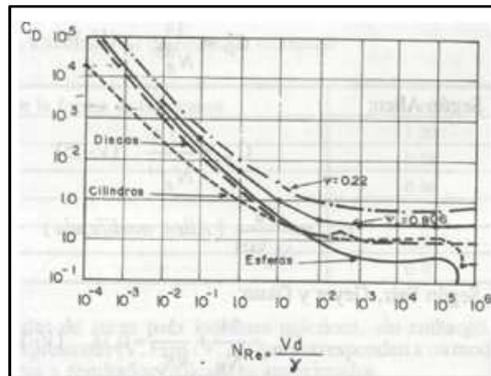
Dónde:

$A_h$  = área horizontal ( $\text{m}^2$ )

### 1.3.7. Valores del coeficiente de arrastre, $c_d$

Como ya hemos expresado  $C_D$  es función de la forma de las partículas y del Número de Reynolds,  $N_{Re}$

Las relaciones entre  $C_D$  y  $N_{Re}$  para cinco casos diferentes están graficados en la figura



**Fig. 1.3.6-1 Relación entre  $C_D$  y  $N_{RE}$**

En dicha figura se pueden apreciar tres zonas bastante definidas: a- Una zona de régimen laminar, b-Una zona de régimen turbulento y c- Una zona de régimen de transición o zona intermedia.

a. para la zona de régimen laminar, o sea con  $N_{Re} < 0,5$

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} \quad \text{E.c. 1.3.6-1}$$

y en este caso la ecuación 7 quedaría así para partículas esféricas:

$$v_s = \frac{g}{18} (s_s - 1) \frac{\phi_p^2}{\nu} \quad \text{E.c. 1.3.6-2} \quad (4)$$

## **1.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

### **1.4.1. Viscosidad**

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. La ecuación que rige viene dada por:

$$\mu = \frac{(\rho_s - \rho_f) \phi^2}{18v} \quad \text{E.c. 1.4.1-1}$$

Dónde:

$\mu$  = viscosidad dinámica (Kg/ms)

$\rho_s$  = densidad del sólido (Kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = densidad de fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = velocidad de flujo (m/s)

La ecuación 1.5.1-1 se utiliza para determinar la viscosidad en fluidos con elevada turbiedad en procesos como tratamiento de aguas. (5)

### **1.4.2. Caudal**

Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.

El caudal de agua que fluye por una conducción viene dado por la fórmula:

$$Q = S \cdot v \quad \text{E.c. 1.4.2.1-1}$$

Dónde:

Q: Caudal de agua expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$

S: Sección de la conducción, expresado en  $\text{m}^2$

V: Velocidad del agua, expresado en  $\text{m}/\text{s}$

Hay que tener en cuenta que la velocidad media del agua en la conducción es inferior a la velocidad en la superficie, que es la marcada por el flotador.

$$v = 0.8 v_a \text{ E.c. 1.4.2.1-3}$$

v = velocidad media

$v_a$  = velocidad superficial

La ecuación 1.4.2.1-1 se utiliza para determinar caudales grandes con número de Reynolds elevados en todo proceso industrial en la que el fluido (agua) sea el principal componente. (6)

### **1.4.3. Caudal de diseño**

Para calcular el caudal de diseño se emplea el Factor de Mayoración correspondiente al 30%

$$Q_d = Q * F.M$$

Dónde:

Q = Caudal de agua expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$

#### 1.4.4. Área

Área, es el número que indica la porción de plano que ocupa. Se expresa en unidades de superficie.

El área superficial del sedimentador se obtiene de:

$$A = \frac{Q}{V_c} \quad \text{E.c. 1.4.4-1}$$

Dónde:

A = área superficial del sedimentador en m<sup>2</sup>

Q = caudal a tratar en m<sup>3</sup>/s

V<sub>c</sub> = Velocidad terminal m/h

Se consideró una relación de ancho/largo de 1/5 para efecto de calcular las medidas interiores del sedimentador aplicamos la fórmula:

$$A = L \times a \quad \text{E.c. 1.4.4-2}$$

Dónde:

L = largo del sedimentador en metros

a = ancho del sedimentador en metros.

Y aplicando la relación ancho/largo = 1/5 tenemos.

$$Lg = 5 \cdot a \quad \text{E.c. 1.4.4-3}$$

Reemplazando Lg en la formula tenemos:

$$A = 5 a \times a \quad \text{E.c. 1.4.4-4}$$

$$A = 5a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{5}} \quad \text{E.c. 1.4.4-5}$$

Una vez encontrado el ancho del tanque se puede calcular el largo del mismo con la ecuación 1.4.4-3

### **1.4.5. Volumen**

El volumen es la magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto.

El volumen del tanque se calcula con la siguiente fórmula.

$$V = a * L * h \quad \text{E.c. 1.4.5-1}$$

Dónde:

V = volumen del tanque de sedimentación (m)

a = ancho del tanque (m)

L = Largo del tanque (m)

h = altura del tanque 2 m.

#### **1.4.6. Tiempo de Retención Hidráulico**

Es el tiempo que demora una partícula en recorrer la longitud del sedimentador en sentido horizontal desde el momento de su entrada al sistema.

$$Trh = \frac{V}{Q} \quad \text{E.c. 1.4.6-1}$$

Dónde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico en h.

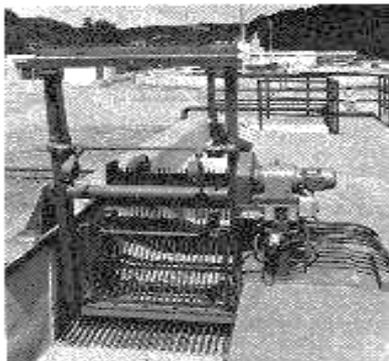
Q = caudal a tratar en m<sup>3</sup>/h

V = Volumen en (m<sup>3</sup>)

La E.c. 1.4.6-1 se aplica en proceso de tratamiento de aguas específicamente en el proceso de la sedimentación.

#### **1.4.7. Rejas de limpieza manual**

Construidas generalmente con barrotes metálicos rectos inclinados en un Angulo de 70° con la horizontal. Usados en pequeñas instalaciones. Pueden haber variantes en el diseño de acuerdo al tipo de material a retener ( pueden ser curvas , cestas perforadas, etc. )



**Fig. 1.4.7-1 Rejillas de limpieza manual**

En el caso en los que se utilice rejillas de limpieza manual, su no deberá exceder de la que permita su correcta limpieza, (aproximadamente 3m). Las barras que conforman la rejilla no suele exceder los 10mm de anchura por 50mm de profundidad. Las barras van soldadas a unos elementos de separación situados en la cara posterior, fuera del recorrido del peine rascador.

**Tabla 1.4.7-1.**

**Dimensiones para las rejillas de barras de limpieza manual**

<b>Características</b>	<b>Limpieza manual</b>
Tamaño de la barra:	
Anchura (□), mm	6
Profundidad, mm	1,2
Separación entre barras, mm	30
Pendiente en relación a la vertical, grados	30
Velocidad de paso a través de la rejilla m/s	0,47

FUENTE: URALITA, 2011

**1.4.7.1. Características de diseño**

Para el dimensionamiento de las rejillas es necesario calcular la velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento, mediante la ecuación de Manning, para posteriormente compararlo con parámetros de velocidad y con abertura de barras sugeridos.

Ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad \text{E.c. 1.4.7-1}$$

Dónde:

v = Velocidad

n = Coeficiente de Manning

R = Radio hidráulico

J = Gradiente hidráulico

Además se proporciona información de rejillas para el volumen y características de materias que pueden ser retenidas. La velocidad de paso a través de la reja debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin que se provoque una gran pérdida de carga ni atascamiento en los barrotes, para esto se establece una velocidad mínima y máxima que generalmente oscila entre 0,60 m/s y 1,00 m/s pudiendo llegar hasta 1,4 m/s como máximo.

#### **1.4.8. Bomba de Diafragma para lodos**

Una bomba hidráulica es un dispositivo tal, que recibiendo energía mecánica de una fuente exterior, la transforma en una energía de presión transmisible de un lugar a otro de un sistema hidráulico a través de un líquido cuyas moléculas estén sometidas precisamente a esa presión.



**Fig. 1.4.8-1 Bomba de Diafragma para lodos**

#### **1.4.8.1 Potencia**

La potencia es el trabajo, o transferencia de energía, realizado por unidad de tiempo.

Así, la potencia necesaria para las bombas, en cada parte del proceso, se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$H_p = (W \cdot H) / (75 \cdot \eta) \quad \text{E.c. 1.4.8.1-1}$$

Siendo:

$H_p$  = Potencia en CV.

$W$  = flujo másico Kg/s

$\eta$  = Rendimiento de la bomba

$H$  = altura de carga (m)

La altura de carga se determina mediante la siguiente ecuación

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + hf = H \quad \text{E.c. 1.4.8.1-2}$$

Dónde:

H = altura de carga del sistema (m)

V<sub>2</sub> = velocidad en la descarga m/s

v<sub>1</sub> = velocidad en la succión m/s

z<sub>1</sub> = altura estática de succión (m)

z<sub>2</sub> = altura estática de descarga (m)

P<sub>1</sub> = presión de succión (Kg/m<sup>2</sup>)

P<sub>2</sub> = presión estática (Kg/m<sup>2</sup>)

hf = perdidas de energía en tuberías y accesorios

ρ = densidad específica

g = gravedad(m/s<sup>2</sup>)

La velocidad se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$v_2 = 4 \cdot Q / \pi \cdot d^2 \quad \text{E.c. 1.4.8.1-3}$$

La presión de succión se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P_1 = \rho \cdot g \cdot z \quad \text{E.c. 1.4.8.1-4}$$

Las pérdidas en las tuberías se determinan a partir de la ecuación:

$$h_{f_l} = f \frac{L \cdot v^2}{\phi \cdot 2g} \quad \text{E.c. 1.4.8.1-5}$$

Las pérdidas de energía de los accesorios se determinan a partir de la ecuación:

$$hf_m = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{E.c. 1.4.8.1-6}$$

El flujo másico se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$W = \rho * Q \quad \text{E.c. 1.4.8.1-7}$$

Dónde:

$\rho$  = densidad del lodo Kg/m<sup>3</sup>

Q = caudal de lodo

El factor de fricción para flujo laminar se determina a partir de siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{N_{re}} \quad \text{E.c. 1.4.8.1-8} \quad (7)$$

## **CAPITULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Se Crea el Instituto Nacional de Riego y Drenaje, INAR, mediante Decreto Ejecutivo N° 695, publicado en el Registro Oficial N° 209 del 12 de noviembre del 2007, adscrito al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP. El INAR, adquiere capacidad efectiva desconcentrada con el Decreto N° 1079 del 15 de mayo del 2008.

La parte experimental inició con el reconocimiento del lugar donde se realizó el diseño para la planta de tratamiento, y del punto del canal de donde se obtuvieron las muestras para los respectivos análisis, luego un proceso de evaluación visual de los problemas que suscita por la presencia de los sólidos.

Una vez realizada la inspección y seleccionados los puntos de muestra se realizó la caracterización del agua en los laboratorios de Análisis Técnico y análisis microbiológico de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para proceder a la evaluación técnica del sistema para de esta manera proponer las alternativas correctivas, y poder diseñar el sistema de tratamiento y mejorar la calidad de agua para el riego del sector.

## 2.1. DIAGNÓSTICO



**Foto 2.1-1 Canal de conducción**

A través de todo el recorrido del Canal del sistema de riego Chambo Guano, se observa la acumulación de materiales que son arratrados por el agua hasta los reservorios.



**Foto 2.1-3 Incorporación del material en el canal de conducción**

La construcción del canal se encuentra expenso a la acumulación de todo tipo de material especialmente sedimentos ocasionados por los derrumbes.



**Foto 2.1-4 Compuerta de entrada al reservorio**

Estos materiales se acumulan a través del agua en los reservorios los cuales se producen problemas de mantenimiento a más de disminuir su capacidad de almacenamiento en 89%, por lo que se debe realizar un constante mantenimiento.



**Foto 2.1-5 Limpieza del reservorio**

El problema que se tiene a la salida del reservorio, es, que; estos materiales se acumulan en las tuberías de distribución afectando más a las que se encuentran en las partes más profundas por lo que el mantenimiento es constante.

Debido a estos problemas que se producen fue necesario el diseño de un sistema de tratamiento, con lo cual, se mejorará el sistema de riego, disminuirá los costos por mantenimiento de limpieza tanto del canal como de los reservorios y sus redes de distribución.



**Foto 2.1-6 Reservorio 62 en el Sector de Langos**

## **2.2. MUESTREO**

### **2.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO**

Para la interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio y su aplicación práctica es requisito fundamental identificar una zona específica para el muestreo del agua.

Con este fin se llevó a cabo un plan de monitoreo de las aguas, como se puede observar en la tabla 2.2.1-1.

**Tabla 2.2.1-1**

**Plan de muestreo**

	<b>Unidad</b>	<b>Tiempo</b>
Tipo	Cuantitativo	5 semanas
Frecuencia	2 x semanal	5 semanas
Total de muestras	10 muestras	

Cabe destacar que los resultados obtenidos en el laboratorio serán procesados estadísticamente a fin de establecer su representatividad.

