

PROYECTO TÍPICO. FILTROS LENTOS DE ARENA CON PRETRATAMIENTO

ÍNDICE

1. MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	1
1.1. FUENTE DE AGUA.....	1
1.2. SISTEMA PROPUESTO.....	1
1.3. PRETRATAMIENTO	2
1.3.1. <i>Alternativa Adoptada</i>	2
1.3.2. <i>Prefiltro de Grava con Flujo Horizontal</i>	2
1.3.3. <i>Eficiencias Esperadas</i>	3
1.3.4. <i>Carrera de Cada Unidad: Limpieza Periódica</i>	4
1.4. FILTROS LENTOS DE ARENA	5
1.4.1. <i>Alternativa Adoptada</i>	5
1.4.2. <i>Zonas que Constituyen un Filtro Lento Modificado</i>	5
1.4.3. <i>Zona de la Caja Filtrante</i>	6
1.4.4. <i>Estructura de Salida y Control del Caudal y Velocidad de Filtración</i>	6
1.4.5. <i>Diseño de Cada Unidad</i>	7
1.4.6. <i>Operación de Cada Unidad</i>	7
1.5. DESINFECCIÓN	7
1.6. RESERVAS DE AGUA TRATADA	7
1.7. DESAGÜE GENERAL	8
2. MEMORIA DE CÁLCULO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	9
2.1. CAUDAL DE DISEÑO	9
2.2. PREFILTROS DE GRAVA CON ESCURRIMIENTO HORIZONTAL	9
2.2.1. <i>Número de Prefiltros de la Batería</i>	9
2.2.2. <i>Caudal de Diseño de Cada Prefiltro</i>	9
2.2.3. <i>Velocidad del Ecurrimiento Horizontal en el Lecho de Grava</i>	9
2.2.4. <i>Dimensionamiento de Cada Unidad</i>	9
2.2.5. <i>Granulometría de la Grava en Cada Compartimento</i>	10
2.2.6. <i>Eficiencias Calculadas en la Carrera de un Filtro Grueso de Grava</i>	10

2.2.7. Limpieza del Manto Filtrante de Grava	11
2.2.8. Vertederos de Ingreso de Agua Cruda y Descarga de Agua Prefiltrada.....	13
2.2.9. Aducción de Agua Cruda.....	13
2.2.10. Conducto de Agua Prefiltrada	14
2.3. FILTRACIÓN LENTA	14
2.3.1. Número de Filtros Lentos de la Batería.....	14
2.3.2. Caudal de Diseño de Cada Unidad	14
2.3.3. Velocidad Media de Filtración	14
2.3.4. Dimensiones de Cada Unidad	14
2.3.5. Caja del Filtro	14
2.3.6. Granulometría del Manto de Arena	15
2.3.7. Capa Soporte (Para Drenaje de Ladrillos).....	15
2.3.8. Sistema de Drenaje.....	15
2.3.9. Sobrenadante Líquido de Nivel Variable Entre $N_{máx}$ y $N_{mín}$	15
2.3.10. Pérdida de Carga en Filtro Lento	15
2.3.11. Estructura de Ingreso a la Batería y a Cada Filtro Lento	16
2.3.12. Estructura de Salida y Control del Caudal Filtrado	16
2.4. RESERVAS DE AGUA FILTRADA	16
2.5. DESINFECCIÓN.....	17

LISTA DE ILUSTRACIONES

PLANOS

Planta de Tratamiento con Filtro Lento

8P-FL001.	Implantación General.....	18
8P-FL002.	Cámara de Carga General y Partición de Caudales a Prefiltros.....	19
8P-FL003.	Prefiltros – Planta y Corte.....	20
8P-FL004.	Prefiltros – Corte y Detalles.....	21
8P-FL005.	Filtros Lentos - Plantas.....	22
8P-FL006.	Filtros Lentos - Cortes.....	23
8P-FL007.	Cisternas - Planta.....	24
8P-FL008.	Cisternas - Cortes.....	25
	Esquema del Perfil Hidráulico.....	26

1. MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

1.1. FUENTE DE AGUA

- Elección

Se adopta el agua natural captada en una toma parrilla ubicada en la cresta de un azud construido en un río. Su elección obedece a las siguientes razones:

- No disponer de fuente subterránea.
- Estar ubicada a una cota superior a la de la planta de tratamiento.

Caracterización del Agua Cruda a Tratar

• Turbiedad normal durante el 90 % de los días del año	5 a 50 UT
• Turbiedad máxima que ocurre en los picos de turbiedad en lapsos cortos de muy poca duración, especialmente durante períodos lluviosos	≤ 150 UNT
• Sólidos suspendidos totales en períodos normales	≤ 100 mg/l
• Sólidos suspendidos totales en períodos lluviosos	≤ 250 mg/l
• Densidad de algas en ciertos períodos	≤ 500 UPA/ml
• Coliformes fecales	≤ 1000NMP/100ml
• Hierro total	3,2 mg . Fe/l
• DBO	≤ 2,2 mg/l

1.2. SISTEMA PROPUESTO

En el Capítulo 5 “Plantas de Potabilización”, Numeral 7 – Filtración se indican los límites de calidad del agua para adoptar una alternativa de tratamiento.

En base a las características de la calidad del agua cruda a tratar, indicada en el numeral 1.1, el sistema de potabilización propuesto está compuesto por los siguientes procesos:

- Pretratamiento: filtración gruesa de grava (prefiltración).
- Tratamiento: filtración lenta de arena (método modificado).
- Desinfección: solución de hipoclorito de sodio

1.3. PRETRATAMIENTO

1.3.1. *Alternativa Adoptada*

Se diseñó una batería de filtros gruesos de grava con escurrimiento horizontal. Su finalidad es reducir la alta turbiedad del agua cruda para que su efluente pueda ser tratado con filtros lentos de arena.

Los parámetros y eficiencias en reducción de la turbiedad, sólidos suspendidos y coliformes fecales, resultaron de aplicar las experiencias de M. Wegelin, G. Galvis y J. Latorre. Los estudios fueron realizados en el CINARA (Instituto de Investigaciones y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico), Universidad del Valle – Cali – Colombia – 1997. Esos estudios fueron publicados (N° 4/98) por SANDEC (Departamento Agua y Saneamiento para países en Desarrollo), en el trabajo “La filtración gruesa en el tratamiento de agua de fuentes superficiales” (en castellano y en inglés).

En el Capítulo VII Plantas de Potabilización Numeral 4 – Filtración Lenta de la Fundamentación de las Normas se han indicado esos parámetros y eficiencias.

1.3.2. *Prefiltro de Grava con Flujo Horizontal*

- Zona de ingreso del líquido crudo

En la cámara de carga general mediante vertederos triangulares, se reparte uniformemente el caudal a tratar en cada unidad de la batería de prefiltros de grava. Ese caudal se regula con válvula mariposa para cada derivación.

