

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “GABRIEL RENÉ MORENO”
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Carrera Ingeniería Civil



**“DISEÑO DE PLANTAS TIPO PARA LA POTABILIZACION DE AGUA
EN PEQUEÑAS COMUNIDADES”**

Realizado por:
Dr. Carlos Orlando Hernández Suárez

Santa Cruz - Bolivia
2002

TRABAJO DE INVESTIGACION**“DISEÑO DE PLANTAS TIPO PARA LA POTABILIZACION DE
AGUA EN PEQUEÑAS COMUNIDADES”****SEGUNDA ETAPA**

En el marco del art. 12 del Capítulo III del Reglamento del Trabajo de Investigación Científica y Transferencia Tecnológica de la Universidad Autónoma “Gabriel René Moreno”, que establece la propiedad intelectual, no está permitida la reproducción total o parcial de este documento, ni su tratamiento informático, ni la transcripción de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin la autorización previa y por escrito del (los) investigador(es) responsables del proyecto y la U.A.G.R.M.

DISEÑO DE PLANTAS TIPO PARA LA POTABILIZACION DE AGUA EN PEQUEÑAS COMUNIDADES

CONTENIDO

CAPITULO 1: GENERALIDADES

- 1.1. Antecedentes.
- 1.2. Objetivos del trabajo.
- 1.3. Límites espaciales.
- 1.4. Límites temporales.
- 1.5. Hipótesis.
- 1.6. Metodología de la investigación.

CAPITULO II: CONSIDERACIONES GENERALES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO HIDRAULICO DE LA PLANTA POTABILIZADORA.

- 2.1. Definición de pequeña comunidad.
- 2.2. Población de diseño.
- 2.3. Determinación del caudal de diseño para la planta potabilizadora.
- 2.4. Características de la calidad del agua afluente a las plantas a ser diseñada.
- 2.5. Calidad del agua efluente de las plantas.
- 2.6. Unidades de tratamiento que componen la planta.

CAPITULO III: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD ≤ 500 HABITANTES.

- 3.1. Parámetros empleados en el diseño.
- 3.2. Resultados del diseño hidráulico de la planta potabilizadora de agua.
- 3.3. Esquema en planta de la Planta potabilizadora de agua diseñada.

CAPITULO IV: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD DE 500 A 2.000 HABITANTES.

- 4.1. Parámetros empleados en el diseño.
- 4.2. Resultados del diseño hidráulico de la planta potabilizadora de agua.
- 4.3. Esquema en planta de la Planta potabilizadora de agua diseñada.

CAPITULO V: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD DE 2.000 A 5.000 HABITANTES.

- 5.1. Parámetros empleados en el diseño.
- 5.2. Resultados del diseño hidráulico de la planta potabilizadora de agua.
- 5.3. Esquema en planta de la Planta potabilizadora de agua diseñada.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones generales.

6.2. Recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

ANEXO I. Esquemas en planta.

Figura I.A. Planta potabilizadora para una comunidad ≤ 500 habitantes.

Figura I.B. Planta potabilizadora para una comunidad de 500 a 2.000 habitantes.

Figura I.C. Planta potabilizadora para una comunidad de 2.000 a 5.000 habitantes.

DISEÑO DE PLANTAS TIPO PARA LA POTABILIZACION DE AGUA EN PEQUEÑAS COMUNIDADES

CAPITULO 1: GENERALIDADES.

1.1. Antecedentes.

Bolivia es un país que cuenta con 1. 098.581 Km² de extensión territorial y una población estimada en alrededor de los 8.000.000 habitantes. Esta población, se halla dispersa a lo largo y ancho del territorio nacional, por lo general formando pequeñas comunidades que no exceden los 5.000 habitantes y que poseen como característica en común, que no cuentan con los servicios básicos.

Por razones políticas, geográficas, culturales y económicas, el 35% de la población se ha concentrado en el denominado “eje troncal”, conformado por las ciudades de La Paz, Santa Cruz de la Sierra y Cochabamba, que son las que reciben mayor atención de parte de los diferentes organismos e instituciones encargados de promover el desarrollo de la prestación de servicios básicos a la población.

El restante 65% de la población se halla distribuido en ciudades y comunidades de menor población.

En estas comunidades rurales o ubicadas en la periferia de las grandes urbes, uno de los indicadores de la pobreza en la que viven los habitantes es la falta de acceso a los servicios básicos.

Esta falta de acceso a los servicios básicos, como el abasto de agua potable y el tratamiento del agua una vez que ésta ha sido utilizada, constituye en sí un atentado al principio básico como lo es el derecho a la vida, ya que entre las incidencias más altas en las tasas de mortalidad infantil se encuentran las enfermedades gastrointestinales, originadas, entre muchas otras causas, en la falta de medidas de potabilización del agua procedente de las fuentes antes de ser consumida.

El presente trabajo intenta contribuir a paliar esta problemática con la realización del diseño de los sistemas propuestos para la potabilización del agua en pequeñas comunidades.

Estos sistemas, se han conformado con dispositivos versátiles en cuanto a sus dimensiones y de fácil operación y mantenimiento, lo que incrementa las posibilidades de utilización en las comunidades rurales.

1.2. Objetivos del trabajo.

El objetivo general de la presente investigación es aplicar los resultados obtenidos en el trabajo de investigación “Plantas potabilizadoras de agua para pequeñas comunidades”, realizando el diseño de plantas tipo para la potabilización del agua, que se puedan construir en pequeñas comunidades, ya sea en el área rural o en zonas deprimidas en la periferia de las grandes ciudades.

Los objetivos específicos son:

- Desarrollar diseños de plantas tipo para la potabilización del agua.
- Determinar el tamaño de cada uno de los dispositivos que conforma el sistema de tratamiento, en las plantas tipo.
- Calcular el área necesaria para instalar una planta de tratamiento típica en una pequeña comunidad.

1.3. Límites espaciales.

Los límites espaciales de la investigación, se establecen en el departamento de Santa Cruz, en comunidades rurales o de la periferia urbana, que se puedan catalogar como “pequeña comunidad”, (Población ≤ 5.000 habitantes), sin que esta definición sea una limitación para reproducir la experiencia en una comunidad similar en otra región del país.

1.4. Límites temporales.

El trabajo de investigación se desarrollará en el presente, utilizando tecnologías generadas a fines de siglo XIX y principios del siglo XX, que a lo largo del tiempo han sido modificadas en la búsqueda de una mayor eficiencia y simplicidad de diseño.

1.5. Hipótesis.

Existe tecnología simple para la potabilización del agua, que puede ser aplicada en pequeñas comunidades.

La potabilización del agua, en una comunidad contribuirá a mejorar la calidad de vida de los pobladores y disminuirá la incidencia de enfermedades de origen hídrico.

1.6. Metodología de la investigación.

Para el desarrollo de la investigación se utilizará el método científico. Partiendo de un estudio teórico que permita su comprobación en la práctica. El estudio, como tal, cuenta de tres etapas:

La 1ª ETAPA; en la cual se desarrolló la recopilación y análisis de la información relacionada con el tema, y se propuso sistemas de potabilización sencillos, aplicables a pequeñas comunidades.

La 2ª ETAPA; donde se pretende aplicar los resultados del estudio para el diseño de plantas tipo, aplicables en comunidades con población ≤ 5.000 habitantes.

La 3ª ETAPA; donde se aplicará el estudio en una comunidad, en la cual serán ejecutados los trabajos de diseño, construcción, puesta en marcha y evaluación del funcionamiento del sistema de tratamiento concebido, para corroborar los resultados de la investigación teórica.

El presente trabajo está encaminado a resolver la 2ª ETAPA de las tres que compone la investigación.

CAPITULO II: CONSIDERACIONES GENERALES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA PLANTA POTABILIZADORA.

2.1. Definición de pequeña comunidad.

Se define como pequeña comunidad a aquellas poblaciones cuyo número de habitantes es menor o igual a 5.000.

2.2. Población de diseño.

El presente trabajo, desde un inicio fue concebido para ser aplicado en poblaciones cuyo número de pobladores sea menor o igual a 5.000. Es por eso que el límite del tamaño tipo de la población está dado por este número de habitantes.