## **2.3. METODOLOGIA**

### **2.3.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.3.1.1. MÉTODOS**

##### **2.3.1.1.1. SELECCIÓN DE MUESTRA**

Para la selección de muestra se tomaron en cuenta algunas consideraciones generales que son: seguridad y accesibilidad, que es estratégico, operacional, condiciones climáticas, y de acuerdo a estas consideraciones la toma de muestra fue aleatorio.

Para la elaboración del estudio se empleó una metodología participativa, en el cual, se involucró a los directivos, socios y trabajadores beneficiarios del sistema de riego.

En todo el diseño y análisis se requirió procedimientos que fueron formulados de una manera lógica para la adquisición de información y cumplimiento de objetivos.

El método deductivo fue parte de la investigación para los cálculos de ingeniería que se aplicaron para desarrollar un diseño del sistema de tratamiento a partir del cual, también se efectuaron los análisis característicos correspondientes a la calidad del agua que se requiere para hacer uso en la agricultura, estos análisis se realizaron en los laboratorios de análisis Técnico.

También se utilizó el método inductivo, con el cual se realizó un muestreo en situ, luego de lo cual, se efectuaron el análisis del agua, con estos resultados se tabularon los datos y se procedió a los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

#### **2.3.1.2. TÉCNICAS**

Métodos normalizados para el análisis de aguas para riego de acuerdo al Estándar Métodos.

### 2.3.1.2.1. ANÁLISIS FÍSICO - QUIMICO

**Tabla 2.3.1.2.1-1.**

**Determinación da la Turbiedad**

Fundamento	Procedimiento	Método	Equipo	materiales	Fórmula de Cálculo
<p>La importancia del agua es importante, para números usos. La transparencia de una masa natural de agua es factor decisivo para la calidad y productividad de muchos sistemas.</p> <p>La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos solubles inorgánicos coloreados y otros. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se dispersa y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra.</p>	<p>a. Calibrado de turbidimetro</p> <p>b. Medida de turbidez menores de 40 UNT</p> <p>c. Colocar la muestra en el turbidimetro</p> <p>d. Medición de la turbidez</p> <p>e. Lectura en el turbidimetro</p>	2130-B	Turbidimetro	<p>a. Vaso de precipitación</p> <p>b. Pipeta volumétrica</p>	<p><math>Turbidez = \frac{A*(B+C)}{C}</math></p> <p>Dónde:</p> <p>A: UNT encontradas en muestra diluida</p> <p>B: Volumen de agua de dilución (mL)</p> <p>C: Volumen de la muestra tomada (mL)</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-2.**

**Determinación de conductividad**

Fundamento	Procedimiento	Método	Equipo	Materiales	Formula de Cálculo
<p>La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica.</p> <p>Las mediciones de la conductividad en laboratorios se utilizan para:</p> <p>a. Establecer el grado de mineralización para determinar el efecto de la concentración total de los iones sobre los equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales, etc.</p> <p>c. Evaluar las variaciones de la concentración de los minerales disueltos en aguas naturales y residuales.</p> <p>d. Calcular lo sólidos totales disueltos en una muestra multiplicando la conductividad por un factor empírico; esto puede variar de 0,55 a 0,9 dependiendo de los componentes solubles del agua y de la temperatura de medición.</p>	<p>a. Determinación de la constante de célula.</p> <p>b. Medición de la conductividad</p> <p>c. Cálculo</p>	<p>2510-B</p>	<p>Conductímetro</p>	<p>a. Vaso de precipitación</p> <p>b. Pipeta volumétrica</p>	$K = \frac{K_m \cdot 1000000 \cdot C}{1 + 0,019(t - 25)}$ <p>Dónde:</p> <p>C: Constante de célula cm<sup>-1</sup></p> <p>T: Temperatura</p> <p>K<sub>m</sub>: Conductividad medida en μmho/cm</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-2**

**Determinación de sólidos totales**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido por el mismo se seca en un peso constante a 103 – 105 C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.	<p>a. Preparación de la placa de evaporación</p> <p>b. Análisis de la muestra</p>	2540-B	Placas de evaporación	<p>a. Horno de mufla</p> <p>b. Desecador</p> <p>c. Balanza de análisis</p>	$ST = \frac{(A-B) \cdot 1000}{V_m}$ <p>Dónde:</p> <p>A: Peso de residuo seco + placa (mg)</p> <p>B: Peso de la placa (mg)</p> <p>V<sub>m</sub>: volumen de muestra (mL)</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-3.**

**Determinación de pH**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
<p>La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización de ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección, y control de la corrosión, depende del pH. El pH se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos equilibrios ácido-base. A una determinada, la intensidad de carácter de ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrógeno o pH.</p>	<p>a. Calibrado del aparato b. Análisis de la muestra</p>	4500-B	Medidor de pH	<p>a. Vaso de precipitación b. Pipeta volumétrica</p>	$\text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+}$

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-4.  
Determinación de nitrato**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
El electrodo de ión NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> es un sensor selectivo que desarrolla un potencial a través de una membrana delgada, porosa inerte, que se mantiene en posición en un intercambiador iónico en un líquido inmiscible con agua. El electrodo responde a la actividad del ión NO <sub>3</sub> entre aproximadamente 10 <sup>-5</sup> y 10 <sup>-1</sup> M. El límite inferior de detección está determinada por la solubilidad iónico líquido.	a. Tratamiento de la muestra b. Preparación de la curva patrón c. Medida espectrofotométrica	4500-NO <sub>3</sub> -C	a. Equipo colorimétrico b. Espectrofotómetro Fotómetro de filtro	a. Balón aforado de 50 mL b. Pipeta	$A = \frac{[(B * C) - (D * E)] * 7}{F}$ Dónde : A: mg NO <sub>2</sub> en la solución madre B : Total mL utilizados de KMnO <sub>4</sub> C: Normalidad de KMnO <sub>4</sub> patrón D: Total mL adicionados de reductor patrón E: Normalidad del reductor F: mL de solución madre NaNO <sub>2</sub> tomados para titulación

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-5.**

**Determinación de nitrito**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
<p>El nitrito se determina por la formación de un colorante azo purpura rojizo, producido a pH 2 a 2.5 por acoplamiento de sulfanilamida diazotizada diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina. El rango de aplicación del método para medidas espectrofotométricas es de 10 a 1000 µg de NO<sub>2</sub>-N/L, y se puede aplicar al de 5 a 50 µg de N/L si se usan un recorrido de luz de 5 cm y filtro de color verde. El sistema obedece a la ley de Beer hasta 180 µg N/L con un cm de recorrido de luz a 540 nm.</p>	<p>a. Eliminación de sólidos en suspensión si la muestra contiene sólidos suspendidos.</p> <p>b. Desarrollo del color si el pH no estuviera comprendido entre 5-9</p> <p>c. medida fotométrica a una absorbancia de 543 nm.</p>	4500-NO <sub>2</sub> -B	<p>a. Equipo colorimétrico</p> <p>b. Espectrofotómetro</p>	<p>a. Balón aforado</p> <p>b. Pipetas</p>	<p>Mediante la curva de la solución patrón</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-6.**

**Determinación de alcalinidad**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
<p>Los iones hidroxilos presentes presente en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reacción con las adiciones de ácido estándar. Por tanto la alcalinidad depende del pH de punto final utilizado.</p> <p>Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración de CO<sub>2</sub>.</p>	<p>a. Curva de titulación potenciométrica</p> <p>b. Cambio de color</p> <p>c. Titulación potenciométrica a pH preseleccionado</p>	2320-A	Equipo de titulación	<p>Balón aforado de 250 mL</p> <p>Vaso de precipitación de 250 mL</p>	<p>CaCO<sub>3</sub>=</p> $\frac{A*N*50}{muestra\ mL}$ <p>A: mL utilizado de ácido estándar</p> <p>N: Normalidad del ácido estándar</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-7.**

**Determinación de sólidos sedimentables**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
La sedimentación de las partículas representan los sólidos fijos, la determinación es útil para el control de las operaciones en plantas de tratamiento de aguas , porque ofrecen un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del agua.	a. Colocar 1 L de muestra en el cono de imhof b. Esperar durante 30 minutos c. Tomar la lectura	4540-F	Equipo de imhof	Vaso de precipitación	Lectura cono de imhof

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

**Tabla 2.3.1.2.1-8.**

**Determinación de cloruros**

<b>Principio</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Método</b>	<b>Materiales</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>
<p>En una solución neutra , el cromato potásico puede indicar el punto final de la titulación de cloruros con nitrato de plata.</p> <p>Se precipita cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de plata rojo</p>	<p>Colocar 25 mL de muestra en el Erlenmeyer</p> <p>Agregar 2 o 3 gotas de cromato de potasio</p> <p>Titula con la solución de nitrato de plata, hasta que el color vire de amarillenta a pardo</p>	4500-Cl-B	<p>a. Erlenmeyer</p> <p>b. Bureta</p>	$\text{mg} = \frac{(A-B)*N*35450}{\text{mLdemuestra}}$ <p>Dónde:</p> <p>A: mL valoración para la muestra</p> <p>B: mL valoración para el blanco</p> <p>N: Normalidad de AgNO<sub>3</sub></p>

Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Agua de Riego

### 2.3.1.2.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Tabla 2.3.1.2.2-1.

#### Determinación de Coliformes fecales

Objeto	Procedimiento	Método	Materiales
Se realiza con la finalidad de conocer o determinar la cantidad de microorganismos presentes en el agua, que pueden influenciar en un sistema de tratamiento	<p>a. Abrir la placa estéril y una ampolla de 2 mL de cultivo, viértalos sobre el cartón absorbente, distribuyéndolo por toda la superficie.</p> <p>b. Verter 100 ML de muestra en el embudo y encender la bomba al vacío hasta la filtración total.</p> <p>c. Extraer el embudo, tomar la membrana con la pinza estéril, colocar la membrana en la caja Petri preparada</p> <p>d. Se incuban las placas a 35-37 C, durante un periodo de 24 horas</p> <p>e. Leer las placas las características son de color celeste</p>	Filtración por membrana	Equipos para análisis microbiológico

## 2.4.2. DATOS EXPERIMENTALES

### 2.4.2.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

**Tabla 2.4.2.1-1**

**Análisis físico químico de agua de riego**

Parámetro	Unidades	Método	*Limites	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	Promedio
pH	-	4500-B	6-9	7,92	6,97	7,03	7,6	7,22	8,28	7,85	7,55
Conductividad	μSm/cm	2510-B	70-300	269	260	336	313	813	322	303	373,71
Turbiedad	NTU	2130-B	-	17,5	28	8,83	45	307	269	152,8	118,30
Cloruros	mg/L	4500-Cl-B	10-40	22,7	30,1	25,5	5,6	85,1	32	24,1	32,15
Dureza CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340-C	<100	68	80	96	44	72	72	80	73,14
Alcalinidad CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2320-C	<500	250	260	186	270	140	470	290	266,57
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	0-2	0,42	0,44	0,8	0,22	0,05	0,55	3,77	0,89
N – nitritos	mg/L	4500-NO <sub>2</sub> -B	5-30	0,01	0,005	0,01	0,01	0,04	0,002	0,001	0,01
N – nitratos	mg/L	4500-NO <sub>3</sub> -C	5-30	2,09	0,17	0,42	0,78	0,484	0,53	0,32	0,68
Sólidos disueltos	mg/L	2540-C	<200	167	162	208	194,1	505,9	199,6	188	232,08
Sólidos totales	mg/L	2540-B	<500	520	743	340	380	2860	1630	448	988,71
Sólidos sedimentables	mg/L	2540-F	-	300	300	100	100	700	1200	100	400

FUENTE: Acán A., 2011

**Tabla 2.4.2.1-2****Análisis microbiológico de agua de riego**

Parámetro	Unidades	Método	limites	n1	n2	Promedio
Coliformes fecales	UFC/100mL	Filtración por membrana	0	580	1400	1980
Coliformes totales					100	100

FUENTE: Normativa TULAS

En la siguiente tabla 2.4.2.1-4 se indican datos para determinar la viscosidad dinámica del fluido, obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Química Industrial.