- Zona de filtración gruesa (prefiltración)

Comprende una cámara de sección rectangular que está dividida en compartimentos en serie, llenos con material filtrante de grava. El tamaño de la misma es constante en cada compartimento, pero variable y decreciente en los que siguen al inicial.

El escurrimiento horizontal se inicia en una cámara de entrada, siguiendo por los compartimentos en serie y termina en una cámara de salida del efluente filtrado de la unidad.

Muros transversales contruidos generalmente de ladrillos, o muros de hormigón, separan a las cámaras y compartimentos.

La repartición uniforme del escurrimiento horizontal en los compartimentos y en las cámaras de entrada y salida, se efectúa a través de orificios, que evitan la mezcla del material entre dos compartimentos y las cámaras. En el pasaje se tendrá una pérdida de carga total, generalmente entre 0,25 y 0,30 m.

Además de la altura H (m) de diseño del manto filtrante de grava, se proyecta una altura suplementaria del mismo material $H_1 = 0,25$ m, para considerar las pérdidas de carga en el flujo a través del manto de grava y en orificios que separan a las cámaras y los compartimentos.

En caso de aparecer crecimiento algal en la superficie, ese manto suplementario superficial, se coloca una grava de mayor tamaño para poder limpiarla manualmente.

- Zona de ingreso del líquido crudo

Desde el canal de distribución del agua proveniente de la cámara de carga general de la planta de potabilización, se deriva el caudal a cada unidad mediante un vertedero triangular de 90° en el vértice, que sirve también para medir caudales a tratar.

El nivel del vértice debe estar sobre el nivel máximo operativo en la cámara de entrada, cuando se alcanza la mayor pérdida de carga (entre 0,25 y 0,30 m).

- Zona de salida del líquido prefiltrado

El líquido luego de percolar en sentido horizontal a través de los compartimentos en serie, pasa a la cámara de salida en cuyo muro frontal se coloca un vertedero triangular de iguales características que el de entrada.

El nivel del vértice debe coincidir con el de la superficie de grava de altura útil H (m).

El vertedero debe tener una compuerta de bloqueo para poder incrementar el líquido en la unidad, en caso que se requiera mayor volumen de limpieza.

- Zona de drenaje

Se ha previsto efectuar descargas de fondo en forma secuencial en los compartimentos de un prefiltro, cuando se tenga una disminución significativa de la eficiencia en ese prefiltro. Esta situación se produce por colmatación gradual del manto de grava por retención de impurezas.

El sistema de descargas periódicas en cada compartimento está constituido por:

- Pendiente del 1 % para facilitar el deslizamiento del sedimento hacia un canal colector transversal.
- Canal de evacuación o colector interno con una pendiente del 5 % hacia el canal colector general de la unidad. El canal está cubierto por losetas con separación libre de 1,45 mm para permitir el drenaje.
- Compuerta de bloqueo del canal de descarga, de 0,32 . 0,32 m del primer compartimento.
- Canal colector externo del agua de lavado del prefiltro correspondiente con pendiente 1% hacia la cámara colectora respectiva.

1.3.3. Eficiencias Esperadas

La velocidad de filtración del escurrimiento horizontal es importante en la prefiltración para las eficiencias y por aspectos económicos.

Para velocidades $U_f \geq 1,00$ m/h, si bien se obtienen unidades más pequeñas y económicas, los prefiltros sólo actúan únicamente sobre la turbiedad. Esa situación

ocurre ya que al acortarse las carreras, se deben efectuar frecuentes descargas hidráulicas que no permiten condiciones favorables para el desarrollo del mecanismo de remoción biológica.

En cambio para bajas velocidades, $U_f = 0,5$ a $1,00$ m/h, es importante la remoción biológica, ya que las carreras más prolongadas permiten una fuerte actividad microbiana en los prefiltros.

En el presente diseño se espera una aceptable remoción de partículas y de eficiencia biológica, compatibles para la filtración lenta de arena, al proyectar el prefiltro con una velocidad de filtración horizontal de $0,75$ m/h. La eficiencia en retención de partículas decrece en el tiempo durante una carrera, debido al incremento progresivo de las cargas de sólidos retenidos.

De acuerdo a las experiencias del CINARA se adoptaron las siguientes eficiencias en remoción para la velocidad media de filtración horizontal $U_f = 0,75$ m/h.

- Turbiedad

$E = 75\%$ = eficiencia para rangos entre 30 y 50 UNT

- Sólidos suspendidos

C_s = concentración de sólidos suspendidos en el efluente prefiltrado: $1,7$ mg/l (promedio) y $5,7$ mg/l (máximo), para concentraciones del afluente (agua cruda) de $198,3$ mg/l (promedio) y 978 mg/l (máximo).

- Coliformes fecales

$E = 92\%$ = eficiencias en reducción bacteriana, (relativamente baja). Se espera un efluente con una concentración entre 1200 a 3400 UFC/100 ml (UFC = unidad formadora de colonias).

En cuanto a las eficiencias arriba especificadas, el efluente del filtro grueso de grava cumple con las siguiente condiciones exigidas para los filtros lentos de arena.

- Turbiedad: ≤ 10 UNT normalmente y ≤ 20 UNT en períodos cortos.
- Sólidos suspendidos: ≤ 5 mg/l normalmente y ≤ 10 mg/l en períodos cortos.
- Coliformes fecales: 5000 UFC/100 ml (máximo) que exige desinfección en el efluente de los filtros lentos.

1.3.4. Carrera de Cada Unidad: Limpieza Periódica

La operación en esas unidades requiere especial cuidado, particularmente para las descargas de fondo.

Se recomienda una velocidad de descarga o carga hidráulica en el lavado entre $1,00$ a $2,0$ m/min, particularmente en el primer compartimento de mayor superficie.

- Sistema de limpieza de los compartimentos colmatados

El lavado de cada compartimento se realiza con el volumen de agua contenido entre los vacíos de la grava de toda la unidad.

Para ello se cierra el ingreso del agua a tratar y la salida del agua filtrada, aislando la unidad sucia de la restante. Esa operación se efectúa con los elementos de bloqueo correspondientes.

A continuación se abren las compuertas de fondo del compartimento para permitir el drenaje total de la unidad.

Con el tiempo, que dependerá de la turbiedad y sólidos suspendidos del líquido crudo, deberá removerse el lecho de grava para su limpieza fuera de la unidad, generalmente en un lapso de 2 años.

Si en el transcurso de la carrera de un filtro se requiere un mayor volumen de agua para su lavado, se deberá incrementarlo aumentando el tirante líquido sobre la grava.

El drenaje del agua sucia del lavado se efectúa a través del pasaje por las ranuras libres entre losetas que cubren los canales colectores practicados debajo de la solera de cada compartimento. A su vez la solera tendrá pendiente hasta esos canales colectores.