Sin embargo, el rango de aplicación entre 0 y 5.000, es demasiado amplio, y evidentemente no es lo mismo prever instalaciones para 500, que para 5.000 habitantes, es por ello que se ha definido rangos de población tipo para el diseño de las plantas potabilizadoras y que se detallan en la tabla 2.1.

RANGO DE POBLACION (Hab)
≤ 500
500 a 2.000
2.000 a 5.000

Tabla 2.1. Rangos de población a considerarse en el diseño.

2.3. Determinación del caudal de diseño para la planta potabilizadora

El caudal empleado en el diseño de los dispositivos, para los diferentes tamaños de población, se detallan en la tabla 2.2.

Rango de población (Hab)	Caudal de diseño		
	(l/s)	(m ³ /día)	(m ³ /s)
≤ 500	1	86,40	0,001
500 a 2.000	4	345,60	0,004
2.000 a 5.000	10	864,00	0,010

Tabla 2.2. Caudal de diseño empleado según tamaño de población.

El caudal de diseño (Q_d) se determinó como la suma del caudal de origen doméstico, expresado en estos casos como el caudal máximo diario ($Q_{máxd}$), y el caudal de origen comercial o institucional ($Q_{comercial}$), según se encuentra en la tabla 2.3.

Rango de población (Hab)	Caudal máximo diario (l/s)	Caudal de origen comercial o institucional (l/s)	Caudal de diseño (l/s)
≤ 500	0,69	0,11	$0,80 \approx 1$
500 a 2.000	2,78	0,40	$3,18 \approx 4$
2.000 a 5.000	6,94	1,10	$8,04 \approx 10$

Tabla 2.3. Caudal de diseño empleado según tamaño de población.

2.3.1. Caudal máximo diario.

Para la determinación del caudal máximo diario, se utilizaron los criterios que se describen en la tabla 2.4.

Descripción	Expresión	Unidad
Dotación media de agua	(D)	80 (l/hab*día)
Población de diseño	(Pd)	Tabla 2.1
Caudal medio diario	$Q_{md} = (P_f * D_f) / 86.400$	(l/s)
Consumo máximo diario	$Q_{máxd} = K_1 * Q_{md}$	(l/s)
Coeficiente de irregularidad diaria	K1	1,5

Tabla 2.4. Criterios para el cálculo del caudal de origen doméstico.

2.3.2. Caudal de origen comercial o institucional.

El caudal aportado por el sector comercial se determinó a través de la utilización de los estándares recomendados según el tipo de unidad que se analice. Para ello se realizaron visitas a comunidades rurales, con población similar a las estudiadas, de donde se determinó el número comercios e instituciones consumidoras de agua potable. En la tabla 2.5, se puede observar en detalle el cálculo del caudal de origen comercial o institucional, así como los datos básicos empleados en esta operación.

INSTITUCION	UNIDADES	APOORTE (l/unidad día)	POBLACION								
			≤ 500			500 a 2.000			2.000 a 5.000		
			Cantidad	Unidad	Caudal (l/s)	Cantidad	Unidad	Caudal (l/s)	Cantidad	Unidad	Caudal (l/s)
Jardín de niños	Alumnos	40	1	30	0,014	1	85	0,039	1	200	0,093
Escuelas	Alumnos	40	1	80	0,037	2	200	0,185	4	300	0,556
Hospital/ Posta sanitaria	Camas	325	1	5	0,019	1	10	0,038	1	20	0,075
	Empleados	40		3	0,001		5	0,002		10	0,004
Residencial	Clientes	150	1	10	0,017	2	25	0,087	3	50	0,260
	Empleados	40		3	0,000		6	0,000		15	0,007
Restaurantes	Comidas	10	2	30	0,007	3	60	0,021	5	80	0,046
	Empleados	50		8	0,005		15	0,009		25	0,014
Centro comercial	Empleados	50	-	-		1	5	0,003	1	20	0,012
Tiendas	Empleados	50	4	4	0,009	5	5	0,014	5	10	0,029
TOTAL CAUDAL DE ORIGEN COMERCIAL O INSTITUCIONAL	(l/s)		0,109			0,398			1,096		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5. Datos básicos empleados en el cálculo del caudal de origen comercial o institucional.

2.4. Características de la calidad del agua afluyente a las plantas a ser diseñada.

Para el diseño de las plantas potabilizadoras para pequeñas comunidades, se ha partido de considerar una fuente de abastecimiento superficial, ya bien sea en constante movimiento, en los denominados ríos o arroyos, o estática o detenida en depresiones naturales o artificiales, conocidas como lagos, lagunas y presas entre otras.

Esta selección, se realizó a partir de considerar que justamente este tipo de fuente es la más probable a encontrar en las zonas donde se asientan estas comunidades, y que para su uso por parte de la población, las mismas tienen que ser sometidas a un proceso de purificación riguroso.

Los parámetros principales considerados en el diseño, en cuanto a la calidad del agua afluyente a la planta, se presentan en la tabla 2.6. Los valores que allí se muestran fueron facilitados por la Unidad Técnica de Apoyo a los Laboratorios (UTALAB), y son el resultado de estudios realizados en el río Piraí, en épocas de crecidas, por lo que se constituyen en valores extremos a los efectos del diseño de las plantas potabilizadoras.

2.5 Calidad del agua efluente de las plantas.

La calidad del agua efluente de las plantas deberá reunir todos los requisitos que recomienda la Norma Boliviana para que un agua sea considerada potable, y que se recogen en la tabla 2.7.

PARÁMETRO	U.M.	VALOR EMPLEADO
Sólidos en suspensión	(mg/l)	676,00
Turbidez	(NTU)	150,00
Color	(UCN)	51,94
Oxígeno disuelto	(mg/l)	Superior a 4
Coliformes totales	NMP/100ml	100
Olor	--	Inofensivo
Sabor	--	Inofensivo

Tabla 2.6. Parámetros considerados en la calidad del agua afluente a la planta

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	VALOR ACEPTABLE
1	Turbidez	UNT	5
2	Color	UCN	15
3	Olor	--	INOFENSIVO
4	Sabor	--	INOFENSIVO
5	Sólidos totales	mg/l	1.000
6	Dureza total c. CaCO_3	mg/l	500
7	Aluminio	mg/l	0,2
8	Arsénico	mg/l	0,05
9	Cadmio	mg/l	0,005
10	Calcio	mg/l	200
11	Cianuro	mg/l	0,1
12	Cobre	mg/l	1,0
13	Flúor	mg/l	1,50
14	Manganeso	mg/l	0,3
15	Hierro total	mg/l	0,3
16	Mercurio	mg/l	0,0001
17	Plomo	mg/l	0,05
18	Selenio	mg/l	0,01
19	Sodio	mg/l	200
20	Sulfatos	mg/l	400
21	Cloruros	mg/l	250
22	Magnesio	mg/l	150
23	Nitratos	mg/l	10
24	Nitritos	mg/l	0,05
25	PH	mg/l	6,50 - 8,50
26	Zinc	mg/l	5,0
27	Coliformes totales	NMP/100ml	00
28	Escherichia coli	NMP/100ml	00

Fuente: Normas Bolivianas NB-689, NB 512-85

Tabla 2.7. Requisitos de calidad para el agua potable.

2.6. Unidades de tratamiento que componen las plantas.

Las principales unidades de tratamiento que de manera general, deberán componer las plantas potabilizadoras, está acorde a las características de la calidad del agua afluente que arribe a ellas. Si a lo antes mencionado, se le adiciona el hecho de que se está diseñando plantas para pequeñas comunidades, se puede llegar a la conclusión de que las unidades de tratamiento a colocar en estas deberán ser:

- Cribado
- Desarenado
- Sedimentación simple
- Prefiltración
- Filtración lenta
- Aireación
- Desinfección

En los casos que nos ocupan, las unidades de cribado y desarenado no serán tomadas en cuenta en el diseño de la planta potabilizadora, debido a que de manera general estos dispositivos se colocan en la obra de toma del agua de la fuente. Sin embargo esto no significa que no se requieran para el tratamiento, máxime si se ha planteado que la fuente de abastecimiento a ser considerada para estas comunidades es la superficial.

De lo antes mencionado se recomienda una vez identificada la zona donde será ubicada la toma de agua de la fuente, proceder a diseñar las unidades de cribado y desarenado que se ajusten a las condiciones particulares de cada proyecto.