**Tabla 2.4.2.1-3****Datos experimentales**

N <sup>o</sup> (bolas)	t(s)	V <sub>s</sub> (L)	φ(m)	x(m)	m <sub>s</sub> (Kg)
1	0,003	5*10 <sup>-6</sup>	0,016	0,23	0,057
2	0,003	4*10 <sup>-6</sup>	0,016		0,057
3	0,004	5*10 <sup>-6</sup>	0,016		0,058
4	0,003	5*10 <sup>-6</sup>	0,016		0,058
□	0,335	4.75*10 <sup>-6</sup>	0,016		0,0058

Fuente: Acán A., 2011

**2.4.3.DATOS ADICIONALES****Tabla 2.4.3-1****Especificaciones de las placas de asbesto cemento**

a (m)	e (m)	l (m)
2,40	0,01	1,2

FUENTE: ARBOLEDA J, 2011

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE UN SEDIMENTADOR

#### 3.1. CÁLCULOS

##### 3.1.1. Determinación de la viscosidad

Aplicando la ecuación 1.4.3-1, Pp 29

$$\mu = \frac{(\rho_s - \rho_f)\phi^2}{18v}$$
$$\mu = \frac{(11789 - 9600)(0,016^2)}{18 * 0,69}$$

$$\mu = 0,045 \text{ Kg/m s}$$

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$v = \frac{0,045}{980}$$

$$v = 4,6 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

##### 3.1.2. Cálculo del caudal

Aplicando la ecuación 1.4.2.1-1, Pp 29

$$Q = S * v$$

$$Q = 0,38 * 0,47$$

$$Q = 0,18 \text{ m}^3/\text{s} \text{ -----} 648 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.1.3. Cálculo del caudal de diseño mediante la teoría

Mediante la ecuación 1.4.3-1, Pp 30

$$Q_d = Q * F.M$$

$$Q_d = 648 * 0,3$$

$$Q_d = 194,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.1.44. Cálculo del área del sedimentador

Mediante la aplicación de la ecuación 1.4.4-1, Pp 31

$$A_s = \frac{Q_d}{v_c}$$

$$A_s = \frac{194,4}{0,4}$$

$$A_s = 486 \text{ m}^2$$

### 3.1.5. Cálculo del ancho del sedimentador

Mediante la aplicación de la ecuación 1.4.4-5, Pp 32

$$a = \sqrt{\frac{A}{5}}$$

$$a = \sqrt{\frac{486}{5}}$$

$$a = 10\text{m}$$

### 3.1.6. Cálculo de la longitud del tanque

Mediante la ecuación 1.4.4-3, Pp 31

$$L = 5 * a$$

$$L = 5 * 10$$

$$L = 50 \text{ m}$$

### 3.1.7. Determinación de la carga superficial actual

Aplicando la ecuación 1.3.4.2-1 según Streeter, Pp. 16

$$CS = \frac{Q_d}{A}$$

$$CS = \frac{194,4}{486}$$

$$CS = 0,4 \text{ m/h}$$

### 3.1.8. Determinación de la carga superficial después de instalados los módulos

Según la ecuación de Streeter, ecuación 1.3.6-3, Pp. 27

$$v_o = \frac{Q_d}{\text{Sen } 60 * Ah}$$

$$v_o = \frac{194,4}{486 * \text{Sen } 60}$$

$$v_o = 0,46 \text{ m/h}$$

### 3.1.9. Determinación de la longitud relativa para flujo laminar

Según Streeter, ecuación 1.3.4.3-1, Pp 16

$$L = 1/d$$

$$L = \frac{120}{6}$$

$$L = 20 \text{ (m)}$$

### 3.1.10. Determinación de la longitud relativa en la región de transición

Según Streeter, ecuación 1.3.4.3-2, Pp 16

$$L' = \frac{0,013v_0d}{v}$$

$$L' = \frac{0,013 * 0,46 * 0,06}{0,16}$$

$$L' = 1,9 * 10^{-3} \text{ m}$$

### 3.1.11. Determinación de las longitudes relativas.

Según Streeter y Yao, ecuación 1.3.4.3-1, Pp. 16

$$L_C = L - L'$$

$$L_C = 20 - 1,9 * 10^{-3}$$

$$L_C = 19,9 \text{ m}$$

### 1.3.12. Determinación de la velocidad crítica de asentamiento

Según la ecuación de Yao, ecuación 1.4.5-3, Pp. 26

$$v_{sc} = \frac{S_c v_o}{\text{Sen}\theta + L\text{Cos}\theta}$$

$$v_{sc} = \frac{1,0 * 0,46}{\text{Sen } 60 + 19,9\text{Cos}60}$$

$$v_{sc} = 0,04\text{m/h}$$

### 3.1.13. Determinación de Número de Reynolds ( $N_{Re}$ ) del sistema

Se determina el  $N_{Re}$  aplicando la ecuación 1.3.5.3-2, Pp 25

$$N_{Re} = \frac{v * \phi_p * \rho_f}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,38 * (7,5 * 10^{-5}) * 980}{0,05}$$

$$N_{Re} = 0.6$$

### 3.1.14. Calculo del volumen del sedimentador

Mediante la ecuación 1.4.5-1, Pp 32

$$V = L * a * h$$

$$V = 10 * 50 * 2$$

$$V = 1000\text{m}^3$$

### 3.1.15. Calculo del tiempo de retención hidráulico

Según la ecuación de Yao, ecuación 1.4.6-1, Pp. 32

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

$$Trh = \frac{1000}{648}$$

$$Trh = 1,54 \text{ h}$$

### 3.1.16. Determinación del número de placas

Según la ecuación de Yao, ecuación 1.3.4.3-5, Pp17

$$N = \frac{(L_s - l \cos \theta) + d}{d + e}$$

$$N = \frac{(50 - 1,2 \cos 60) \text{Sen} 60 + 0,06}{0,06 + 0,01}$$

$$N = 618 \text{ Placas}$$

### 3.1.17. Velocidad de transporte de flujo a través de las rejillas

Mediante la Ecuación 1.4.7-1, Pp 34

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

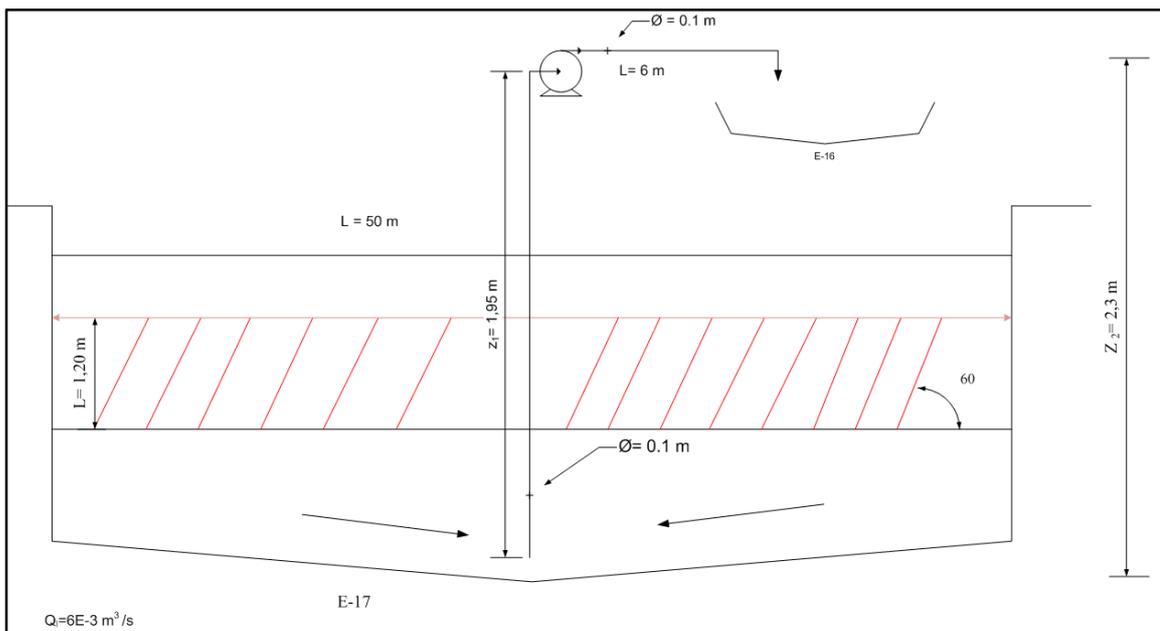
$$v = \frac{1}{0,004} \frac{0,25^{\frac{2}{3}}}{4} 0,005^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 1,24 \text{ m/s}$$

### 3.1.18. Condiciones de diseño

Según bibliografía se considera las placas de asbesto-cemento, cuyo tamaño normal es de 1,20 m de largo por 2,40 m de ancho, y de 0,01 mm espesor. Las placas generalmente son colocados a un ángulo de  $60^{\circ}$ , entre el espacio de las placas se colocan listones de madera de 5 a 6 cm de alto por 2,5 de espesor 1,2 m de largo, como se puede observar en la figura 3.3-4.

### 3.1.19. Cálculo de potencia de la bomba



**Fig. 3.1.19-1 Sistema de transporte de lodo**

#### 3.1.19.1. Cálculo de la velocidad de succión

Mediante la ecuación 1.4.8.1-3, Pp 37

$$v_1 = \frac{4Q}{\varnothing^2 * \pi}$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot 6^{-3}}{0,1^2 \cdot \pi}$$

$$v_1 = 0,76 \text{ m/s}$$

### 3.1.19.2. Cálculo de la presión de succión

Mediante la ecuación 1.4.8.1-4, Pp 37

$$P_1 = \rho \cdot g \cdot z$$

$$P_1 = 2100 \cdot 9,8 \cdot 0,1$$

$$P_1 = 40131 \text{ N/m}$$

### 3.1.19.3. Cálculo del $N_{re}$ para el sistema de transporte de lodo

Mediante la ecuación 1.3.5.3-2, Pp 25

$$N_{Re} = \frac{v \cdot \phi_p \cdot \rho_f}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,76 \cdot 0,1 \cdot 2100}{0,5}$$

$$N_{re} = 319,2$$

### 3.1.19.4. Cálculo de factor de fricción Fanning para flujo laminar

Mediante la ecuación 1.4.8.1-8, Pp 37

$$f = \frac{64}{N_{re}}$$

$$f = \frac{64}{319,2}$$

$$f = 0,200$$

### 3.1.19.5. Cálculo de pérdidas de energía en las tuberías

Mediante la ecuación 1.4.8.1-5, Pp 37

$$hf_l = f \frac{L * v^2}{\phi * 2g}$$

$$hf_l = 0,2 \frac{7,95 * 0,76^2}{0,1 * 18,6}$$

$$hf_l = 0,493 \text{ m}$$

### 3.1.19.6. Cálculo de pérdidas de energía en los accesorios

Mediante la ecuación 1.4.8.1-6, Pp 37

$$hf_m = K \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_m = 4,32 \frac{0,76^2}{18,6}$$

$$hf_m = 0,18 \text{ m}$$

### 3.1.19.7. Cálculo de altura de carga del sistema

Mediante la ecuación 1.4.8.1-2, Pp 36

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + hf = H$$

$$\frac{-0,76^2}{2 * 9,8} + \frac{(72981,8 - 40131)}{20580} + (2,3 - 1,95) + 0,67 = H$$

$$H = 2,64$$

### 3.1.19.8. Cálculo de flujo másico

Mediante la ecuación 1.4.8.1-3, Pp 37

$$W = \rho * Q$$

$$W = 2100 * 6 * 10^{-3}$$

$$W = 12,6 \text{ Kg/s}$$

### 3.1.19.9. Cálculo de Hp de la bomba

Mediante la ecuación 1.4.8.1-1, Pp 36

$$Hp = \frac{W * H}{75 * \eta}$$

$$Hp = \frac{12,6 * 2,64}{75 * 0,75}$$

$$Hp = 0,6$$

## 3.2. RESULTADOS

### 3.2.1. Resultado de análisis Físico Químico del agua

Tabla 3.2.1-1

#### Parámetros dentro y fuera de norma análisis físico químico

Parámetro	Unidades	Limites <sup>2</sup>	Promedio
pH	-	6-9	7,55
Conductividad	μSm/cm	70-300	373,71
Turbiedad	NTU	-	118,30
Cloruros	mg/L	10-40	32,15
Dureza CaCO <sub>3</sub>	mg/L	<10	73,14
Alcalinidad CaCO <sub>3</sub>	mg/L	<500	266,57
Fosfatos	mg/L	0-2	0,89
N – nitritos	mg/L	-	0,01
N – nitratos	mg/L	5-30	0,68

---

<sup>2</sup>FUENTE: Normativa de TULAS

Sólidos disueltos	mg/L	<200	232,08
Sólidos totales	mg/L	<500	988,71
Sólidos sedimentables	mg/L	-	400

FUENTE: Acán A.,2011

Como se puede observar en la tabla arriba descrita muchos de los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles a excepción de los sólidos totales con 988,71 mg/L y sólidos sedimentables 400 mg/L, esto es, que el agua empleado para el riego o el agua que se almacena antes de su distribución contiene un alto porcentaje de este tipo de material.

### 3.2.2. Resultado de análisis microbiológico del agua

**Tabla 3.2.2-1**

#### **Parámetros dentro y fuera de norma análisis microbiológico**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>	<b>Límites</b>	<b>Promedio</b>
Coliformes fecales	UFC/100mL	Filtración por membrana	0	990
Coliformes totales				100

FUENTE: Acán A., 2011

Como se puede observar en la 3.2.2-1 tanto los Coliformes fecales como los totales se encuentran fuera de norma, estableciendo que el agua se encuentra altamente contaminada.