La derivación de los caudales de agua sucia del lavado, a través de los canales colectores, se efectúa a un canal colector general, ubicado exteriormente y que se conecta con el sistema de desagüe general de las unidades de la planta de potabilización.

1.4. FILTROS LENTOS DE ARENA

1.4.1. Alternativa Adoptada

Se proyecta una batería de filtros lentos de arena con “tecnología modificada” o sea con caudal de filtración constante y nivel variable en el filtro. El diseño se desarrolla en el Capítulo VII Plantas de Potabilización Numeral 4 Filtración Lenta, de la Fundamentación de las Normas.

1.4.2. Zonas que Constituyen un Filtro Lento Modificado

Zona de ingreso del caudal crudo

- A la batería: una cañería conecta la cámara colectora individual de agua prefiltrada con la general de distribución de los filtros, aprovechando el desnivel disponible del terreno.
- A cada filtro: la distribución uniforme a cada unidad se realiza a través de un vertedero triangular. La regulación de ese caudal se efectúa con válvulas mariposas para los filtros 1 y 3 extremos y con una compuerta para el 2 (central).
- Un canal frontal permite el ingreso a la unidad y además evita la energía cinética de chorro desde el vertedero en el lecho filtrante. A su vez ese canal sirve para drenar el

sobrenadante y posibilitar la descarga del agua sucia del rastrillado del lecho cuando se opera con ese sistema de limpieza. El desagüe de ese canal se regula con una válvula esclusa.

1.4.3. Zona de la Caja Filtrante

Está constituida desde la superficie líquida por:

- Sobrenadante o espesor de la capa líquida, que tendrá un nivel mínimo cuando la unidad está limpia y un nivel máximo cuando se termina la carrera por colmatación del lecho de arena (momento de su limpieza).

El nivel mínimo estará sobre el lecho filtrante en un valor igual o mayor a la pérdida de carga inicial en el filtro limpio. El nivel máximo a su vez debe estar debajo del umbral del vertedero de ingreso y se regula mediante una cañería de alivio conectada al sistema general de desagüe de la planta de tratamiento.

En el diseño se consideró al sobrenadante de un espesor máximo de 1,20 m sobre el lecho filtrante.

- Manto de arena silícea, de 0,80 m de espesor, está constituido por granos, con tamaño efectivo de 0,35 mm y coeficiente de uniformidad de 2.
- La capa soporte depende del sistema de drenaje. Para el caso de ladrillos se proyectan tres capas de grava: la superior de 5 cm de espesor y tamaños entre 1,4 y 2,4 mm, la intermedia de 5 cm de espesor y tamaños entre 3,2 y 6,4 mm y la inferior de 15 cm de espesor y tamaños entre 19,0 y 31,0 mm.
- Sistema de drenaje. La recolección del agua filtrada se diseñó mediante un sistema de drenaje conformado por ladrillos comunes, según se especifica en el Capítulo VII Plantas de Potabilización Numeral 4 – Filtración Lenta de las Fundamentaciones.

El canal central y longitudinal formado por los ladrillos se conectó en su extremo con la cámara colectora de agua filtrada de la unidad.

1.4.4. Estructura de Salida y Control del Caudal y Velocidad de Filtración

El control se realizó a través de un vertedero ubicado en todo el ancho del muro frontal de la cámara colectora de agua filtrada.

El nivel mínimo del filtro se controlará mediante ese vertedero, cuyo umbral debe estar entre 0,10 m y 0,20 m sobre el nivel de la superficie del lecho de arena, a fin de proteger su capa biológica y evitar presiones negativas en el manto.

El tirante líquido sobre el vertedero corresponde al caudal de diseño y en consecuencia a la velocidad de filtración. El nivel líquido en la cámara colectora en consecuencia se mantiene siempre constante para ese caudal filtrado.

Desde el vertedero de control el líquido filtrado de cada unidad, cae a la respectiva cámara receptora. La del filtro central (N° 2), a su vez recibe el aporte de las unidades extremas y deriva el caudal total a las reservas de agua tratada.

Las cámaras colectoras estarán comunicadas entre sí, con la doble finalidad de servir de desagüe a todos los filtros y además permitir el llenado de la unidad recién limpiada mediante el flujo ascendente que desaloja el aire del lecho de arena. Deberán tener tapas estancas para evitar contaminación.

Se proyectaron compuertas para aislar cada unidad.

1.4.5. Diseño de Cada Unidad

Se adoptó una velocidad de filtración o carga hidráulica al tener prefiltración $U_f = q = 0,15 \text{ m/h} = 3,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d.}$

1.4.6. Operación de Cada Unidad

Las principales son el control del caudal afluente, la calidad del efluente y esencialmente el lavado del filtro sucio mediante el método de rastrillado (semejante al de los filtros dinámicos). Cuando este sistema no sea efectivo, se deberá aplicar el de extracción de la capa sucia.

1.5. DESINFECCIÓN

Se realizará mediante la inyección de hipoclorito de sodio, con una concentración entre 8 y 10 % de cloro activo.

Esa inyección se realizará sobre el vertedero del filtro central (N° 2) mediante un equipo a goteo, regulado por el nivel del líquido en la cámara (a caudal cero se cierra el paso del desinfectante). Cuando no opera el filtro N° 2, se traslada el equipo a cualquiera de los filtros extremos.

1.6. RESERVAS DE AGUA TRATADA

Integrada por una batería de tres tanques de base rectangular, en cuyo interior se diseñan tres canales de igual ancho y separados con muros longitudinales. De tal manera se podrá optimizar la inversión construyendo en una primera etapa dos tanques y el tercero cuando el incremento de la población lo haga necesario.

Con los dos tanques a ejecutar de inmediato se podrá mantener, sin inconvenientes, el funcionamiento de la planta cuando se saque de servicio uno de ellos para limpieza o reparación.

Esa conformación permite que las reservas sirvan también como cámara de contacto para el cloro.

Entre los componentes más importantes se mencionan en cada unidad:

- Cañería de ingreso en cuyo extremo se coloca un flotante que acciona la válvula de cierre. A su vez una válvula mariposa sirve para regular el caudal de entrada.
- Cañería de salida hacia el sistema de distribución a la población, también regulada con válvula esclusa.
- Cañería de desagüe del fondo con otra válvula esclusa, a la cual se le conecta un conducto de exceso, que deriva esos caudales al sistema general de drenaje.
- Una tapa de inspección estanca.
- Dos o tres ventilaciones verticales.
- Cubierta de tierra para preservarla del clima.

1.7. DESAGÜE GENERAL

En el plano general de la planta de tratamiento se indica el sistema de desagüe general y de las baterías de prefiltros, filtros lentos y reservas.

2. MEMORIA DE CÁLCULO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

2.1. CAUDAL DE DISEÑO

De acuerdo a estimaciones previas de la población y los datos básicos de diseño se adopta como caudal de diseño $10,50 \text{ m}^3/\text{h} = 2,92 \text{ l/s} = 252,00 \text{ m}^3/\text{d}$.