El resto de las unidades de tratamientos se considerarán en el cálculo de las plantas tipos que a continuación serán calculadas.

CAPITULO III: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD ≤ 500 HABITANTES.

3.1. Parámetros empleados en el diseño.

Población de diseño: Menor o igual a 500 habitantes.

Caudal de diseño: $Q_d = 1,00 \text{ (l/s)} = 0,001 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 86,40 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 3,60 \text{ (m}^3 / \text{h)}$

Fuente de abastecimiento: Superficial.

Calidad del agua afluyente:

Sólidos en suspensión: $S_s = 676 \text{ (mg/l)}$

Turbidez = 200 (NTU)

Color = 90 (UCN)

Oxígeno disuelto $> 4 \text{ (mg / l)}$

Coliformes totales = 100 NMP/ 100 ml

Olor : Inofensivo

Sabor: Inofensivo.

3.2. Resultados del diseño hidráulico de la planta potabilizadora de agua.

3.2.1. Resultados del diseño del tanque sedimentador rectangular simple.

En la tabla 3.1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del tanque sedimentador.

Datos del afluyente al sedimentador:	
Caudal de diseño (Q_d)	$Q_d = 1,0 \text{ (l/s)} = 0,001 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 86,40 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 3,6 \text{ (m}^3 / \text{h)}$
Sólidos en suspensión (S_s)	$S_s = 676,00 \text{ (mg/l)}$
Turbidez	Turbidez = 150,00 (NTU)
Color	Color = 51,94 (UCN)
Tiempo de retención en el sedimentador:	$Tr = 3 \text{ (h)} = 0,125 \text{ (días)}$

Tabla 3.1. Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

Dimensiones del sedimentador:	
Area superficial (As)	As = 4,32 (m ²)
Relación largo : ancho	1 : 2
Largo (L)	L = 2,94 (m)
Ancho (a)	a = 1,47 (m)
Volumen del sedimentador (Vs).	Vs = 10,80 (m ³)
Altura media del sedimentador (hm).	hm = 2,50 (m)
Altura de la pared de salida (hps)	hps = 2,46 (m)
Profundidad máxima en la zona de sedimentación (hmáx).	hmáx = 2,54 (m)
Cálculo de la tolva de lodos o fangos:	
Caudal de fango (Qf)	Qf = 0,79 (m ³ / días)
Tiempo de extracción de los lodos (text. lodos)	Text.lodos = 12 (h)
Volumen de fango a almacenar en la tolva (Vf)	Vf = 0,40 (m ³)
Número de tolvas a colocar (N° tolvas)	N° tolvas = 2
Ancho superficial de la tolva (a)	a = 0,735 (m)
Ancho de la base de la tolva (b)	b = 0,50 (m)
Volumen de fango de una tolva (Vf1).	Vf1 = 0,20 (m ³)
Profundidad de la tolva (Y).	Y = 0,51 (m)
Angulo de inclinación de la tolva (φ).	φ = 77°
Zona de salida del sedimentador	
Tipo de salida	A través de Orificios
Altura máxima del agua en la salida (Hmáx.sed)	Hmáx.sed = hps = 2,46 (m)
Altura de pared en la zona de salida (Hpared)	Hpared = 2,76 (m)
Número de orificios de salida (N).	N = 1
Carga sobre el orificio (Ho)	Ho = 0,30 m
Caudal que circulará por cada orificio (Qo)	Qo = 0,001 (m ³ / s)
Diámetro del orificio (D).	D = 1"

Tabla 3.1. (Cont.) Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

Tubería que conducirá el agua desde la fuente hasta el sedimentador.	
Caudal de diseño de la tubería (Q)	$Q = 1 \text{ (l/s)} = 0,001 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 86,40 \text{ (m}^3 / \text{días)}$
Pendiente de la tubería (So).	$So = 0,001$
Tipo de tubería a emplear	PVC
Tipo de circulación	Conducto trabajando a sección llena.
Velocidad de circulación	$V = 0,30 \text{ m / s}$
Diámetro de la tubería (D)	$D = 0,13 \text{ (m)} = 13 \text{ cm} = 5,12'' \approx 5''$
Zona de entrada al sedimentador	
Diámetro de la tubería perforada a la entrada (D)	$D = 5''$ diámetro igual al que proviene de la fuente
Longitud de la tubería perforada (L).	$L = 1,37 \text{ (m)}$
Ancho de la base que sustenta la tubería (Abase)	$Abase = 0,33 \text{ (m)}$
Altura de la base que sustenta la tubería (hbase)	$Hbase = 0,83 \text{ (m)}$
Diámetro de los orificios de la tubería de entrada perforada (ϕ orificio).	ϕ orificio = 1"
Tabique difusor	
Separación del tabique de la pared del sedimentador (at).	$at = 0,80 \text{ (m)}$
Distancia vertical entre la parte inferior de tabique y la superficie de la tolva (ht).	$ht = 0,85 \text{ (m)}$
Distancia vertical de la línea superior de orificios en el tabique difusor medida desde la cota NAN (hts).	$hts = 0,51 \text{ (m)}$
Diámetro de los orificios del tabique (ϕ)	$\phi = 1''$
Forma de los orificios	Circular
Cota superior del tabique difusor	Deberá rebasar como mínimo el nivel máximo del agua dentro del sedimentador
Características del efluente que abandona el sedimentador	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 75,00 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 36,36 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 270 (mg/l)

Tabla 3.1. (Cont.) Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

3.2.2. Resultados del diseño del filtro grueso de flujo ascendente.

En la tabla 3.2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del filtro grueso de flujo ascendente.

Datos del afluente al filtro grueso de flujo ascendente:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 1 \text{ (l/s)} = 0,001 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 86,4 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 3,6 \text{ (m}^3 / \text{h)}$
Turbidez afluente	Turbidez afluente = 75,00 (NTU)
Color afluente	Color afluente = 36,36 (UCN)
Sólidos en suspensión afluente	Sólidos en suspensión afluente = 270 (mg/l)
Detalle de las tuberías procedentes del sedimentador:	
Diámetro de las tuberías (D)	$D = 1'' = 0,0254 \text{ (m)}$
Número de tuberías (N)	$N = 1$
Velocidad de filtración	
Velocidad de filtración (Vf)	$Vf = 0,75 \text{ (m / h)} = 0,0002 \text{ (m / s)} = 18 \text{ (m / d)}$
Número de unidades de filtración:	
Número de unidades de filtración	$N = 1$
Dimensiones de los filtros:	
Area superficial del filtro (Af).	$Af = 5,00 \text{ (m}^2 \text{)}$
Largo del filtro (L)	$L = 2,50 \text{ (m)}$
Ancho del filtro (A)	$A = 2,00 \text{ (m)}$
Altura total del tanque (ht)	$ht = 2,11 \text{ (m)}$
Dimensiones del orificio de salida:	
Número de orificios (N)	$N = 1$
Carga sobre el orificio (Ho)	$Ho = 0,30 \text{ (m)} = 30 \text{ cm}$
Diámetro del orificio (ϕ)	$\phi = 1'' = 2,54 \text{ (cm)}$
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	$h = 0,10 \text{ (m)}$

Tabla 3.2. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

Dimensionamiento de la unidad de filtración:	
Espesor de la losa de fondo	0,15 (m)
Diámetro de la tubería proveniente del sedimentador	0,0254 (m)
Separación de la tubería que alimenta el filtro del piso	0,05 (m)
Altura del ladrillo o prisma de hormigón que sostiene el medio filtrante	0,07 (m)
Espesor de la capa de soporte	0,30 (m)
Espesor de la capa de filtración intermedia	0,60 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,30 (m)
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	0,10 (m)
Carga sobre el orificio (Ho)	0,30 (m)
Bordo libre	0,20 (m)
Características del medio filtrante de la unidad de filtración gruesa:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	1,50 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	1° - 15 (mm) 2° - 10 (mm) 3° - 5 (mm)
Volumen requerido en la capa de intermedia	1° - 1,00 (m ³) 2° - 1,00 (m ³) 3° - 1,00 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	3 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	1,50 (m ³)
Características del efluente que abandona el filtro grueso:	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 22,50 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 20,00 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 16,20 (mg/l)

Tabla 3.2 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

3.2.3. Resultados del diseño del filtro lento.

En la tabla 3.3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del filtro lento.