**3.2.3. Resultado de los cálculos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.**

**Tabla 3.2-3.-1**

**Resultados de los calculados para el dimensionamiento del sedimentador**

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>
Q (m <sup>3</sup> /s)	648
v <sub>f</sub> (m/s)	0,47
v(m <sup>2</sup> /s)	4,6*10 <sup>-5</sup>
A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	486
L <sub>s</sub> (m)	50
a <sub>s</sub> (m)	10
CS ( m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	0,4
v <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	0,46
v <sub>sc</sub> (m/h)	0,04
V (m <sup>3</sup> )	1000
Trh (h)	1,54
N (placas)	618
N <sub>RE</sub>	0,6
Hp	0,6

### 3.2.4. Dimensiones para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual

**Tabla 3.2.4-1**

#### Dimensiones para las rejas de barras de limpieza manual

Características	Limpieza manual
Tamaño de la barra:	
Anchura ( $\square$ ), mm	6
Profundidad, mm	1,2
Separación entre barras, mm	30
Pendiente en relación a la vertical, grados	30
Velocidad de paso a través de la reja m/s	0,47

FUENTE: URALITA, 2011

### 3.2.5. Resultado de las propiedades del fluido

**Tabla 3.2.5-1**

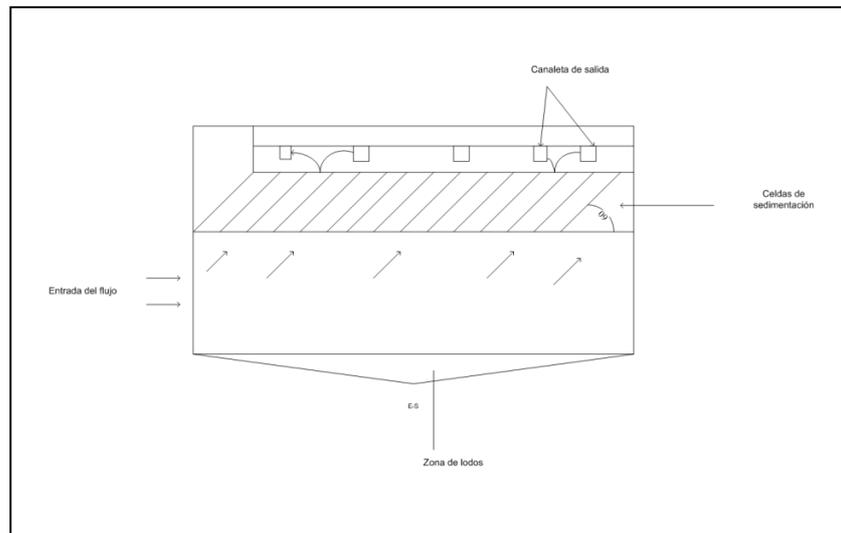
#### Resultado de las propiedades del fluido

$\Phi_p(m)$	$\square_f(Kg/m^2s^2)$	$\rho_f(Kg/m^3)$	$Q_f(m^3/día)$	$v_f(m/s)$	$\rho_1(Kg/m^3)$	$\mu_1(Kg/ms)$	$v(m^2/s)$
$7,58 \cdot 10^{-5}$	9600	980	$6 \cdot 10^{-3}$	0,47	2100	0,045	$4,6 \cdot 10^{-5}$

Fuente: Acán Á., 2011

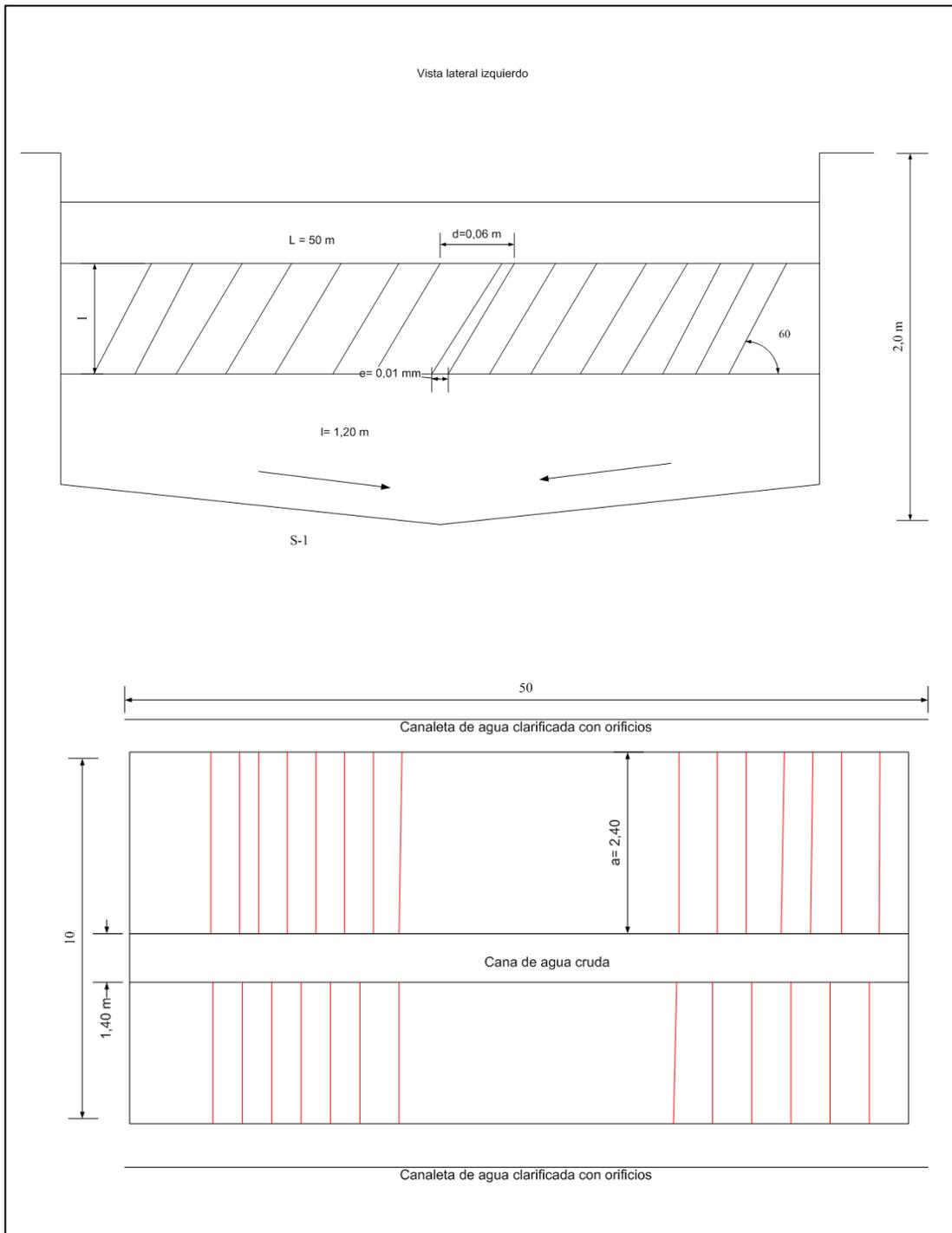
### 3.3. PROPUESTA

En el diagnóstico, se encontró que el principal problema del reservorio y las redes de distribución, es la acumulación de los sólidos, para lo cual, se diseñó un sistema de tratamiento, como podemos observar en la siguiente figura.



**Fig. 3.3-1 Descripción del sistema de sedimentación**

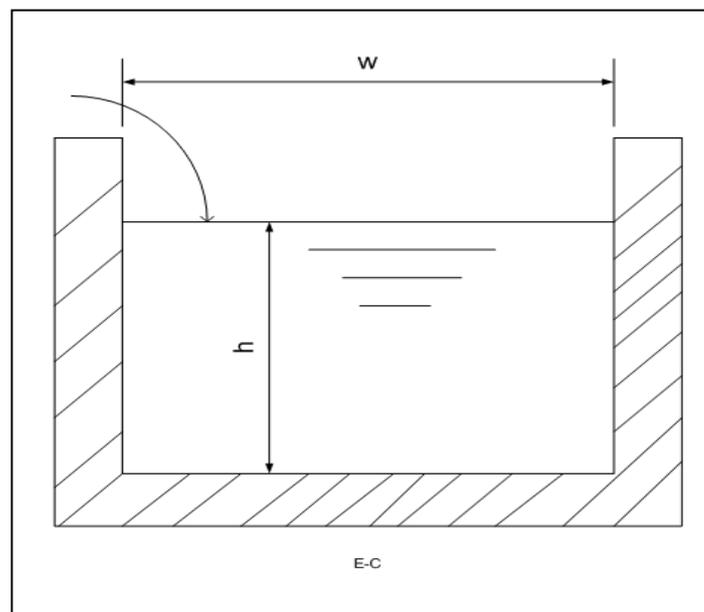
En la figura 3.3-1 se tiene la descripción del sedimentador, el cual, consta de placas de asbesto cemento, para los sólidos más densos que el agua, el proceso de la sedimentación se da a través de las celdas que se componen entre dos placas en el cual el agua a tratar en reposo inicia su proceso de asentamiento, mientras que el agua de la superficie tiene salida a través de los orificios del canal hacia el reservorio.



**Fig. 3.3-2 Vistas del sedimentador**

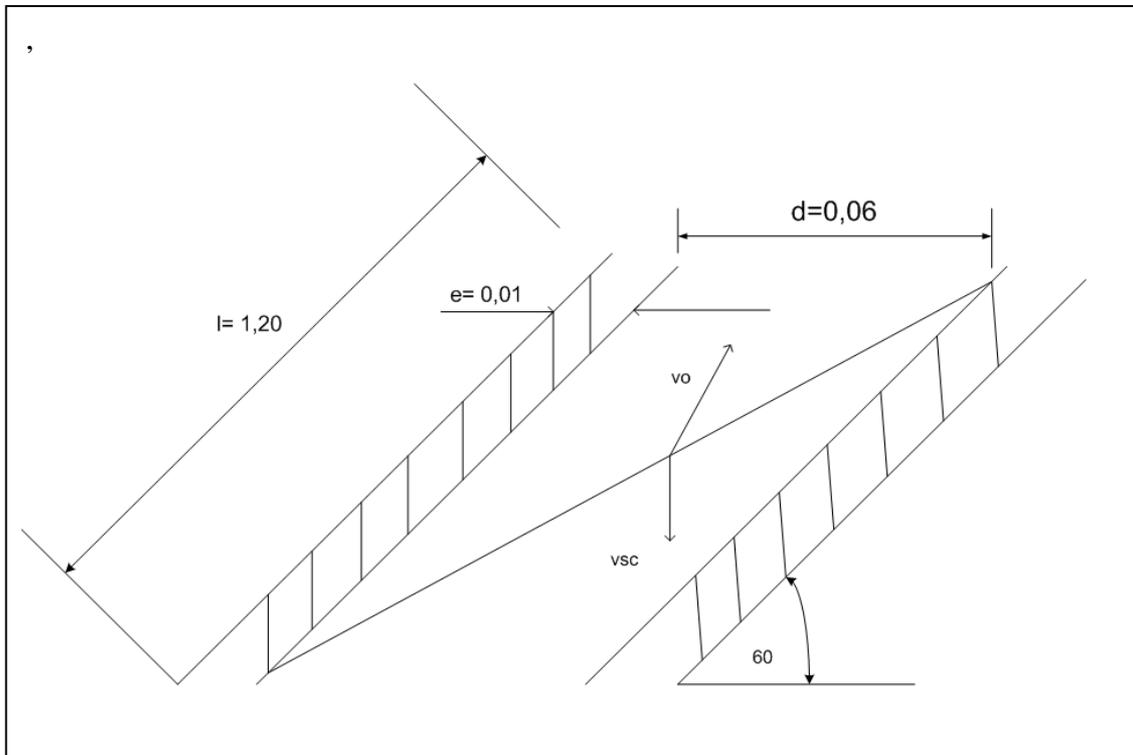
En la figura 3.3-2 se observa las dimensiones del sedimentador, comola longitud de 50 m, el ancho de 10 m, la altura de 2 m, mientras que la longitud de las placas es de 1,20m con  $60^{\circ}$  de ángulo de inclinación, y las canaletas con orificios tanto de entrada como de salida a través del cual se puede distribuir el agua.

Las placas más comúnmente utilizado por su bajo costo, su resistencia a la corrosión han sido las de asbesto cemento.



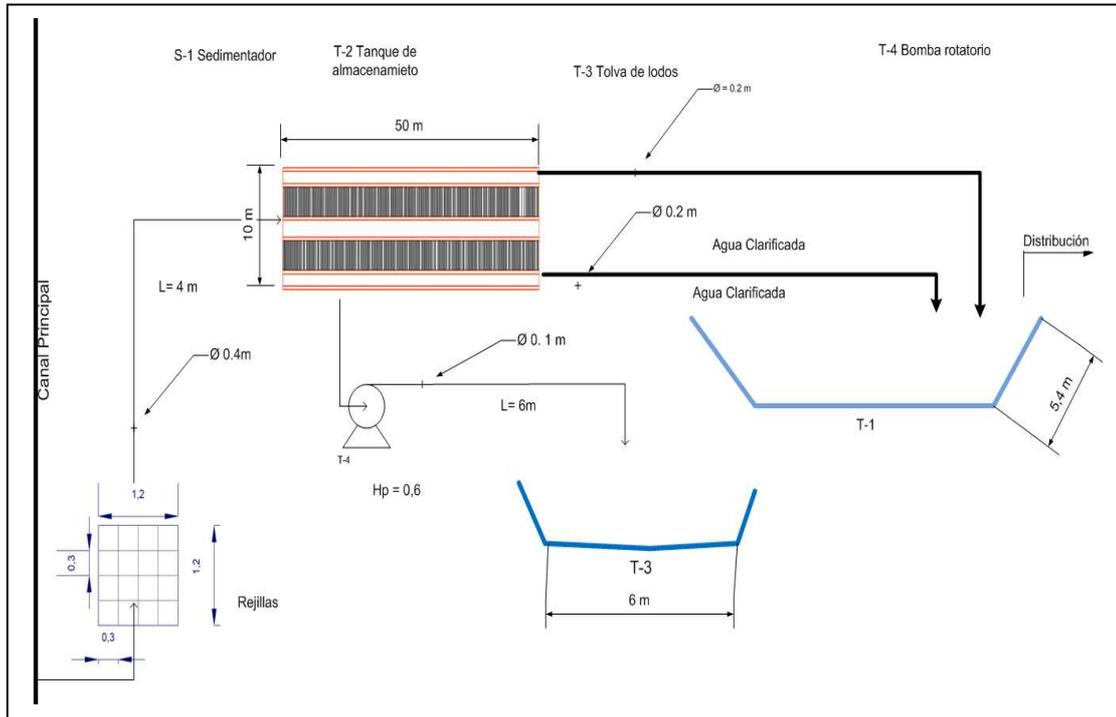
**Fig. 3.3-3 Canaletas para el agua decantada**

En la figura arriba descrita se observa las canaletas de salida del agua de las celdas formadas entre placas a través de los orificios hacia el reservorio.