2.2. PREFILTROS DE GRAVA CON ESCURRIMIENTO HORIZONTAL

2.2.1. Número de Prefiltros de la Batería

N_{pf} = número de unidades en paralelo adoptadas	3
N_c = número de compartimentos en cada unidad de longitud decreciente	3

2.2.2. Caudal de Diseño de Cada Prefiltro

$Q_{pf} = Q/N_{pt}$ = caudal de diseño de cada unidad: $84 \text{ m}^3/\text{d}$	$3,5 \text{ m}^3/\text{h}$
--	----------------------------

2.2.3. Velocidad del Ecurrimiento Horizontal en el Lecho de Grava

Se adopta:

U_H = velocidad del flujo a través de las secciones transversales de los prefiltros de grava (de acuerdo al numeral 1.3.3. Eficiencias esperadas)	$0,75 \text{ m/h}$
---	--------------------

2.2.4. Dimensionamiento de Cada Unidad

Para el dimensionamiento de las unidades se siguió los criterios expuestos en el punto 3.3 del Manual II – Diseño, serie Filtración Lenta CEPIS 1992 y en el tema “Prefiltro de grava con escurrimiento horizontal de la publicación “Métodos y Técnicas de Tratamiento de Agua” – Tomo II, L. Di Bernardo – ABES 1993.

H = altura útil adoptada del manto de grava	$1,50 \text{ m}$
H_a = altura del manto adicional adoptado de grava	$0,30 \text{ m}$
H_o = altura libre entre el coronamiento y la superficie del manto adicional	$0,20 \text{ m}$
$B_{pf} = A_{pf} / H$ = ancho constante del prefiltro de sección rectangular	$3,12 \text{ m}$
L_1 = longitud adoptada del primer compartimento	$4,00 \text{ m}$

L_2 = longitud adoptada del segundo compartimento	2,00 m
L_3 = longitud adoptada del último compartimento	1,50 m

2.2.5. Granulometría de la Grava en Cada Compartimento

d_1 = tamaño medio en el 1 ^{er} compartimento (según aconsejado por M. Wegelín, varía entre 15,9 y 25,4 mm). Se adopta	20,0 mm
d_2 = tamaño medio en el 2 ^{do} compartimento (según aconsejado por M. Wegelín, varía entre 9,6 y 15,9 mm). Se adopta	15,0 mm
d_3 = tamaño medio en el 3 ^{er} compartimento (según aconsejado por M. Wegelín, varía entre 4,8 y 9,6 mm). Se adopta	9,6 mm

2.2.6. Eficiencias Calculadas en la Carrera de un Filtro Grueso de Grava

- Turbiedad

$T_e = T_o (1 - E)$: turbiedad media del efluente	12,5 UT
--	---------

donde:

T_o : turbiedad límite en el 90 % del tiempo	50 UT
--	-------

E: eficiencia esperada según CINARA para $U_T = 8$ a 50 UT	0,75
--	------

$T_{emáx} = T_{omáx} (1 - E)$: turbiedad máxima del efluente	37,5 UT
---	---------

donde:

$T_{omáx}$: turbiedad límite en periodos eventuales	150 UT
--	--------

En consecuencia por ser $T_e = 12,5$ UT y $T_{emáx} = 37,5$ UT, valores inferiores al límite establecido para el filtro lento de arena 50 UT, se adopta el sistema de filtración gruesa de grava como pretratamiento.

- Coliformes fecales

De acuerdo a experiencias del CINARA para un valor medio de 39.500 UFC/100 ml y un máximo de 117000 UFC/100 ml, se obtuvieron efluentes con 167 y 660 UFC/100 ml. (Ver figura 41 de la publicación del SANDEC – Reporte N° 2/96, versión en inglés).

Como el líquido crudo contiene valores inferiores a esos máximos, se acepta su diseño.

- Sólidos suspendidos

Según esa figura 41, para un agua cruda con un valor medio de 1983 mg/l y máximo de 978,0 mg/l, el efluente de los filtros gruesos de grava tuvo respectivamente concentraciones de 0,1 y 5,7 mg/l.

Al ser el valor máximo de 500 mg/l en cortos períodos, la concentración de sólidos suspendidos no superará el máximo de 5 mg/l para el agua a tratar con filtros lentos de arena.

2.2.7. Limpieza del Manto Filtrante de Grava

- Caudal de limpieza

U_L : velocidad media adoptada según experiencias de Di Bernardo para la descarga descendente del volumen de agua durante la limpieza = $1440 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día} = 1,00 \text{ m/min}$ 0,0167 m/s

Q_L : $U_L \cdot L \cdot B = 0,0167 \cdot 7,5 \cdot 3,12$: caudal de limpieza 0,39 m³/s

- Altura adicional de grava

$V_L = p \cdot L \cdot B \cdot H = 0,30 \cdot 7,50 \cdot 3,12 \cdot 1,50$: volumen de agua destinada para la limpieza, que ocupa los poros del manto filtrante de la unidad 10,530 m³

donde:

p : porosidad media del manto filtrante colmatado 0,30

L = longitud total del filtro grueso de arena 7,50 m

B = ancho constante de la unidad 3,12 m

H = altura útil del lecho de grava 1,50 m

Q_s : carga hidráulica superficial de descarga (volumen de agua por m²), necesaria para vencer las pérdidas por fricción, ocasionadas por la velocidad vertical de vaciado durante la limpieza de cada compartimento, según experiencias del CEPIS en la planta de potabilización de Cocharcas – Huancayo – Junín, 1986 1,3 m³/m²

En consecuencia:

$V_r = q_s \cdot L_1 \cdot B = 1,3 \cdot 4,00 \cdot 3,12$: volumen de agua requerida para la limpieza del compartimento N° 1, siendo $L_1 = 4,00 \text{ m}$ su longitud 16,224 m³

$h_{l.1} = (V_1 - V_L) \cdot (L \cdot B) = (16,224 - 10,53) \cdot (7,50 \cdot 3,12)$: altura líquida adicional para compensar el volumen de lavado calculado respecto al ocupado en el manto de grava colmatado de altura