Datos del afluente al filtro lento:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 1,0 \text{ (l/s)} = 0,001 \text{ (m}^3/\text{s)} = 86,4 \text{ (m}^3/\text{días)} = 3,6 \text{ (m}^3/\text{h)}$
Turbidez afluente	Turbidez afluente = 22,50 (NTU)
Color afluente	Color afluente = 20,00 (UCN)
Sólidos en suspensión afluente	Sólidos en suspensión afluente = 16,20 (mg/l)
Detalle de las tuberías procedentes del filtro grueso de flujo ascendente:	
Diámetro de las tuberías (D)	$D = 1'' = 0,0254 \text{ (m)}$
Número de tuberías (N)	$N = 2$
Carga de diseño del filtro:	
Carga de diseño del filtro (Cf).	$Cf = 7,00 \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{días)}$
Número de unidades de filtración:	
Número de unidades de filtración	$N = 1$
Dimensiones de los filtros:	
Area superficial del filtro (Af).	$Af = 12,34 \text{ (m}^2)$
Largo del filtro (L)	$L = 3,53 \text{ (m)}$
Ancho del filtro (A)	$A = 3,50 \text{ (m)}$
Altura total del tanque (ht)	$ht = 2,70 \text{ (m)}$
Dimensionamiento de la capa de soporte o de drenaje de las unidades de filtración:	
Espesor de la capa inferior o de soporte	0,20 (m)
Espesor de la capa intermedia	0,10 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,10 (m)

Tabla 3.3. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

Características del medio filtrante de la capa de soporte de las unidades de filtración:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	2,47 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	10 (mm)
Volumen requerido en la capa intermedia	1,23 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	5 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	1,23 (m ³)
Dimensionamiento de la capa de filtración de las unidades de filtración:	
Espesor de la capa de filtración	1,00 (m)
Características del medio filtrante de la capa de filtración de las unidades de filtración:	
Tamaño de las partículas de la capa superior	0,15 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	12,34 (m ³)
Dimensionamiento de la entrada al filtro:	
Velocidad de entrada del flujo (V)	V = 0,50 (m / s)
Diámetro del tubo (D).	D = 2"
Dimensionamiento de la salida del filtro:	
Diámetro de la tubería de salida (D).	D = 2"
Elevación del nivel del agua sobre el orificio (H).	H = 2,50 (cm)
Distancia vertical entre el borde de la tubería y la superficie del agua sobrenadante en el filtro (Htotal).	Htotal = 0,18 (m)
Dimensionamiento del sistema de drenaje inferior:	
Número de hileras de tuberías a colocar en el drenaje inferior (N° hileras).	N° hileras = 2
Diámetro de la tubería de drenaje inferior (Dtd).	Dtd = 2"
Separación entre hileras de tuberías en el drenaje inferior (S).	S = 1,17 (m)
Tipo de tubería a colocar en el sistema de drenaje inferior	Tubería de PVC perforada

Tabla 3.3 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

Características del efluente que abandona el filtro lento:	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 4,50 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 14,00 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 1,62 (mg/l)

Tabla 3.3 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

3.2.4. Resultados del diseño del depósito de almacenamiento.

En la tabla 3.4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del depósito de almacenamiento.

Datos del afluente al tanque de almaceamiento:	
Caudal de diseño = (Qmáxd)	Qmáxd = 0,69 (l/s) = 2,48 (m ³ / h)
Dimensionamiento del depósito de almacenamiento:	
Volumen del depósito (Vd)	Vd = 25,00 (m ³)
Profundidad total del tanque en la zona de succión (Ht).	Ht = 2,50 (m)
Profundidad total del tanque en la zona restante (Ht).	Ht = 2,10 (m)
Area mojada útil del depósito (A)	A = 13,89 (m ²)
Ancho del depósito (a)	a = 3,50 (m)
Largo del depósito (b)	b = 3,97 (m)
Altura entre el nivel mínimo de agua en el cárcamo y la parte superior del colador o criba (S).	S = 0,23 (m)
Distancia mínima entre la base del cárcamo de bombeo y la boca de la succión (Ymíns)	Ymíns = 2,54 (cm)
Distancia mínima entre la pared lateral del cárcamo y la tubería de succión (Xmíns)	Xmíns = 2,54 (cm)

Tabla 3.4. Resumen de los resultados obtenidos en el depósito de almacenamiento.

3.3. Esquema en planta de la planta potabilizadora de agua diseñada.

Finalmente en el ANEXO I.A, se presenta un esquema en planta de la planta potabilizadora de agua diseñada.

Del mismo se puede concluir, que la planta potabilizadora de agua diseñada para el abasto a una población ≤ 500 habitantes, requiere de un área total de 229,23 m².

CAPITULO IV: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD DE 500 A 2.000 HABITANTES.

4.1. Parámetros empleados en el diseño.

Población de diseño: De 500 a 2.000 habitantes.

Caudal de diseño: $Q_d = 4 \text{ (l/s)} = 0,004 \text{ (m}^3/\text{s)} = 345,60 \text{ (m}^3/\text{día)} = 14,40 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Fuente de abastecimiento: Superficial.

Calidad del agua afluente:

Sólidos en suspensión: $S_s = 676,00 \text{ (mg/l)}$

Turbidez = 150,00 (NTU)

Color = 51,94 (UCN)

Oxígeno disuelto $> 4 \text{ (mg / l)}$

Coliformes totales = 100 NMP/ 100 ml

Olor : Inofensivo

Sabor: Inofensivo.

4.2. Resultados del diseño hidráulico de la planta potabilizadora de agua.

4.2.1. Resultados del diseño del tanque sedimentador rectangular simple.

En la tabla 4.1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del tanque sedimentador.

Datos del afluente al sedimentador:	
Caudal de diseño (Q_d)	$Q_d = 4,0 \text{ (l/s)} = 0,004 \text{ (m}^3/\text{s)} = 345,6 \text{ (m}^3/\text{días)} = 14,4 \text{ (m}^3/\text{h)}$
Sólidos en suspensión (S_s)	$S_s = 676,00 \text{ (mg/l)}$
Turbidez	Turbidez = 150,00 (NTU)
Color	Color = 51,91 (UCN)
Tiempo de retención en el sedimentador:	$Tr = 3 \text{ (h)} = 0,125 \text{ (días)}$

Tabla 4.1. Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

Dimensiones del sedimentador:	
Area superficial (As)	As = 11,52 (m ²)
Relación largo : ancho	1 : 2
Largo (L)	L = 4,80 (m)
Ancho (a)	a = 2,40 (m)
Volumen del sedimentador (Vs).	Vs = 43,20 (m ³)
Altura media del sedimentador (hm).	hm = 3,75 (m)
Altura de la pared de salida (hps)	hps = 3,68 (m)
Profundidad máxima en la zona de sedimentación (hmáx).	hmáx = 3,82 (m)
Cálculo de la tolva de lodos o fangos:	
Caudal de fango (Qf)	Qf = 3,14 (m ³ / días)
Tiempo de extracción de los lodos (text. lodos)	Text.lodos = 8 (h)
Volumen de fango a almacenar en la tolva (Vf)	Vf = 1,04 (m ³)
Número de tolvas a colocar (N° tolvas)	N° tolvas = 3
Ancho superficial de la tolva (a)	a = 0,80 (m)
Ancho de la base de la tolva (b)	b = 0,50 (m)
Volumen de fango de una tolva (Vf1).	Vf1 = 0,35 (m ³)
Profundidad de la tolva (Y).	Y = 0,85 (m)
Angulo de inclinación de la tolva (φ).	φ = 80°
Zona de salida del sedimentador	
Tipo de salida	A través de Orificios
Altura máxima del agua en la salida (Hmáx.sed)	Hmáx.sed = hps = 3,68 (m)
Altura de pared en la zona de salida (Hpared)	Hpared = 3,98 (m)
Número de orificios de salida (N).	N = 2
Carga sobre el orificio (Ho)	Ho = 0,30 m
Caudal que circulará por cada orificio (Qo)	Qo = 0,002 (m ³ / s)
Diámetro del orificio (D).	D = 11/2" = 3,81 (cm)