**Fig. 3.3-4 Dimensión de las placas**

La sedimentación con placas de asbesto cemento es el material más comúnmente utilizado por su bajo costo, su resistencia a la corrosión y por su disponibilidad, siendo las más adecuadas las de 0,01m de espesor, 1,20 m de longitud por 2,40 de ancho estas láminas son colocados a un ángulo de  $60^0$  con una separación entre placas de 6 cm en las que se coloca uno o dos separadores de listones de madera de 5 a 6 cm de alto por 2,5 cm de espesor y 1,20 de largo según el espaciamiento de las placas.



**Fig. 3.3-5 Diagrama del proceso de sedimentación**

En la figura 3.3.5 el agua cruda primero pasa a través de las rejillas en la que se retiene los materiales en suspensión siendo estos el de mayor volumen, luego pasa la siguiente etapa que es la sedimentación en la cual las partículas de densidades menores que el agua se sedimentan y el agua clarificada pasa al tanque de almacenamiento para su posterior distribución.

En la figura 3.3.6. se observa como el lodo residual es transportada a través de una bomba para lodos horizontales de alta tasa con el cual se evacua  $1,78 \text{ m}^3/\text{día}$  de caudal de lodo hacia un sitio donde se almacena para posterior evacuación.

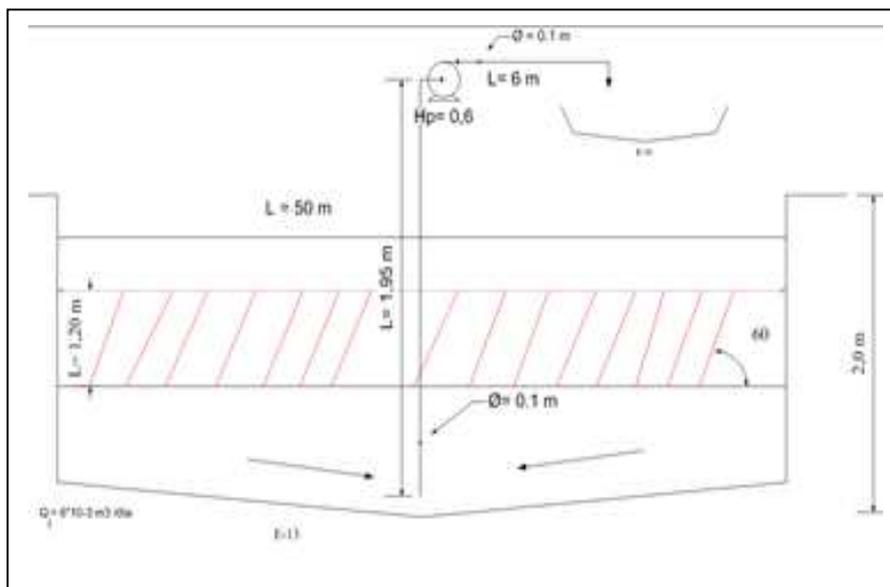


Figura 3.3.6. Sistema de transporte de lodos

Tabla 3.3-1

Componentes del sistema de tratamiento

Componentes	Condiciones	Dimensiones
Rejillas	Tamaño de barra: Ancho: mm Profundidad: mm Separación entre barras mm	6 32 30
Sedimentación	Sedimentador: Longitud (m) Ancho (m) Altura (m) Volumen (m <sup>3</sup> ) Lámina de asbesto cemento: Ancho (m) Longitud: (m) Espesor: (m)	50 10 2 1000 2,40 1,20 0,01
Bomba	Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s) H (m) Potencia	6*10 <sup>-3</sup> 2,64 0,6

Fuente: Acán A., 2011

### **3.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De acuerdo a los análisis obtenidos los parámetros como la turbiedad de 118,30 NTU, sólidos totales con 988,71 mg/L, sedimentables con 400 mg/L, y los disueltos con 232,08 mg/L se encuentran fuera de los límites establecidos por las Normas TULAS, indica que en tiempos de lluvias la incorporación de material sedimentable hacia el canal es más alto, por lo que, la corriente de agua arrastra hasta los reservorios, en el cual el material acumulado en el reservorio disminuirá su capacidad de almacenamiento en un 89,9%, además estos materiales obstruirá el paso del agua en las tuberías de distribución, aumentara el tiempo de mantenimiento del sistema el cual provoca interrupción en el ciclo de riego.

El material sólido que se almacena en el reservorio es de 600 Kg de masa de lodo por año esto significa que disminuye su capacidad de almacenamiento en un 89,9 %, obstruyendo el paso del agua a través de las tuberías el cual ocasiona interrupción en el servicio de riego.

Los resultados de análisis microbiológicos como los Coliformes totales con 1400 UFC/100L y fecales con 340 UFC/100L se encuentran fuera de las Normas establecidos esto debido a que existen lugares botaderos de basura, conexiones de tuberías de servicio público con el canal principal.

La presencia de los microorganismos afectará la producción agrícola provocando una toxicidad y por ende el problema de salud, ocasionado por el consumo de estos productos no solo del hombre sino también de los animales y demás especies que lo consumen.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

Una vez culminada con la investigación es necesario tomar en cuenta los problemas que se tiene en el Sistema de Riego Chambo Guano, llegando a las conclusiones siguientes:

- A través de los resultados, se observó, que los parámetros que están fuera de norma según Tulas son: sólidos totales con 988,71mg/L Sólidos disueltos con 232,08 mg/L, y los sólidos sedimentables con 400 mg/L.
- La presencia de sólidos totales es de 0,988 Kg/m<sup>3</sup>, el cual provoca interrupciones en el sistema de riego, disminuyendo en un 89,9 % el volumen de almacenamiento del reservorio.
- Se determinó las variables para el diseño del sistema de tratamiento, como son el caudal de diseño de 194,4 m<sup>3</sup>/s, viscosidad del fluido de 0,045 Kgm/s, densidad de 980 kg/m<sup>3</sup>.
- Las variables para el dimensionamiento del sedimentador son, área del sedimentador de 648 m<sup>2</sup>, longitud de 50 m, ancho de 10m, volumen de 1000 m<sup>3</sup>, velocidad crítica de sedimentación de 0,46 m/h, tiempo de retención hidráulico 1,54 m/h y 618 placas de asbesto cemento.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Considerar por parte del Instituto Nacional de Riego, la posibilidad de implementar el sistema de tratamiento de agua para riego en el sector de Langos Panamericana la Capilla, para mejorar la calidad de agua.
- En condiciones climáticas no favorables deshabilitar el canal y así evitar el ingreso del material sedimentable.
- Los usuarios beneficiarios del Sistema de Riego Chambo Guano deben capacitarse para un mejor funcionamiento del sistema, siendo ellos los responsables del mantenimiento de las redes de distribución.
- Debido a que existen microorganismos el diseño del sistema de tratamiento se debe complementar con el proceso para tratar a los microorganismos.
- Hacer proceso de prevención a lo largo del canal como muros de contención, para evitar el deslizamiento de materiales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- ARBOLEDA J., Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, 3a ed. Tomo I, Editorial nomos 2000, Bogotá - Colombia, Pp: 248- 257
- 2.- ARBOLEDA J., Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, 3a ed. Tomo I, Editorial nomos 2000, Bogotá - Colombia, Pp: 202-207
- 3.- CHRISTOPHER R. SCHULZ, D. Okun; "Tratamiento de agua superficiales para Países en desarrollo"; Editorial Limusa; México; 1998. Pp: 34
- 4.- FUENTES J., Técnicas de riego, 4a ed., Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería 2007, Ediciones Mundi - Prensa, Medellín Colombia, Pp: 8
- 5.- GARCIA I., SANCHEZ G., Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo, Trillas, Barcelona - España, Pp: 12
- 6.-HANSEN I., Principios y Aplicaciones Riego, Editorial Reverte, 2a ed. Barcelona España 2003, Pp: 9-10
- 7.-Instituto Nacional de Riego (INAR) Quito – Ecuador 2007, Pp 42
- 8.- JACK V, Agua su Calidad y Tratamiento, Editorial Printting, México, 1999, Pp: 15
- 9.- MOTT R., Mecánica de Fluidos Aplicada, 4a ed. México, Printice- Hall 1996. Pp: 33
- 10.- PALOMINO K., Riego por Bombeo y Drenaje, Editorial Macro, Edición Original, Lima – Perú 2003, Pp 21

## **INTERNET**

- 11.- SEDIMENTADOR, Tipos de sedimentadores

<http://es.la.encyclopedia.libre.mht>

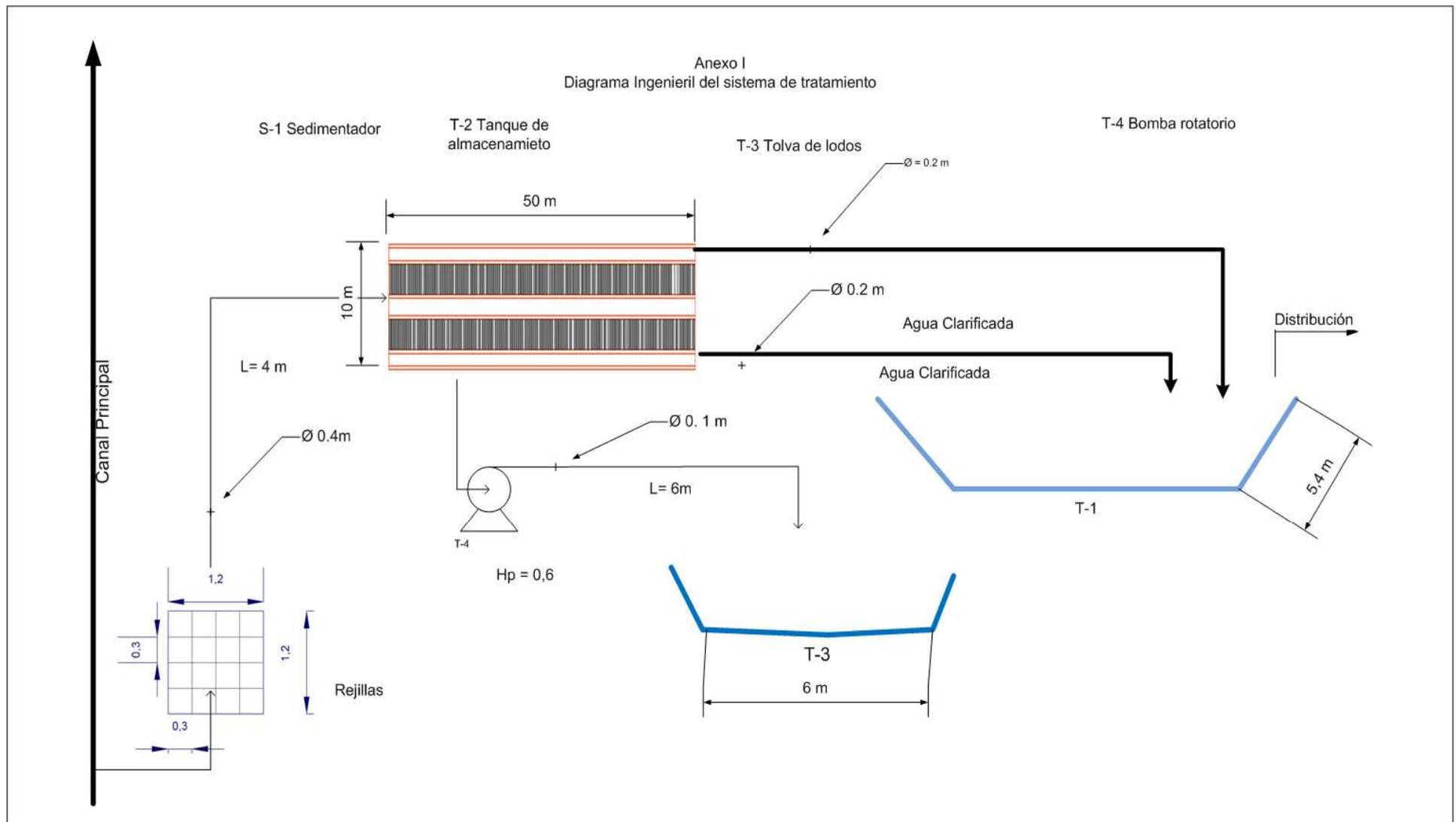
18/01/2011

- 12.- AGUAS. Tratamiento de aguas

[www.mitecnologico.com/Main/TratamientosPrimariosDeAguass](http://www.mitecnologico.com/Main/TratamientosPrimariosDeAguass)