$H = 1,50 \text{ m}$ y considerando el aporte de toda la unidad de longitud $L = 7,50 \text{ m}$, al primer compartimento que se limpia	0,243 m
$h_{1.2} = (L_2/L_1) \cdot h_{1.1} = (2/4) \cdot 0,243 = \text{ídem para el compartimento 2, siendo } L_1 = 4,00 \text{ m y } L_2 = 2,00 \text{ m, longitudes de cada compartimento 1 y 2}$	0,122 m
$h_{1.3} = (L_3/L_1) \cdot h_{1.1} = (1,5/4) \cdot 0,243 = \text{ídem para el compartimento 3, siendo } L_1 = 4,00 \text{ m y } L_3 = 1,50 \text{ m, longitudes de cada compartimento 1 y 3}$	0,091 m
• Sistema de drenaje	
➤ Caudal medio de descarga del agua sucia de la limpieza	
q_L : velocidad media de limpieza (adoptado según experiencias del CEPIS)	2,00 m/min
$Q_L = q_L \cdot B \cdot L/60$: caudal medio de descarga	0,78 m ³ /s
➤ Número de losetas que cubren los canales colectores del agua de descarga	
a_L = ancho de las losetas que cubren cada canal colector del agua sucia de la limpieza	0,05 m
n_L : número de losetas que cubren el ancho de la unidad	54
$n_o = (n_L + 1)$: número de ranuras libres de pasaje del agua descargada al respectivo canal colector	55
$e = (B - n_L \cdot a_L) / (n + 1)$: ancho de cada ranura	0,0076 m
➤ Canales colectores	
N_{c1} : número de canales colectores del compartimento 1	2
$N_{c2} = N_{c.3}$: número de canales colectores de los compartimentos 2 y 3	1
$Q_{c1} = Q_L/N_{c1}$: caudal máximo en el extremo de cada canal colector del compartimento 1	0,39 m ³ /s
$Q_{c2} = Q_{c3} = Q_L$: caudal máximo en el extremo de los canales colectores de los compartimentos 2 y 3	0,78 m ³ /s
b_{c1} : ancho del canal colector del compartimento	0,40 m
$b_{c2} = b_{c3}$: ancho de los canales colectores de los compartimentos 2 y 3	0,60 m
H = tirante líquido máximo en los extremos de los canales colectores, valor adoptado	0,60 m

H' = tirante líquido mínimo en los extremos iniciales de los canales colectores	0,20 m
$U_{c1} = Q_{c1} / (b_{c1} \cdot H)$: velocidad máxima en el extremo de los canales colectores del compartimento 1	1,625 m/s
$U_{c2} = U_{c3} = Q_{c2} / (b_{c2} \cdot H) = Q_{c3} / (b_{c3} \cdot H)$: velocidad máxima en los extremos de los canales colectores de los compartimentos 2 y 3	2,167 m/s
➤ Compuertas de bloqueo los canales colectores	
$A_{c1} = Q_{ci} / U_{ci} = 0,390/1,625$: sección de pasaje por las compuertas del compartimento 1	0,24 m ²
$l_{c1} = A_{c1}^{1/2}$: lado de cada compuerta del compartimento 1	0,49 m
$A_{c2} = A_{c3} = Q_{c2} / U_{c2} = Q_{c3} / U_{c3}$: sección de pasaje por las compuertas de los compartimentos 2 y 3	0,36 m ²
$l_{c2} = l_{c3} = A_{c2}^{1/2} = A_{c3}^{1/2}$: lado de las compuertas de los compartimentos 2 y 3	0,60 m

2.2.8. Vertederos de Ingreso de Agua Cruda y Descarga de Agua Prefiltrada

$H = (Q/1,4)^{2/5}$ = tirante líquido en cada vertedero triangular a 90°, para $Q = 0,972 \text{ l/s} = 0,00097 \text{ m}^3/\text{s}$	0,055 m
ΔH = caída libre hasta $H + h_1 = (1,50 + 0,25) \text{ m}$ de la cámara de ingreso	0,15 m

2.2.9. Aducción de Agua Cruda

Q_T = caudal de pasaje: 2,917 l/s	0,0029 m ³ /s
D = diámetro nominal del conducto hasta cámara de carga	0,075 m
$U = 4 Q_T / \pi \cdot D^2$ = velocidad de pasaje	0,66 m/s
$j = 10,65 Q_T^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87}$ = pendiente piezométrica para $c = 130$ (valor inferior a la disponible entre la fuente y el emplazamiento de la planta de tratamiento)	11,7 ‰
$U_1 = 4 \cdot (Q_T/3) / (\pi \cdot d^2)$ = velocidad en el caño de ingreso a cada prefiltro desde cámara de carga; para $d = 0,050 \text{ m}$ = diámetro del caño (aceptable)	0,492 m/s
j_1 = pendiente piezométrica desde cámara de carga a cámara colectora	7,553 %
$J_1 = j \cdot L_1$ = pérdida de carga para $L_1 = 12 \text{ m}$	0,09 m

La pérdida de carga en operación normal, debido a la velocidad horizontal $U_f = 0,75 \text{ m/h} = 0,208 \text{ cm/s}$ es ínfima, por eso no se calcula. La correspondiente a la colmatación del manto de grava se absorbe con $H' = 0,30 \text{ m}$ del manto de grava adicional.

2.2.10. Conducto de Agua Prefiltrada

Se adopta el mismo conducto que para el agua cruda

$J = j \cdot L$ = pérdida de carga hasta la cámara de carga de la batería de filtros lentos, para $L = 15 \text{ m}$ 0,12 m

2.3. FILTRACIÓN LENTA

2.3.1. Número de Filtros Lentos de la Batería

N_f = número de unidades en paralelo adoptado 3

2.3.2. Caudal de Diseño de Cada Unidad

$Q_f = Q / N_f$ = caudal de diseño de cada filtro: $0,972 \text{ l/s} = 84 \text{ m}^3/\text{d}$ 3,50 m^3/h

2.3.3. Velocidad Media de Filtración

$U_f = q$ = velocidad media de filtración = carga hidráulica, adoptada considerando que hay prefiltración 0,15 m/h

2.3.4. Dimensiones de Cada Unidad

$A_f = Q_f / U_f$ = superficie de cada filtro de planta rectangular 23,33 m^2

$K = L_f / B_f$: relación adoptada 1,5

$L_f = (A_f \cdot K)^{1/2}$ = longitud de cada filtro: 5,92 m. Se adopta 5,90 m

$B_f = A_f / L_f$ = ancho de cada filtro 3,95

$A_f = L_f \cdot B_f$ = superficie real de cada filtro 23,305 m^2

2.3.5. Caja del Filtro

h_o = borde libre (distancia entre coronamiento y nivel líquido máximo) 0,40 m

h_1 = espesor o altura del sobrenadante de agua sobre el lecho de arena 1,20 m

h_2 = espesor del manto de arena 0,80 m

h_3 = altura del manto de soporte de grava	0,20 m
h_4 = altura del sistema de drenaje de ladrillos	0,20 m
$h_f = h_o + h_1 + h_2 + h_3 + h_4$ = altura total de la caja de filtros	2,80 m

2.3.6. Granulometría del Manto de Arena

T_e = tamaño efectivo del manto de arena (de 0,15 a 0,35 mm)	0,30 mm
C_u = coeficiente de uniformidad (de 1,5 a 3)	2
$T_{m\acute{a}x}$ = tamaño máximo	1,0 mm
$T_{m\acute{i}n}$ = tamaño mínimo	0,11 mm
ϕ = coeficiente de esfericidad (de 0,7 a 0,8)	0,75
P_o = porosidad inicial o a lecho limpio (de 0,38 a 0,40)	0,39