Tabla 4.1. (Cont.) Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

Tubería que conducirá el agua desde la fuente hasta el sedimentador.	
Caudal de diseño de la tubería (Q)	$Q = 4 \text{ (l/s)} = 0,004 \text{ (m}^3/\text{s)} = 345,60 \text{ (m}^3/\text{días)}$
Pendiente de la tubería (So).	$So = 0,001$
Tipo de tubería a emplear	PVC
Tipo de circulación	Conducto trabajando a sección llena.
Velocidad de circulación	$V = 0,40 \text{ m/s}$
Diámetro de la tubería (D)	$D = 0,21 \text{ (m)} = 21 \text{ cm} = 8,2'' \approx 8''$
Zona de entrada al sedimentador	
Diámetro de la tubería perforada a la entrada (D)	$D = 8''$ diámetro igual al que proviene de la fuente
Longitud de la tubería perforada (L).	$L = 2,30 \text{ (m)}$
Ancho de la base que sustenta la tubería (Abase)	$Abase = 0,41 \text{ (m)}$
Altura de la base que sustenta la tubería (hbase)	$Hbase = 0,91 \text{ (m)}$
Diámetro de los orificios de la tubería de entrada perforada (ϕ orificio).	ϕ orificio = 1"
Tabique difusor	
Separación del tabique de la pared del sedimentador (at).	$at = 0,80 \text{ (m)}$
Distancia vertical entre la parte inferior de tabique y la superficie de la tolva (ht).	$ht = 1,27 \text{ (m)}$
Distancia vertical de la línea superior de orificios en el tabique difusor medida desde la cota NAN (hts).	$hts = 0,76 \text{ (m)}$
Diámetro de los orificios del tabique (ϕ)	$\phi = 1''$
Forma de los orificios	Circular
Cota superior del tabique difusor	Deberá rebasar como mínimo el nivel máximo del agua dentro del sedimentador
Características del efluente que abandona el sedimentador	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 75,00 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 36,36 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 270 (mg/l)

Tabla 4.1. (Cont.) Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

4.2.2. Resultados del diseño del filtro grueso de flujo ascendente.

En la tabla 4.2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del filtro grueso de flujo ascendente.

Datos del afluente al filtro grueso de flujo ascendente:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 4 \text{ (l/s)} = 0,004 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 345,6 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 14,4 \text{ (m}^3 / \text{h)}$
Turbidez afluente	Turbidez afluente = 75,00 (NTU)
Color afluente	Color afluente = 36,36 (UCN)
Sólidos en suspensión afluente	Sólidos en suspensión afluente = 270 (mg/l)
Detalle de las tuberías procedentes del sedimentador:	
Diámetro de las tuberías (D)	$D = 11/2'' = 0,0381 \text{ (m)}$
Número de tuberías (N)	$N = 2$
Velocidad de filtración	
Velocidad de filtración (Vf)	$Vf = 0,75 \text{ (m / h)} = 0,0002 \text{ (m / s)} = 18 \text{ (m / d)}$
Número de unidades de filtración:	
Número de unidades de filtración	$N = 1$
Dimensiones de los filtros:	
Area superficial del filtro (Af).	$Af = 20,00 \text{ (m}^2 \text{)}$
Largo del filtro (L)	$L = 5,00 \text{ (m)}$
Ancho del filtro (A)	$A = 4,00 \text{ (m)}$
altura total del tanque (ht)	$Ht = 2,15 \text{ (m)}$
Dimensiones del orificio de salida:	
Número de orificios (N)	$N = 2$
Carga sobre el orificio (Ho)	$Ho = 0,30 \text{ (m)} = 30 \text{ cm}$
Diámetro del orificio (ϕ)	$\phi = 11/2'' = 3,81 \text{ (cm)}$
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	$h = 0,10 \text{ (m)}$

Tabla 4.2. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

Dimensionamiento de la unidad de filtración:	
Espesor de la losa de fondo	0,15 (m)
Diámetro de la tubería proveniente del sedimentador	0,051 (m)
Separación de la tubería que alimenta el filtro del piso	0,05 (m)
Altura del ladrillo o prisma de hormigón que sostiene el medio filtrante	0,07 (m)
Espesor de la capa de soporte	0,30 (m)
Espesor de la capa de filtración intermedia	0,60 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,30 (m)
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	0,10 (m)
Carga sobre el orificio (Ho)	0,30 (m)
Bordo libre	0,20 (m)
Características del medio filtrante de la unidad de filtración gruesa:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	6,00 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	1° - 15 (mm) 2° - 10 (mm) 3° - 5 (mm)
Volumen requerido en la capa de intermedia	1° - 4,00 (m ³) 2° - 4,00 (m ³) 3° - 4,00 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	3 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	6,00 (m ³)
Características del efluente que abandona el filtro grueso:	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 22,50 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 20,00 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 16,20 (mg/l)

Tabla 4.2 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

4.2.3. Resultados del diseño del filtro lento.

En la tabla 4.3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del filtro lento.

Datos del afluente al filtro lento:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 4 \text{ (l/s)} = 0,004 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 345,6 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 14,4 \text{ (m}^3 / \text{h)}$
Turbidez afluente	Turbidez afluente = 22,50 (NTU)
Color afluente	Color afluente = 20,00 (UCN)
Sólidos en suspensión afluente	Sólidos en suspensión afluente = 16,20 (mg/l)
Detalle de las tuberías procedentes del filtro grueso de flujo ascendente:	
Diámetro de las tuberías (D)	$D = 4'' = 0,1016 \text{ (m)}$
Número de tuberías (N)	$N = 1$
Carga de diseño del filtro:	
Carga de diseño del filtro (Cf).	$Cf = 7,20 \text{ (m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{días)}$
Número de unidades de filtración:	
Número de unidades de filtración	$N = 3$
Dimensiones de los filtros:	
Area superficial del filtro (Af).	$Af = 16,00 \text{ (m}^2 \text{)}$
Largo del filtro (L)	$L = 4,00 \text{ (m)}$
Ancho del filtro (A)	$A = 4,00 \text{ (m)}$
altura total del tanque (ht)	$Ht = 2,70 \text{ (m)}$
Dimensionamiento de la capa de soporte o de drenaje de las unidades de filtración:	
Espesor de la capa inferior o de soporte	0,20 (m)
Espesor de la capa intermedia	0,10 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,10 (m)

Tabla 4.3. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

Características del medio filtrante de la capa de soporte de las unidades de filtración:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	3,20 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	10 (mm)
Volumen requerido en la capa intermedia	1,60 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	5 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	1,60 (m ³)
Dimensionamiento de la capa de filtración de las unidades de filtración:	
Espesor de la capa de filtración	1,00 (m)
Características del medio filtrante de la capa de filtración de las unidades de filtración:	
Tamaño de las partículas de la capa superior	0,15 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	16,00 (m ³)
Dimensionamiento de la entrada al filtro:	
Velocidad de entrada del flujo (V)	V = 0,50 (m / s)
Diámetro del tubo (D).	D = 4"
Dimensionamiento de la salida del filtro:	
Diámetro de la tubería de salida (D).	D = 4"
Elevación del nivel del agua sobre el orificio (H).	H = 0,02 (cm)
Distancia vertical entre el borde de la tubería y la superficie del agua sobrenadante en el filtro (Htotal).	Htotal = 0,15 (m)
Dimensionamiento del sistema de drenaje inferior:	
Número de hileras de tuberías a colocar en el drenaje inferior (N° hileras).	N° hileras = 3
Diámetro de la tubería de drenaje inferior (Dtd).	Dtd = 3"
Separación entre hileras de tuberías en el drenaje inferior (S).	S = 1,00 (m)
Tipo de tubería a colocar en el sistema de drenaje inferior	Tubería de PVC perforada

Tabla 4.3 (Cont.). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

Características del efluente que abandona el filtro lento:	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 4,50 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 14,00 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 3,24 (mg/l)

Tabla 4.3 (Cont.). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

4.2.4. Resultados del diseño del depósito de almacenamiento.

En la tabla 4.4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del depósito de almacenamiento.