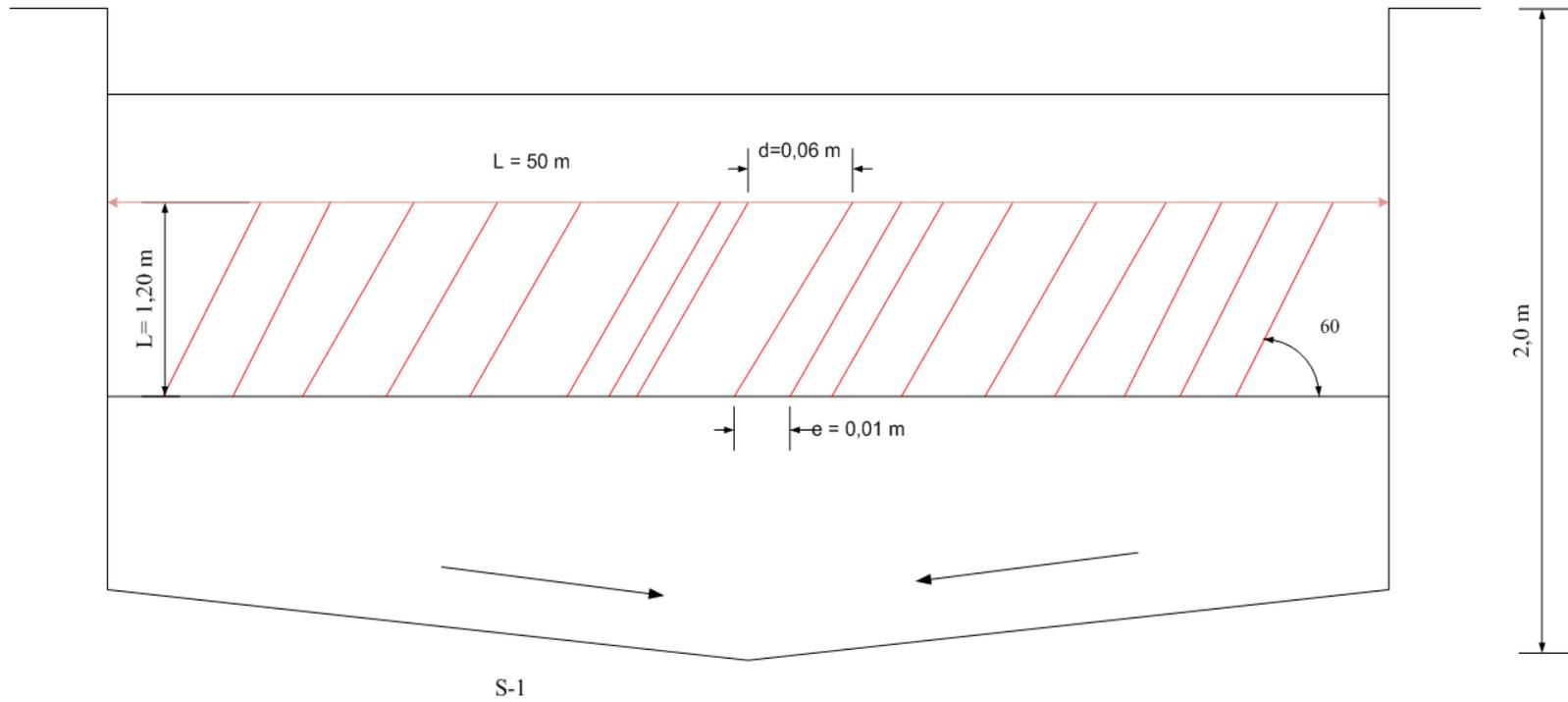
04/02/2011

# **ANEXOS**



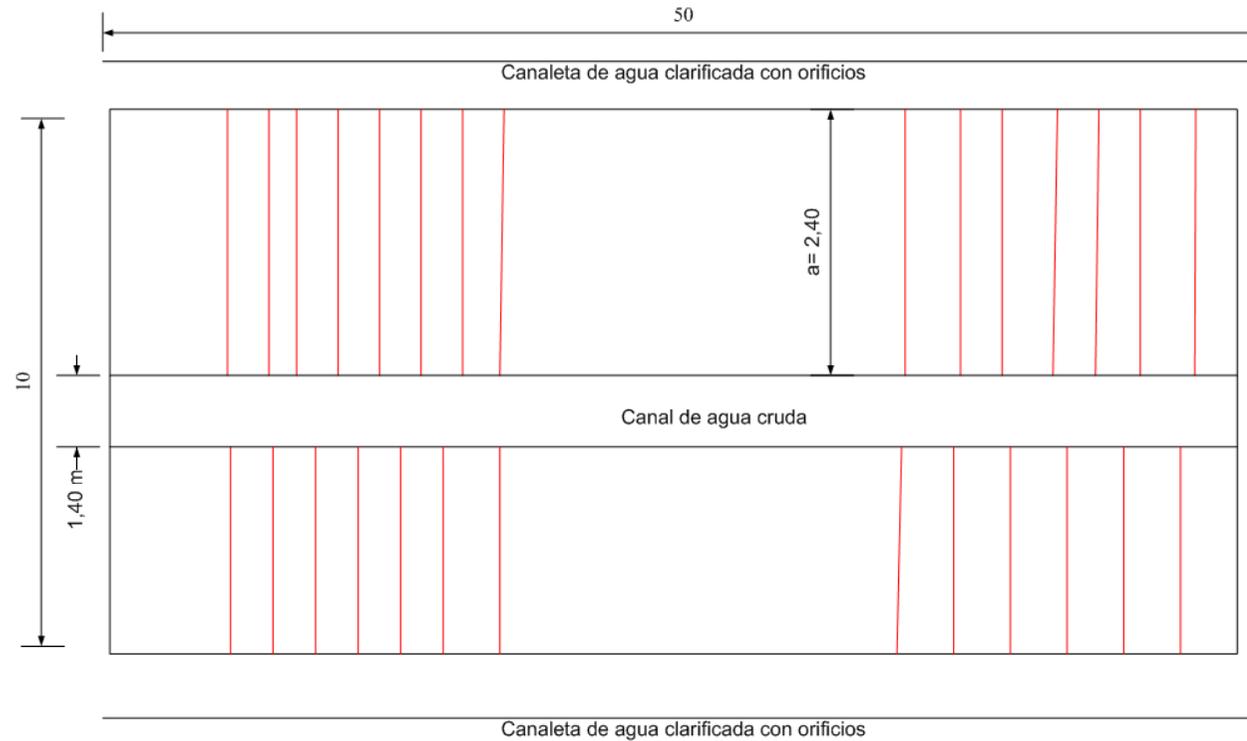
NOTA	CATEGRIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	SITEMA DE TRATAMIENTO		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	1	1:1

Anexo II  
Vista de las placas

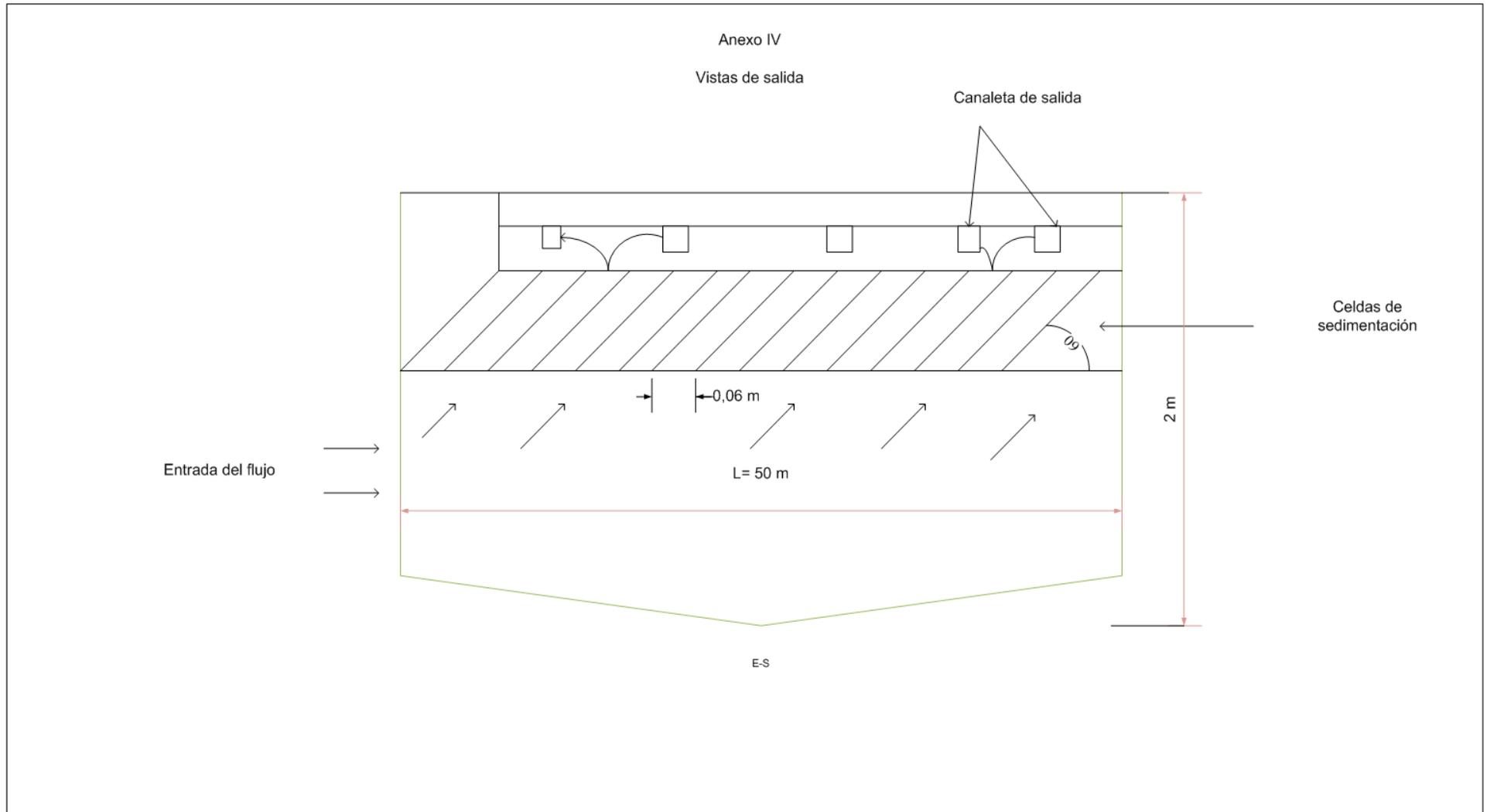


NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Dimension de placas		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	2	1:1

Anexo III  
Vista de planta sedimentador de placas

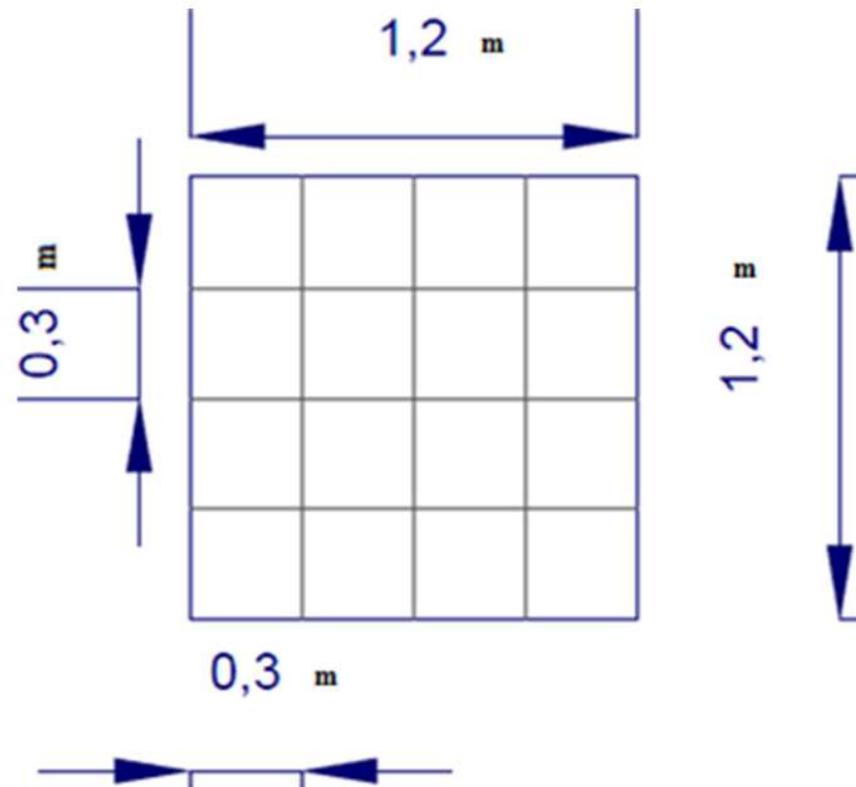


Nota	Categoria del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  ACÁN ANGEL	Dimension del Sedimentador		
				Fecha	Lamina	Escala
	Certificado Por Aprobar Información √Aprobado	Información Diseño Por Calificar		13-04-2011	3	1:1