2.3.7. Capa Soporte (Para Drenaje de Ladrillos)

$h_{3.1}$ = altura de la capa superior de tamaño entre 1,4 a 2,4 mm	0,05 m
$h_{3.2}$ = altura de la capa intermedia de tamaño entre 3,2 a 6,4 mm	0,05 m
$h_{3.3}$ = altura de la capa inferior de tamaño entre 19,0 a 31,0 mm	0,10 m

2.3.8. Sistema de Drenaje

b_1 = ancho de los canales entre filas de ladrillos	0,20 m
h_1 = altura de los canales entre filas de ladrillos	0,14 m
e = abertura de las juntas abiertas entre ladrillos	0,6 a 1,00 mm

2.3.9. Sobrenadante Líquido de Nivel Variable Entre $N_{m\acute{a}x}$ y $N_{m\acute{i}n}$

$t_{sm\acute{a}x} = A_f \cdot h_{m\acute{a}x} / Q_f$ = permanencia máxima en el sobrenadante ($N_{m\acute{a}x}$)	8,00 h
$t_{sm\acute{i}n} = A_f \cdot h_{m\acute{i}n} / Q_f$ = permanencia mínima en el sobrenadante ($N_{m\acute{a}x}$)	3,33 h

Siendo:

$h_{m\acute{a}x}$ = tirante líquido máximo sobre el manto de arena (adoptado)	1,20 m
$h_{m\acute{i}n}$ = tirante líquido mínimo sobre el manto de arena (adoptado)	0,50 m

2.3.10. Pérdida de Carga en Filtro Lento

Al ser $U_f = 0,15 \text{ m/h} = 0,25 \text{ cm/s}$ = velocidad de filtración, las pérdidas de carga en el pasaje por los mantos de arena, grava, sistema de drenaje y orificios son mínimas. De allí

que para filtros lentos no se calculan, ya que carecen de la importancia que tienen en la filtración rápida, especialmente en filtración de velocidad decreciente.

2.3.11. Estructura de Ingreso a la Batería y a Cada Filtro Lento

N_v = número de vertederos triangulares a 90° , ubicados en la cámara de carga de la batería, dos en la 1ª etapa, a fin de equirrepartir caudales a los filtros	3
$h_v = (Q_f / 1,4)^{2/5}$ = tirante líquido sobre los umbrales de los vertederos de igual cota, para $Q_f = 0,000972 \text{ m}^3/\text{s}$	0,055 m

2.3.12. Estructura de Salida y Control del Caudal Filtrado

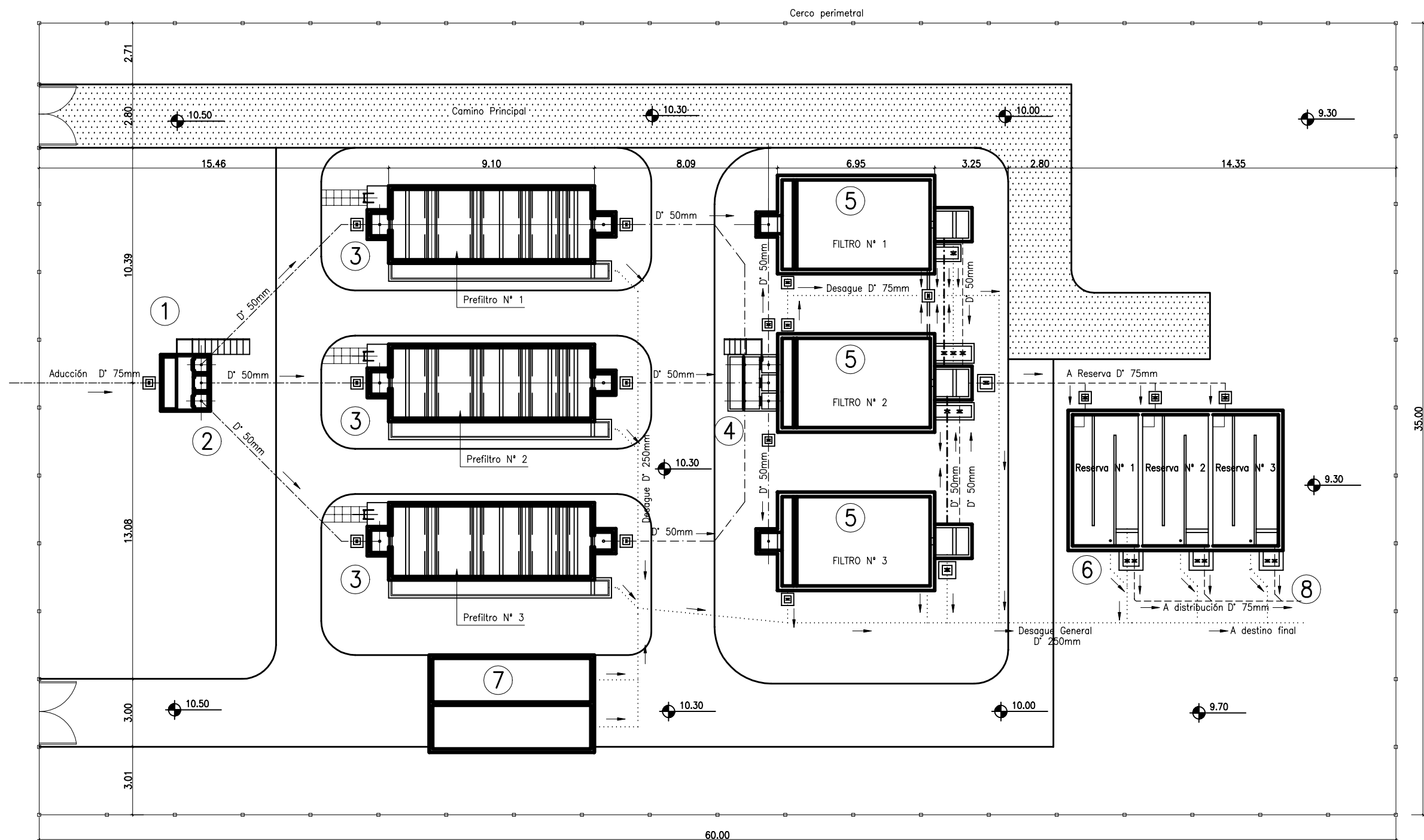
N_c = número de cámaras colectoras del agua filtrada de cada unidad, dos en la 1ª etapa, en donde en uno de los muros frontales se ubican los respectivos vertederos rectangulares de control del nivel mínimo de filtración (en la cámara es constante)	3
L_v = longitud del umbral del vertedero horizontal, practicado en la cámara colectora de longitud $L = 1,20 \text{ m}$	0,50 m
$h_v = [Q_f / (1,838 \cdot L_v)]^{2/3}$ = tirante líquido operativo sobre el umbral del vertedero, para $Q_f = 0,000972 \text{ m}^3/\text{s}$	0,010 m