Datos del afluente al tanque de almaceamiento:	
Caudal de diseño = (Q _{máxd})	Q _{máxd} = 2,78 (l/s) = 10,00 (m ³ / h)
Dimensionamiento del depósito de almacenamiento:	
Volumen del depósito (V _d)	V _d = 100,00 (m ³)
Profundidad total del tanque en la zona de succión (H _t).	H _t = 2,50 (m)
Profundidad total del tanque en la zona restante (H _t).	H _t = 2,10 (m)
Area mojada útil del depósito (A)	A = 55,56 (m ²)
Ancho del depósito (a)	a = 4,40 (m)
Largo del depósito (b)	b = 12,63 (m)
Altura entre el nivel mínimo de agua en el cárcamo y la parte superior del colador o criba (S).	S = 0,71 (m)
Distancia mínima entre la base del cárcamo de bombeo y la boca de la succión (Y _{míns})	Y _{míns} = 2,54 (cm)
Distancia mínima entre la pared lateral del cárcamo y la tubería de succión (X _{míns})	X _{míns} = 2,54 (cm)

Tabla 4.4. Resumen de los resultados obtenidos en el depósito de almacenamiento.

4.3. Esquema en planta de la planta potabilizadora de agua diseñada.

Finalmente en el ANEXO I.B, se presenta un esquema en planta de la planta potabilizadora de agua diseñada.

Del mismo se puede concluir, que la planta potabilizadora de agua diseñada para el abasto a una población comprendida entre 500 a 2.000 habitantes, requiere de un área total de 464,92 m².

CAPITULO V: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD DE 2.000 A 5.000 HABITANTES.

5.1. Parámetros empleados en el diseño.

Población de diseño: De 2.000 a 5.000 habitantes.

Caudal de diseño: $Q_d = 10 \text{ (l/s)} = 0,01 \text{ (m}^3/\text{s)} = 864 \text{ (m}^3/\text{días)} = 36 \text{ (m}^3/\text{h)}$

Fuente de abastecimiento: Superficial.

Calidad del agua afluente:

Sólidos en suspensión: $S_s = 676,00 \text{ (mg/l)}$

Turbidez = 150,00 (NTU)

Color = 51,94 (UCN)

Coliformes totales = 100 NMP/ 100 ml

Oxígeno disuelto > 4 (mg / l)

Olor : Inofensivo

Sabor: Inofensivo.

5.2. Resultados del diseño hidráulico de la planta potabilizadora de agua.

5.2.1. Resultados del diseño del tanque sedimentador rectangular simple.

En la tabla 5.1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del tanque sedimentador.

Datos del afluente al sedimentador:	
Caudal de diseño (Q_d)	$Q_d = 10 \text{ (l/s)} = 0,01 \text{ (m}^3/\text{s)} = 864 \text{ (m}^3/\text{días)} = 36 \text{ (m}^3/\text{h)}$
Sólidos en suspensión (S_s)	$S_s = 676,00 \text{ (mg/l)}$
Turbidez	Turbidez = 150,00 (NTU)
Color	Color = 51,94 (UCN)
Tiempo de retención en el sedimentador:	$Tr = 3 \text{ (h)} = 0,125 \text{ (días)}$

Tabla 5.1. Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

Dimensiones del sedimentador:	
Area superficial (A_s)	$A_s = 28,80 \text{ (m}^2 \text{)}$
Relación largo : ancho	1 : 3
Largo (L)	$L = 9,30 \text{ (m)}$
Ancho (a)	$a = 3,10 \text{ (m)}$
Volumen del sedimentador (V_s).	$V_s = 108 \text{ (m}^3 \text{)}$
Altura media del sedimentador (hm).	$h_m = 3,75 \text{ (m)}$
Altura de la pared de salida (hps)	$h_{ps} = 3,61 \text{ (m)}$
Profundidad máxima en la zona de sedimentación ($h_{m\acute{a}x}$).	$h_{m\acute{a}x} = 3,89 \text{ (m)}$
Cálculo de la tolva de lodos o fangos:	
Caudal de fango (Q_f)	$Q_f = 7,86 \text{ (m}^3 \text{ / días)}$
Tiempo de extracción de los lodos (text. lodos)	Text.lodos = 6 (h)
Volumen de fango a almacenar en la tolva (V_f)	$V_f = 1,34 \text{ (m}^3 \text{)}$
Número de tolvas a colocar (N° tolvas)	$N^\circ \text{ tolvas} = 3$
Ancho superficial de la tolva (a)	$a = 1,00 \text{ (m)}$
Ancho de la base de la tolva (b)	$b = 0,50 \text{ (m)}$
Volumen de fango de una tolva (V_{f1}).	$V_{f1} = 0,45 \text{ (m}^3 \text{)}$
Profundidad de la tolva (Y).	$Y = 0,77 \text{ (m)}$
Angulo de inclinación de la tolva (ϕ).	$\phi = 72^\circ$
Zona de salida del sedimentador	
Tipo de salida	A través de Orificios
Altura máxima del agua en la salida ($H_{m\acute{a}x.sed}$)	$H_{m\acute{a}x.sed} = h_{ps} = 3,61 \text{ (m)}$
Altura de pared en la zona de salida (H_{pared})	$H_{pared} = 3,91 \text{ (m)}$
Número de orificios de salida (N).	$N = 3$
Carga sobre el orificio (H_o)	$H_o = 0,30 \text{ m}$
Caudal que circulará por cada orificio (Q_o)	$Q_o = 0,0033 \text{ (m}^3 \text{ / s)}$
Diámetro del orificio (D).	$D = 0,046 \text{ m} = 4,60 \text{ cm} = 1,81'' = 2''$

Tabla 5.1 (Cont.). Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

Tubería que conducirá el agua desde la fuente hasta el sedimentador.	
Caudal de diseño de la tubería (Q)	$Q = 10 \text{ (l/s)} = 0,01 \text{ (m}^3/\text{s)} = 864 \text{ (m}^3/\text{días)}$
Pendiente de la tubería (So).	$So = 0,001$
Tipo de tubería a emplear	PVC
Tipo de circulación	Conducto trabajando a sección llena.
Velocidad de circulación	$V = 0,40 \text{ m/s}$
Diámetro de la tubería (D)	$D = 0,20 \text{ (m)} = 20 \text{ cm} = 7,8'' \approx 8''$
Zona de entrada al sedimentador	
Diámetro de la tubería perforada a la entrada (D)	$D = 8''$ diámetro igual al que proviene de la fuente
Longitud de la tubería perforada (L).	$L = 3,00 \text{ (m)}$
Ancho de la base que sustenta la tubería (Abase)	$Abase = 0,40 \text{ (m)}$
Altura de la base que sustenta la tubería (hbase)	$hbase = 0,90 \text{ (m)}$
Diámetro de los orificios de la tubería de entrada perforada (ϕ orificio).	ϕ orificio = 1"
Tabique difusor	
Separación del tabique de la pared del sedimentador (at).	$at = 0,80 \text{ (m)}$
Distancia vertical entre la parte inferior de tabique y la superficie de la tolva (ht).	$ht = 1,30 \text{ (m)}$
Distancia vertical de la línea superior de orificios en el tabique difusor medida desde la cota NAN (hts).	$hts = 0,78 \text{ (m)}$
Diámetro de los orificios del tabique (ϕ)	$\phi = 1''$
Forma de los orificios	Circular
Cota superior del tabique difusor	Deberá rebasar como mínimo el nivel máximo del agua dentro del sedimentador
Características del efluente que abandona el sedimentador	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 75,00 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 36,36 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 270 (mg/l)

Tabla 5.1 (Cont.). Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.

5.2.2. Resultados del diseño del filtro grueso de flujo ascendente.

En la tabla 5.2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del filtro grueso de flujo ascendente.