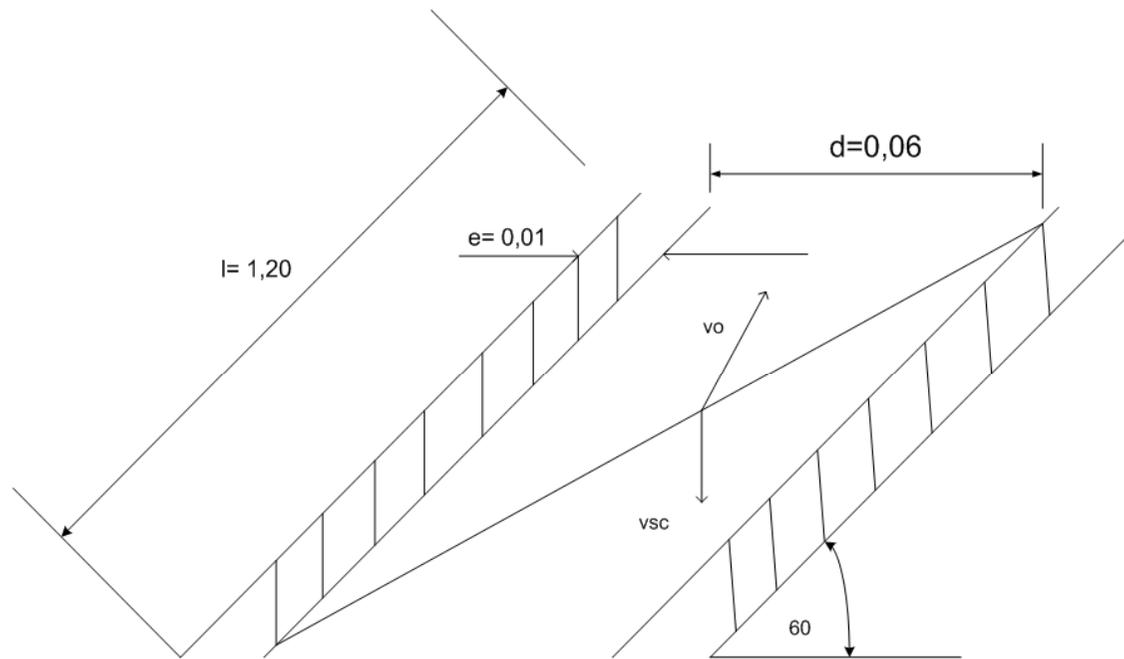
NOTA	Categoria del diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL			Canal de salida		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar				Fecha	Lamina	Escala
			04-05-2011	4	1:1			

Anexo V  
Rejillas



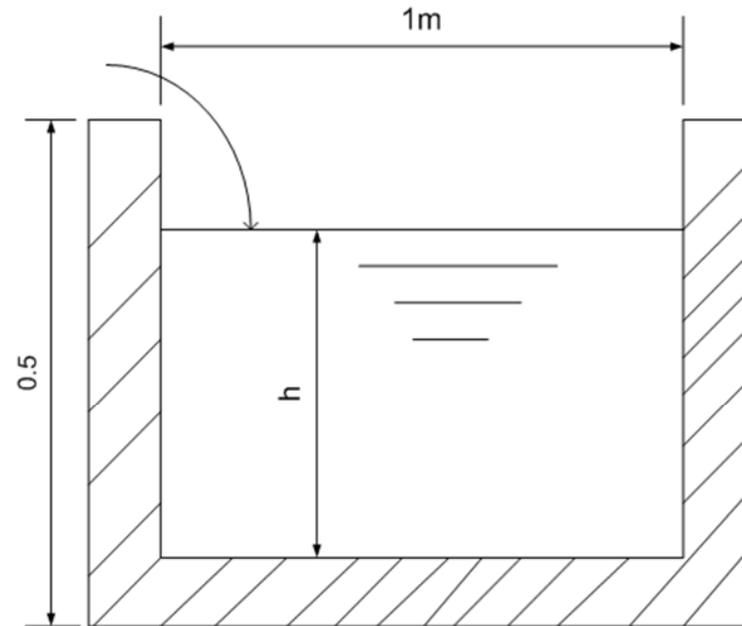
Nota	Categoria del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  ACÁN ANGEL	Rejillas		
	Certificado Por Aprobar ✓Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				13-04-2011	5	1:1

Anexo VI  
Vistas de Placas (asbesto cemento)

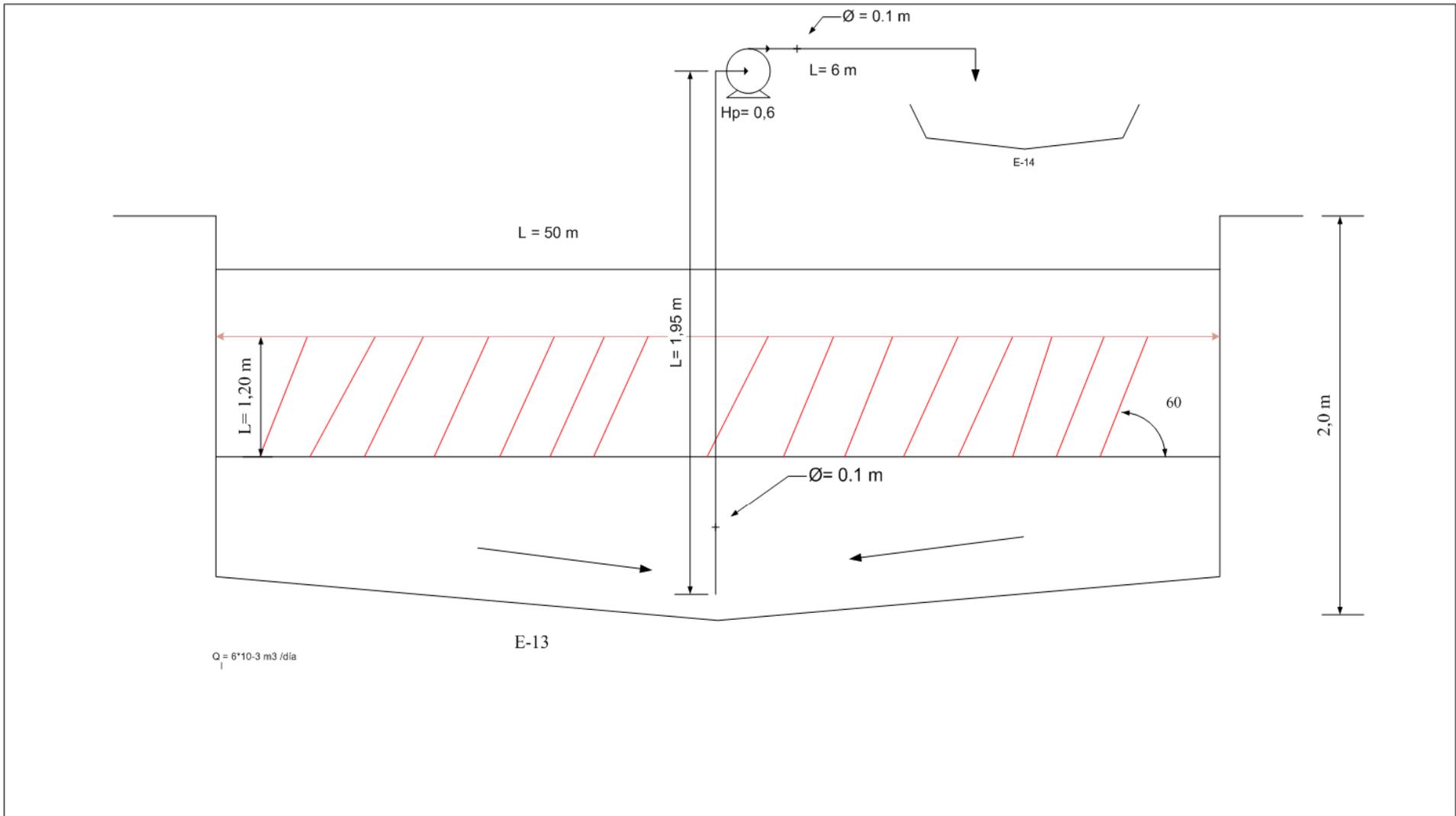


Nota	Categoria del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA  ACÁN ANGEL	Dimension del Sedimentador		
	Certificado Por Aprobar ✓Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				13-04-2011	6	1:1

Anexo VII  
Canal de salida



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Dimension de placas		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	7	1:1



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Transporte de lodos		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	8	1:1

Anexo VIII  
Valores normales de analisis de riego (FAO)

Análisis	Limite máximo permisible	
<b>Salinidad:</b>		
Conductividad eléctrica	0-3	dS/m
Total de sólidos en solución	0-2000	mg/L
Calcio	0-20	meq/L
Magnesio	0-5	meq/L
Sodio	0-40	meq/L
Carbonato	0-0,1	meq/L
Bicarbonato	0-10	meq/L
Cloruro	0-30	meq/L
Sulfatos	0-20	meq/L
<b>Nutrientes:</b>		
Nitrógeno (nitrato)	0-10	mg/L
Nitrógeno (amonio)	0-5	mg/L
Fosforo (fosfato)	0-2	mg/L
Potasio	0-2	mg/L
<b>Varios:</b>		
Boro	0-2	mg/L
pH	0-8,5	
RAS	0-15	

NOTA	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Valores Normales de analisis de riego (FAO)		
			Fecha	Lamina	Escala
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar	14-04-2011	9	1:1

Anexo IX  
Riesgo de obstrucciones en riego localizado

Obstrucciones	Unidades	Sin problema	Problema creciente	Problema grave
<b>Física:</b>				
Sólidos en suspensión	mg/L	< 50	50-100	
<b>Química:</b>				
pH		< 7	7-8	> 8
sólidos solubles	mg/L	< 500	500-200	> 2000
manganeso	mg/L	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
hierro	mg/L	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
ácido sulfúrico	mg/L	< 0,5	0,5-2	> 2
<b>Biológica:</b>				
Poblaciones bacterianas	n/mL	< 10000	10000-50000	> 50000

NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Riesgo de obstrucciones en riego localizado		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	10	1:1

Anexo 10  
Análisis físico químico del agua

Parámetro	Unidades	Método	*Límites	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	Promedio
pH	-	4500-B	-	7,92	6,97	7,03	7,6	7,22	8,28	7,85	7,55
Conductividad	μSm/cm	2510-B	70-300	269	260	336	313	813	322	303	373,71
Turbiedad	NTU	2130-B	-	17,5	28	8,83	45	307	269	152,8	118,30
Cloruros	mg/L	4500-Cl-B	10-40	22,7	30,1	25,5	5,6	85,1	32	24,1	32,15
Dureza CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2340-C	<10	68	80	96	44	72	72	80	73,14
Alcalinidad CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2320-C	<500	250	260	186	270	140	470	290	266,57
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	0-2	0,42	0,44	0,8	0,22	0,05	0,55	3,77	0,89
N – nitritos	mg/L	4500-NO <sub>2</sub> -B	-	0,01	0,005	0,01	0,01	0,04	0,002	0,001	0,01
N – nitratos	mg/L	4500-NO <sub>3</sub> -C	5-30	2,09	0,17	0,42	0,78	0,484	0,53	0,32	0,68
Sólidos disueltos	mg/L	2540-C	<500	167	162	208	194,1	505,9	199,6	188	232,08
Sólidos totales	mg/L	2540-B	<200	520	743	340	380	2860	1630	448	988,71
Sólidos sedimentables	mg/L	2540-F	-	300	300	100	100	700	1200	100	400

NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Análisis físico químico del agua		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	11	1:1

Anexo 11  
Análisis microbiológico del agua

Parámetro	Unidades	Método	Límites	n1	n2	Promedio
Coliformes fecales	UFC/100mL	Filtración por membrana	0	580	1400	990
Coliformes totales					100	100

NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Análisis microbiológico del agua		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	12	1:1

Anexo XIII  
Resultado análisis físico químico del agua

Parámetro	Unidades	Límites <sup>1</sup>	Promedio
pH	-	6-9	7,55
Conductividad	µSm/cm	700-3000	373,71
Turbiedad	NTU	-	118,30
Cloruros	mg/L	10-40	32,15
Dureza CaCO <sub>3</sub>	mg/L	<10	73,14
Alcalinidad CaCO <sub>3</sub>	mg/L	<500	266,57
Fosfatos	mg/L	0-2	0,89
N – nitritos	mg/L	-	0,01
N – nitratos	mg/L	5-30	0,68
Sólidos disueltos	mg/L	<200	232,08
Sólidos totales	mg/L	<500	988,71
Sólidos sedimentables	mg/L	-	400

NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Resultado análisis físico químico del agua		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	13	1:1

Anexo XIV  
 Resultado análisis microbiológico del agua

Parámetro	Unidades	Método	Límites	Promedio
Coliformes fecales	UFC/100mL	Filtración por membrana	0	990
Coliformes totales				100

NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Resultado análisis microbiológico del agua		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	14	1:1

Anexo XV  
Resultado cálculos de dimensionamiento del sistema

Parámetros	Resultados
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	648
$v_f$ (m/s)	0,47
$v$ (m <sup>2</sup> /s)	$4,6 \cdot 10^{-5}$
$A_s$ (m <sup>2</sup> )	486
$L_s$ (m)	50
$a_s$ (m)	10
$CS$ ( m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	0,4
$v_o$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	0,46
$v_{se}$ (m/h)	0,04
$V$ (m <sup>3</sup> )	1000
$Tr_h$ (h)	1,54
$N$ (placas)	618
$N_{kz}$	0,6
$H_p$	0,6