2.4. RESERVAS DE AGUA FILTRADA

N_R = número de cisternas de reserva de agua filtrada	3
t_r = período de tiempo de reserva	12 h
$V_r = Q_f \cdot t_r$ = volumen líquido máximo en cada reserva	42,00 m^3
H = altura líquida máxima	2,50 m
$A = V_r / H$ = superficie de cada cisterna de base rectangular	16,80 m^2
B = ancho de cada reserva	2,90 m
L = longitud de cada reserva	5,80 m
H_o = altura libre de la cisterna cubierta	0,40 m
N = número de canales divididos por muros divisorios de 0,10 m de espesor para el contacto con el cloro	3
b = ancho de cada canal de longitud $L = 5,80 \text{ m}$	0,90

2.5. DESINFECCIÓN

d = dosis de cloro deducido de pruebas para tener 0,5 mg/l de cloro residual	1 mg/l
c = concentración de cloro comercial de hipoclorito de sodio (líquido):	8 %
$C = d \cdot Q$ = consumo total de cloro al final del período	0,252 Kg/d
$Q_d = C/c$ = volumen diario de hipoclorito de sodio al 8 % requerido al final del período	3,15 l/d
V_d = volumen de cada damajuana de hipoclorito de sodio	20 l
t = tiempo de consumo de una damajuana	6,35 d
$V_{cl} = V_d \cdot t_a$ = volumen de hipoclorito, requerido en $t_a = 60$ d = tiempo de almacenamiento	189,0 l
N_d = número de damajuanas de 20 L a almacenar: 9,45	10



REFERENCIAS

- CAÑERIA DE AGUA FILTRADA
- CAÑERIA DE INTERCOMUNICACION
- CAÑERIA DE AGUA PREFILTRADA
- CAÑERIA DE DESAGUES
- CAÑERIA AGUA CRUDA
- 1.- CAMARA DE CARGA
- 2.- CAMARAS DE DISTRIBUCION
- 3.- PREFILTROS DE GRAVA
- 4.- PARTICION DE CAUDALES
- 5.- FILTROS LENTOS
- 6.- CISTERNAS
- 7.- LAVADO DE ARENA
- 8.- EFLUENTE

NOTAS:

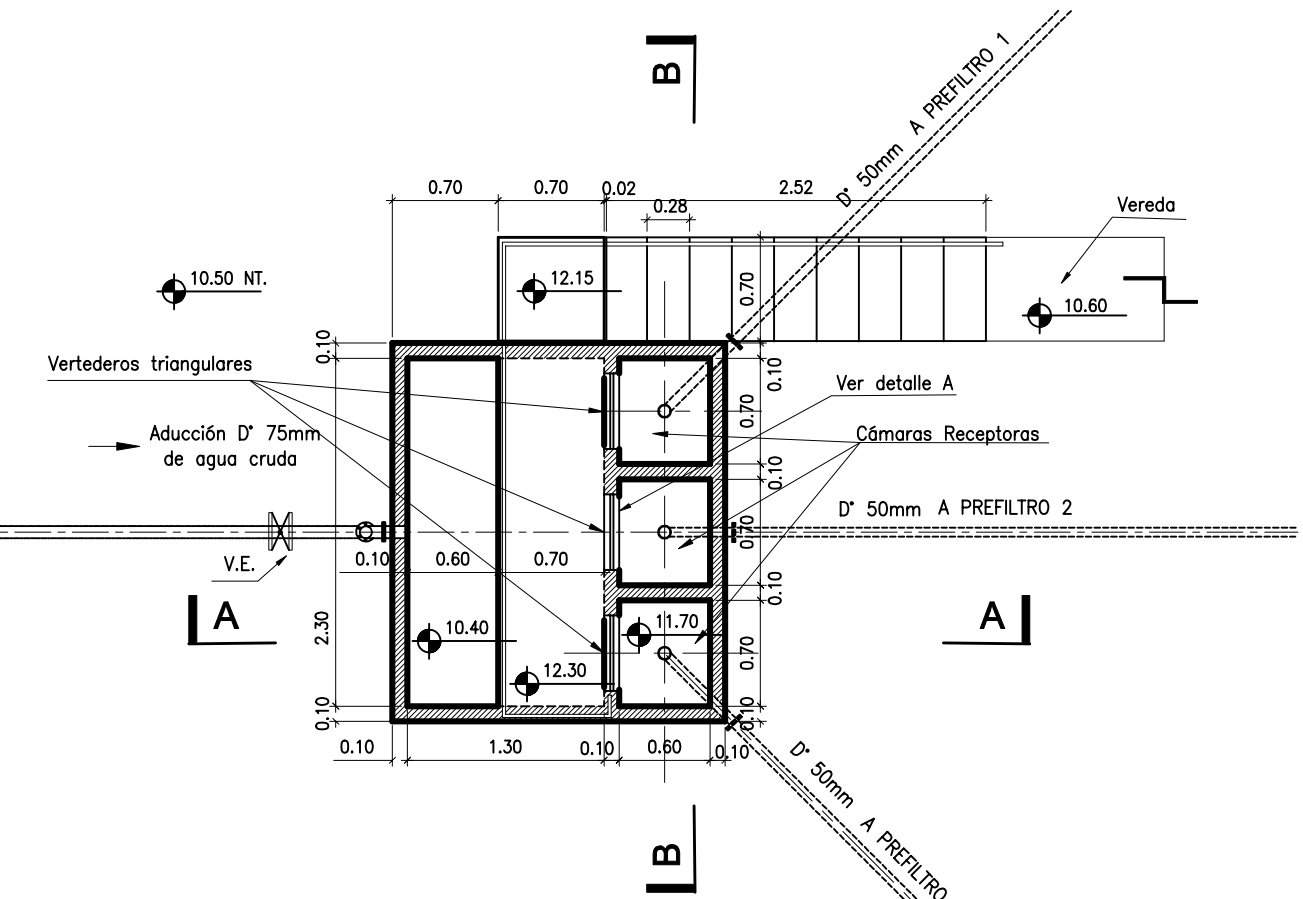
REF.	8P-FL006		PERFIL HIDRAULICO
	8P-FD001		IMPLANTACION GRAL
DOCUMENTO N°	TOMO N°		TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO		Proy.	N° 8P-FL001
CAUDAL DE DISEÑO = 10.50m ³ /h		Dibujo	Fecha
IMPLANTACION GENERAL		Ing.Proy.	Escala 1:200
			HOJA 1...de.9.