Datos del afluente al filtro grueso de flujo ascendente:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 10 \text{ (l/s)} = 0,01 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 864 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 36 \text{ (m}^3 / \text{h)}$
Turbidez afluente	Turbidez afluente = 75,00 (NTU)
Color afluente	Color afluente = 36,36 (UCN)
Sólidos en suspensión afluente	Sólidos en suspensión afluente = 270 (mg/l)
Detalle de las tuberías procedentes del sedimentador:	
Diámetro de las tuberías (D)	$D = 2'' = 0,051 \text{ (m)}$
Número de tuberías (N)	$N = 3$
Velocidad de filtración	
Velocidad de filtración (Vf)	$Vf = 0,75 \text{ (m / h)} = 0,0002 \text{ (m / s)} = 18 \text{ (m / d)}$
Número de unidades de filtración:	
Número de unidades de filtración	$N = 3$
Dimensiones de los filtros:	
Area superficial del filtro (Af).	$16.67 \text{ (m}^2 \text{)}$
Largo del filtro (L)	$L = 5,38 \text{ (m)}$
Ancho del filtro (A)	$A = 3,10 \text{ (m)}$
altura total del tanque (ht)	$Ht = 2,40 \text{ m}$
Dimensiones del orificio de salida:	
Número de orificios (N)	$N = 3$
Carga sobre el orificio (Ho)	$Ho = 0,30 \text{ (m)} = 30 \text{ cm}$
Diámetro del orificio (ϕ)	$\phi = 2'' = 5,08 \text{ (cm)}$
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	$h = 0,20 \text{ (m)}$

Tabla 5.2. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

Dimensionamiento de la primera unidad de filtración:	
Espesor de la losa de fondo	0,15 (m)
Diámetro de la tubería proveniente del sedimentador	0,051 (m)
Separación de la tubería que alimenta el filtro del piso	0,05 (m)
Altura del ladrillo o prisma de hormigón que sostiene el medio filtrante	0,07 (m)
Espesor de la capa de soporte	0,30 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,97 (m)
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	0,20 (m)
Carga sobre el orificio (H_o)	0,30 (m)
Bordo libre	0,30 (m)
Características del medio filtrante de la primera unidad de filtración gruesa:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	5,00 (m^3)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	15 (mm)
Volumen requerido en la capa de intermedia	16,17 (m^3)

Tabla 5.2 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

Dimensionamiento de la segunda unidad de filtración:	
Espesor de la losa de fondo	0,15 (m)
Diámetro de la tubería proveniente de la primera unidad de filtro grueso	0,051 (m)
Separación de la tubería que alimenta el filtro del piso	0,05 (m)
Altura del ladrillo o prisma de hormigón que sostiene el medio filtrante	0,07 (m)
Espesor de la capa de soporte	0,15 (m)
Espesor de la capa de filtración intermedia	0,15 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,97 (m)
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	0,20 (m)
Carga sobre el orificio (Ho)	0,30 (m)
Bordo libre	0,30 (m)
Características del medio filtrante de la segunda unidad de filtración gruesa:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25,0 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	2,50 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	15 (mm)
Volumen requerido en la capa de intermedia	2,50 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	10,0 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	16,7 (m ³)

Tabla 5.2 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

Dimensionamiento de la tercera unidad de filtración:	
Espesor de la losa de fondo	0,15 (m)
Diámetro de la tubería proveniente de la segunda unidad de filtro grueso	0,051 (m)
Separación de la tubería que alimenta el filtro del piso	0,05 (m)
Altura del ladrillo o prisma de hormigón que sostiene el medio filtrante	0,07 (m)
Espesor de la capa de soporte	0,15 (m)
Espesor de la capa de filtración intermedia	0,15 (m)
Espesor de la capa de filtración intermedia	0,50 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,47 (m)
Altura de la invertida del orificio respecto a la superficie de filtración (h)	0,20 (m)
Carga sobre el orificio (Ho)	0,30 (m)
Bordo libre	0,30 (m)
Características del medio filtrante de la tercera unidad de filtración gruesa:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	15,0 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	2,50 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	10 (mm)
Volumen requerido en la capa de intermedia	2,50 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	5,00 (mm)
Volumen requerido en la capa de intermedia	8,34 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	2,00 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	7,83 (m ³)

Tabla 5.2 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

Características del efluente que abandona el filtro grueso:	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 15,00 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 12,73 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 13,50 (mg/l)

Tabla 5.2 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.

5.2.3. Resultados del diseño del filtro lento.

En la tabla 5.3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del filtro lento.

Datos del afluente al filtro lento:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 10 \text{ (l/s)} = 0,01 \text{ (m}^3 / \text{s)} = 864 \text{ (m}^3 / \text{días)} = 36 \text{ (m}^3 / \text{h)}$
Turbidez afluente	Turbidez afluente = 15,00 (NTU)
Color afluente	Color afluente = 12,73 (UCN)
Sólidos en suspensión afluente	Sólidos en suspensión afluente = 13,50 (mg/l)
Detalle de las tuberías procedentes del filtro grueso de flujo ascendente:	
Diámetro de las tuberías (D)	$D = 2'' = 0,051 \text{ (m)}$
Número de tuberías (N)	$N = 3$
Carga de diseño del filtro:	
Carga de diseño del filtro (Cf).	$Cf = 7,00 \text{ (m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{días)}$
Número de unidades de filtración:	
Número de unidades de filtración	$N = 3$
Dimensiones de los filtros:	
Area superficial del filtro (Af).	$Af = 41,33 \text{ (m}^2 \text{)}$
Largo del filtro (L)	$L = 8,98 \text{ (m)}$
Ancho del filtro (A)	$A = 4,60 \text{ (m)}$
altura total del tanque (ht)	$Ht = 2,70 \text{ (m)}$

Tabla 5.3. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

Dimensionamiento de la capa de soporte o de drenaje de las unidades de filtración:	
Espesor de la capa inferior o de soporte	0,20 (m)
Espesor de la capa intermedia	0,10 (m)
Espesor de la capa de filtración superior	0,10 (m)
Características del medio filtrante de la capa de soporte de las unidades de filtración:	
Tamaño de las partículas de la capa de soporte	25 (mm)
Volumen requerido en la capa de soporte	8,26 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa intermedia	10 (mm)
Volumen requerido en la capa intermedia	4,13 (m ³)
Tamaño de las partículas de la capa superior	5 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	4,13 (m ³)
Dimensionamiento de la capa de filtración de las unidades de filtración:	
Espesor de la capa de filtración	1,00 (m)
Características del medio filtrante de la capa de filtración de las unidades de filtración:	
Tamaño de las partículas de la capa superior	0,15 (mm)
Volumen requerido en la capa superior	41,31 (m ³)
Dimensionamiento de la entrada al filtro:	
Velocidad de entrada del flujo (V)	V = 0,56 (m / s)
Diámetro del tubo (D).	D = 6"
Dimensionamiento de la salida del filtro:	
Diámetro de la tubería de salida (D).	D = 6"
Elevación del nivel del agua sobre el orificio (H).	H = 3,1 (cm)
Distancia vertical entre el borde de la tubería y la superficie del agua sobrenadante en el filtro (Htotal).	Htotal = 0,18 (m)

Tabla 5.3 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

Dimensionamiento del sistema de drenaje inferior:	
Número de hileras de tuberías a colocar en el drenaje inferior (N° hileras).	N° hileras = 4
Diámetro de la tubería de drenaje inferior (Dtd).	Dtd = 4"
Separación entre hileras de tuberías en el drenaje inferior (S).	S = 0,92 (m)
Tipo de tubería a colocar en el sistema de drenaje inferior	Tubería de PVC perforada
Características del efluente que abandona el filtro lento:	
Turbidez efluente	Turbidez efluente = 3,00 (NTU)
Color efluente	Color efluente = 8,90 (UCN)
Sólidos en suspensión efluente	Sólidos en suspensión efluente = 2,70 (mg/l)

Tabla 5.3 (Cont). Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.

5.2.4. Resultados del diseño del depósito de almacenamiento.

En la tabla 5.4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el diseño del depósito de almacenamiento.

Datos del afluente al tanque de almaceamiento:	
Caudal de diseño (Qd)	$Qd = 10(l/s) = 0,01(m^3/s) = 864(m^3/día) = 36 (m^3/h)$
Dimensionamiento del depósito de almacenamiento:	
Volumen del depósito (Vd)	$Vd = 249,80 (m^3)$
Profundidad total del tanque en la zona de succión (Ht).	$Ht = 2,20 (m)$
Profundidad total del tanque en la zona restante (Ht).	$Ht = 2,10 (m)$
Area mojada útil del depósito (A)	$A = 138,78 (m^2)$
Ancho del depósito (a)	$a = 4,40 (m)$
Largo del depósito (b)	$b = 31,54 (m)$
Altura entre el nivel mínimo de agua en el cárcamo y la parte superior del colador o criba (S).	$S = 0,81 (m)$
Distancia mínima entre la base del cárcamo de bombeo y la boca de la succión (Ymíns)	$Ymíns = 3,80 (cm)$
Distancia mínima entre la pared lateral del cárcamo y la tubería de succión (Xmíns)	$Xmíns = 3,80 (cm)$

Tabla 5.4. Resumen de los resultados obtenidos en el depósito de almacenamiento.