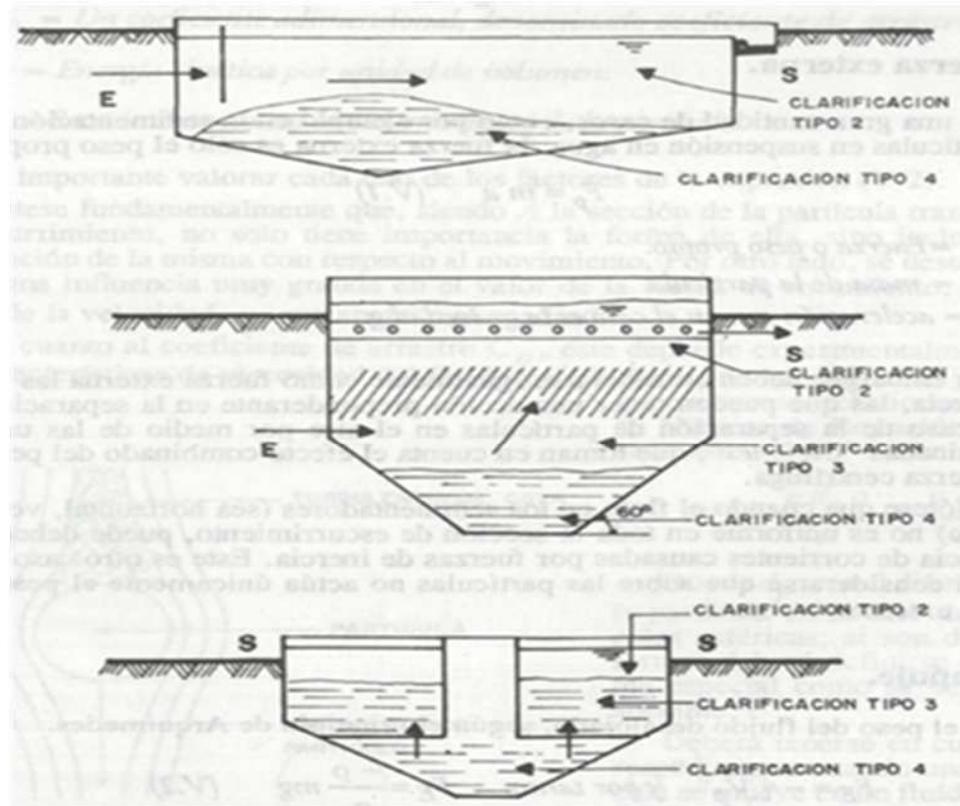
NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Resultado cálculos de dimensionamiento		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	15	1:1

Anexo XVI  
Dimensiones de rejillas de limpieza manual

Características	Limpieza manual
Tamaño de la barra:	
Anchura (?), mm	6
Profundidad, mm	1,2
Separación entre barras, mm	30
Pendiente en relación a la vertical, grados	30
Velocidad de paso a través de la reja m/s	0,47

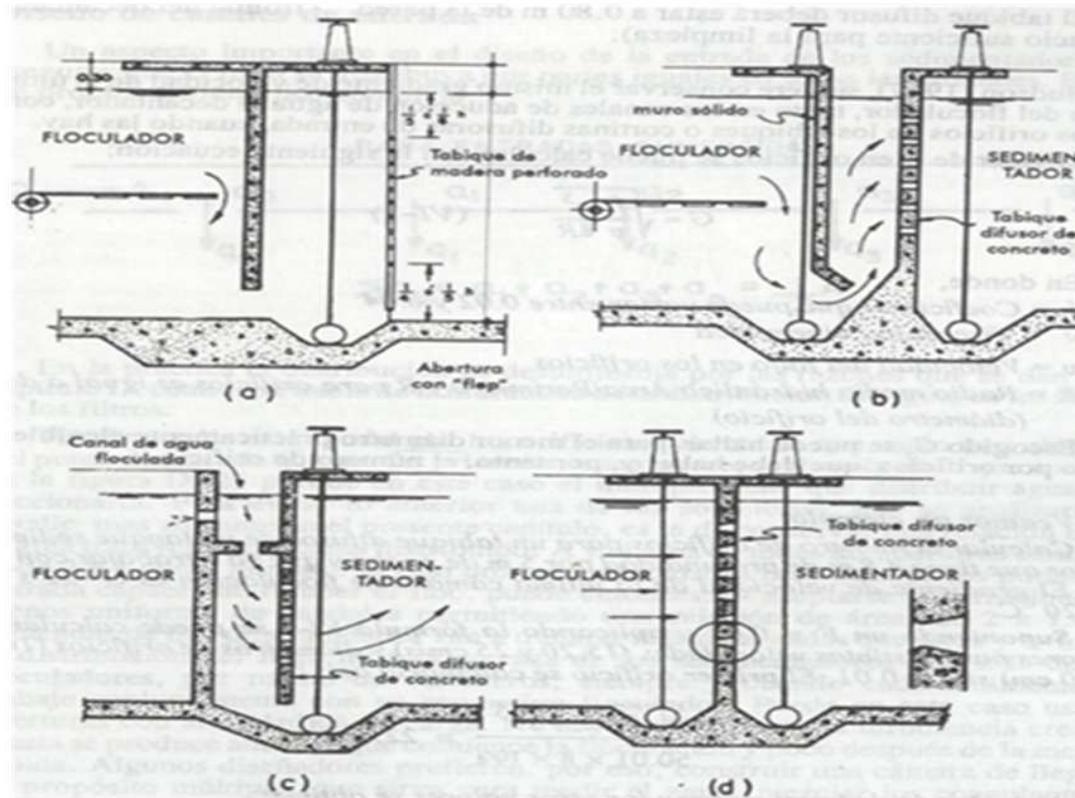
NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Dimensiones de rejillas de limpieza manual		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	16	1:1

Anexo XVII  
Modelo de decantadores según el tipo de flujo



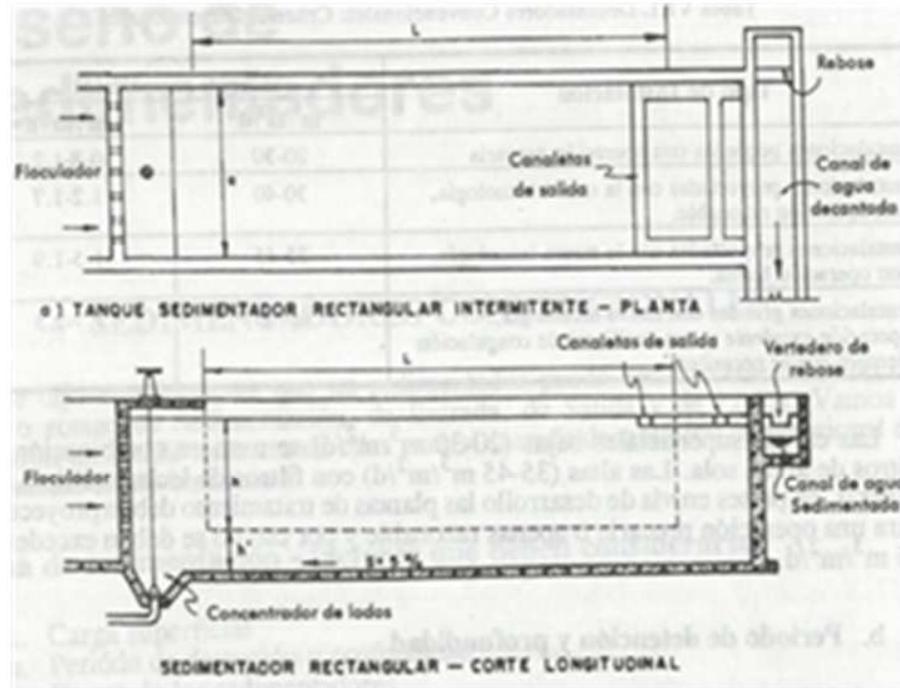
NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Modelo de decantadores según el tipo de flujo		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	17	1:1

Anexo XVIII  
Estructuras de entrada



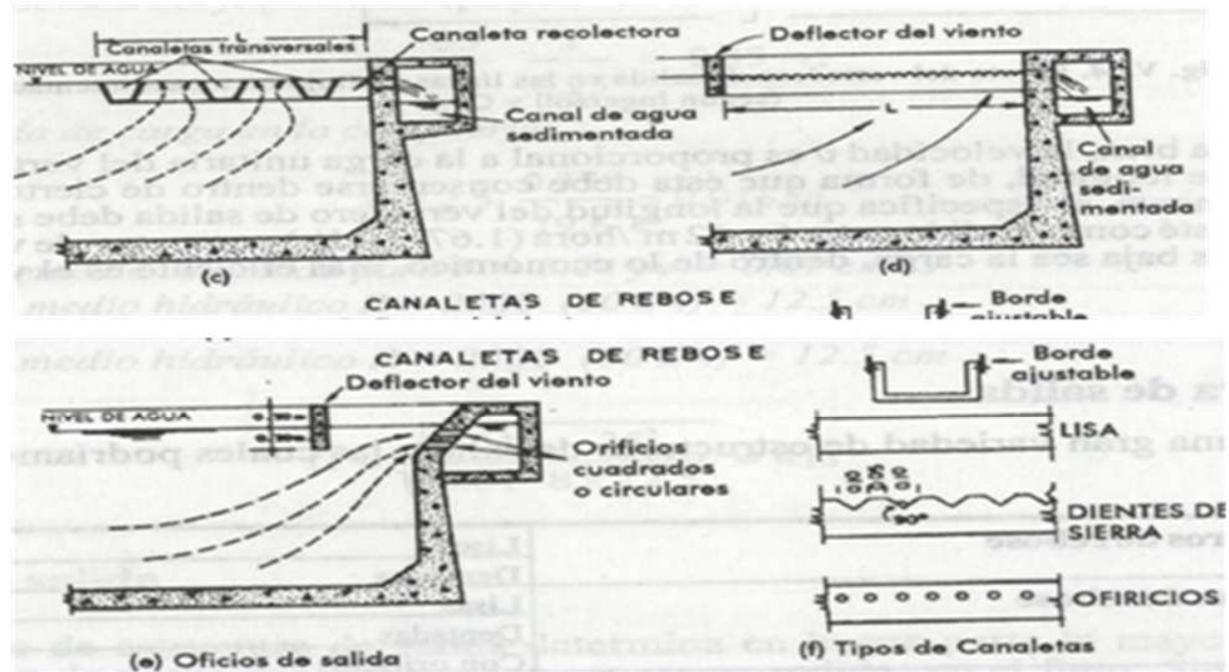
NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Estructuras de entrada		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	18	1:1

Anexo XIX  
Sedimentadores de entrada



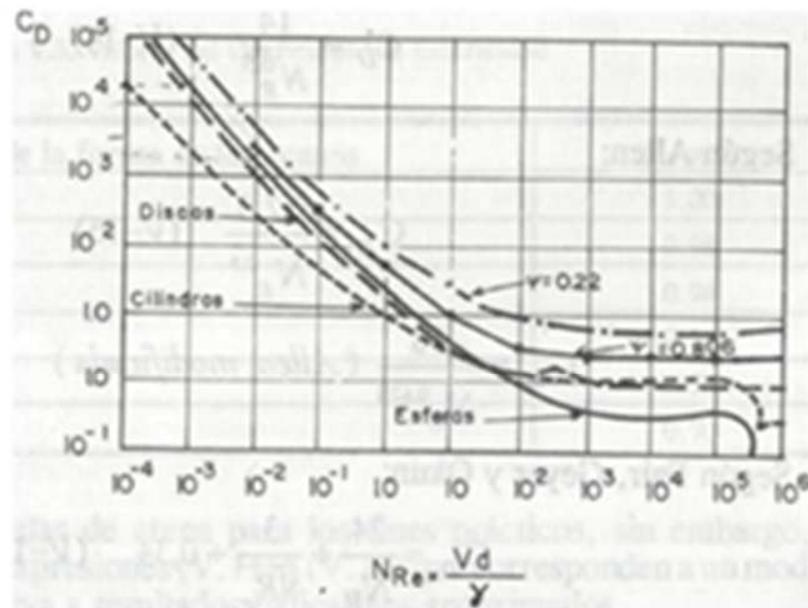
NOTA	Categoría del Diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO	Sedimentadores de entrada		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	INFORMACIÓN DISEÑO Por Calificar	Fecha	Lamina	Escala
		ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	14-04-2011	19	1:1

Anexo XX  
Estructuras de salida



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Estructuras de salida		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
			14-04-2011	20	1:1	

Anexo XXI  
Relación entre Coeficiente de arrastre y número de reynold



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Relación entre $C_D$ Y $N_{RE}$		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	21	1:1

Anexo XXII  
Fotos canal principal



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Canal principal		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	22	1:1

Anexo XXIII  
Fotos entrada al reservorio



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Entrada al reservorio		
	Certificado Por Aprobar ✓ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	23	1:1

Anexo XXIV  
Reservorio 62



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Reservorio 62		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	24	1:1

Anexo XXV  
Material sólido del reservorio



NOTA	Categoría del Diagrama		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORZO FACULTAD CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA ACÁN ANGEL	Material sólido del reservorio		
	Certificado Por Aprobar √ Aprobado	Información Diseño Por Calificar		Fecha	Lamina	Escala
				14-04-2011	25	1:1