5.3. Esquema en planta de la planta potabilizadora de agua diseñada.

Finalmente en el ANEXO I.C, se presenta un esquema en planta de la planta potabilizadora de agua diseñada.

Del mismo se puede concluir, que la planta potabilizadora de agua diseñada para el abasto a una población comprendida entre 2.000 a 5.000 habitantes, requiere de un área total de $826,10 m^2$.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones generales.

1. Los diseños de plantas tipos, que se han desarrollado en el presente trabajo son capaces de satisfacer los requerimientos de agua potable para poblaciones de hasta 5.000 habitantes.
2. El caudal de diseño utilizado en cada caso, considera la combinación del consumo domiciliar con los consumos de origen comercial e institucional.
3. Con el presente trabajo queda demostrada la posibilidad de desarrollar diseños de plantas tipos para la potabilización dl agua, donde se conjuguen espacios mínimos con elevadas eficiencias en el tratamiento.
4. Los diseños realizados han permitido determinar el tamaño y el número de dispositivos requeridos, de acuerdo a la capacidad de tratamiento de la planta.
5. El diseño de las plantas tipos, permitieron determinar el área necesaria a ocupar en el tratamiento, en función al tamaño de la población a ser servida. En tal sentido se obtuvo que:
 - a. Para una población ≤ 500 habitantes, el área requerida para la construcción de la planta es de 229,23 m².
 - b. Para una población de 500 a 2.000 habitantes, el área requerida para la construcción de la planta es de 464,92 m².
 - c. Para una población de 2.000 a 5.000 habitantes, el área requerida para la construcción de la planta es de 826,10 m².
6. En todos los casos de plantas tipos diseñadas, se cumplen con los requisitos que recomienda la Norma Boliviana para que un agua sea potable.
7. El cumplimiento de los requisitos de coliformes totales y escherichia coli, que se establecen en la norma, se garantizan con la colocación de un dosificador de cloro a la salida del agua del depósito de almacenamiento.
8. Las unidades de tratamiento propuestas, son de fácil operación y mantenimiento, aspecto este que garantiza que un miembro de la comunidad, previa capacitación, se pueda convertir en el operador del sistema.

9. Las eficiencias de las unidades de tratamiento empleadas, son suficientes para tratar aguas superficiales de baja calidad y conferirles aquellas propiedades que han perdido y que se requieren para considerarlas como agua potable.
10. La construcción de las plantas tipos obtenidas en el presente trabajo, contribuirá a la mejora de la calidad de vida de los pobladores de las pequeñas comunidades, así como reducirá los índices de incidencia de las enfermedades de origen hídrico.
11. Independientemente de estas conclusiones generales, se recomienda seguir atentamente las que se presentan en cada capítulo del trabajo.

6.2. Recomendaciones.

1. Se recomienda en todos los casos de plantas tipos diseñadas, ubicar en la obra de toma, las unidades de cribado y desarenado, para garantizar el adecuado comportamiento de los dispositivos que componen las plantas potabilizadoras.
2. Se recomienda la construcción de la planta de tratamiento que se obtuvo en el acápite 3.2, para poblaciones ≤ 500 habitantes.
3. Se recomienda la construcción de la planta de tratamiento que se obtuvo en el acápite 4.2, para poblaciones comprendidas entre 500 y 2.000 habitantes.
4. Se recomienda la construcción de la planta de tratamiento que se obtuvo en el acápite 5.2, para poblaciones comprendidas entre 2.000 y 5.000 habitantes.
5. Se recomienda en aquellos casos en que el área disponible no permita adoptar la disposición en planta recomendada en el presente trabajo, se ajuste a una nueva, pero sin que ello signifique prescindir de alguna de las unidades obtenidas.
6. Independientemente de estas recomendaciones generales, se aconseja seguir atentamente las que se presentan en cada capítulo del trabajo.

BIBLIOGRAFIA.

Degremont, G., Manual técnico del agua, 1973.

Fair, Geyer, Okun. , Ingeniería Sanitaria y de aguas residuales.

Hardenbergh., Ingeniería Sanitaria, Ed. Revolucionaria, La Habana, Cuba, 1964.

Hernández C., Plantas potabilizadoras de agua para pequeñas comunidades, U.A.G.R.M., Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 2001.

León M. A., Estopiñán P. A., Hidráulica de canales, Ed. Pueblo y Revolución, La Habana, Cuba, 1989.

León M. A., Manual de obras hidrométricas, Primera Edición, Editorial ISPJAE, La Habana, Cuba, 1997.

Martínez B.J., Flujo en tuberías, Revista de Ingeniería Hidráulica, Nº 16, Febrero de 1973, La Habana, Cuba.

Sotto A. L., March A. C., Temas de Ingeniería Hidráulica, Ed. Pueblo y Revolución, La Habana, Cuba, 1985.

Streeter L. V., Mecánica de los fluidos, Ed. Ciencia y Técnica, La Habana Cuba, 1970.

Ministerio de la construcción, Manual práctico de hidráulica. Tomo I. Ed. MICONS.

Wagner E.G. Lanoix J. N., Abastecimiento de agua en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades. Ed. Ciencia y Técnica, Instituto del libro. La Habana Cuba. 1969.

NB-689, Norma técnica de diseño para sistemas de agua potable. DINASBA. La Paz. Bolivia. 1996.

NB-512, Agua potable. Requisitos. DINASBA. La Paz. Bolivia. 1985.

NB-495, Agua potable. Definiciones y terminología. DINASBA. La Paz. Bolivia. 1985.

NB-496, Agua potable. Muestreo. DINASBA. La Paz. Bolivia. 1985.

Instituto Nacional de Estadística, Informe del Censo Nacional de Población y vivienda. Bolivia. 1992.

Instituto Nacional de Estadística, Informe de población por departamentos, provincias y secciones de provincias. Bolivia. 1997.

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II: CONSIDERACIONES GENERALES A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA PANTA POTABILIZADORA.

- Tabla 2.1. Rangos de población a considerarse en el diseño.
- Tabla 2.2. Caudal de diseño empleado según tamaño de población.
- Tabla 2.3. Caudal de diseño empleado según tamaño de población.
- Tabla 2.4. Criterios para el cálculo del caudal de origen doméstico.
- Tabla 2.5. Datos básicos empleados en el cálculo del caudal de origen comercial o institucional.
- Tabla 2.6. Parámetros considerados en la calidad del agua afluente a la planta
- Tabla 2.7. Requisitos de calidad para el agua potable.

CAPITULO III: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD ≤ 500 HABITANTES.

- Tabla 3.1. Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.
- Tabla 3.2. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.
- Tabla 3.3. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.
- Tabla 3.4. Resumen de los resultados obtenidos en el depósito de almacenamiento.

CAPITULO IV: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD DE 500 A 2.000 HABITANTES.

- Tabla 4.1. Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.
- Tabla 4.2. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.
- Tabla 4.3. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.
- Tabla 4.4. Resumen de los resultados obtenidos en el depósito de almacenamiento.

CAPITULO V: DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA PARA UNA COMUNIDAD DE 2.000 A 5.000 HABITANTES.

- Tabla 5.1. Resumen de los resultados obtenidos en el sedimentador.
- Tabla 5.2. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro grueso.
- Tabla 5.3. Resumen de los resultados obtenidos en el filtro lento.
- Tabla 5.4. Resumen de los resultados obtenidos en el depósito de almacenamiento.

INDICE DE FIGURAS

ANEXO I. Esquema en planta

Figura I.A. Planta potabilizadora de agua para una comunidad ≤ 500 habitantes.

Figura I.B. Planta potabilizadora de agua para una comunidad de 500 a 2.000 habitantes.

Figura I.B. Planta potabilizadora de agua para una comunidad de 2.000 a 5.000 habitantes.

ANEXO I

ESQUEMAS EN PLANTA