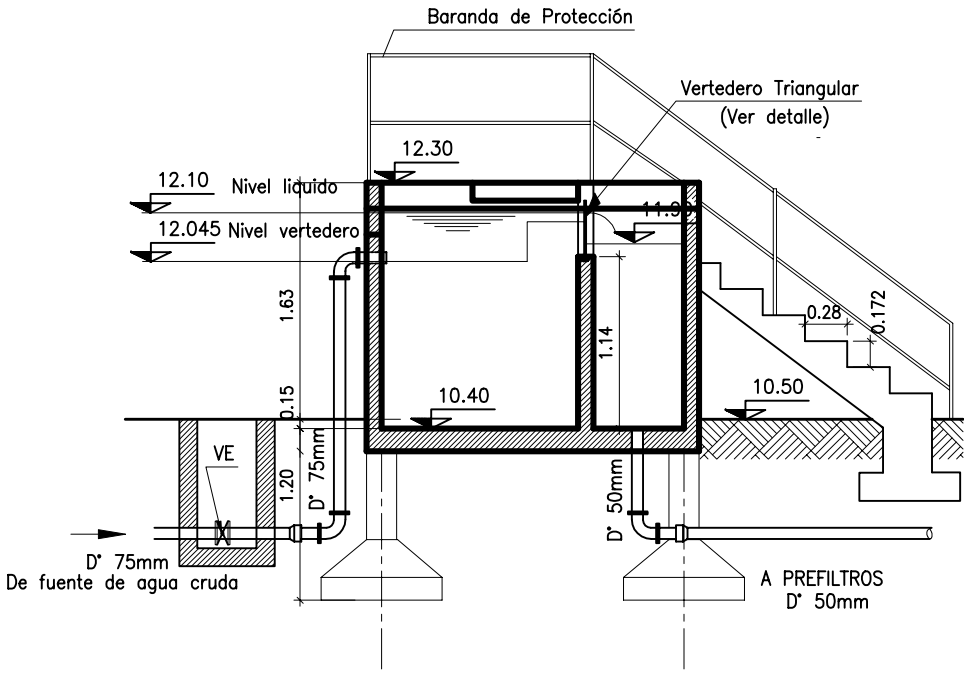
PLANTA DE CAMARA DE CARGA GENERAL

ESCALA 1:50

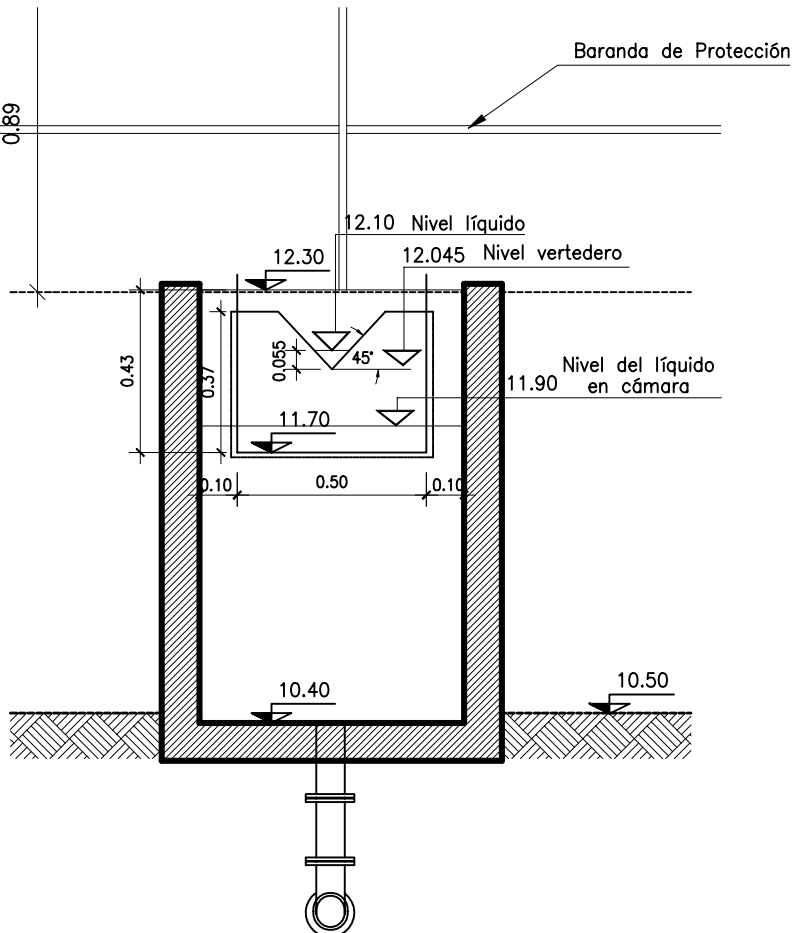


CORTE A-A

ESCALA 1:50

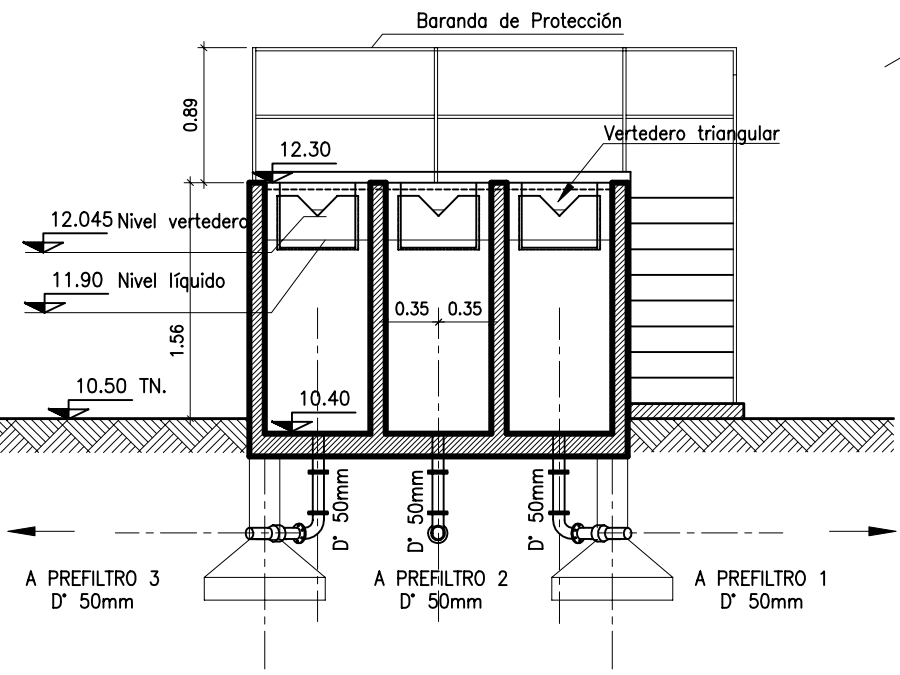


DETALLE DE SALIDA A PREFILTRO

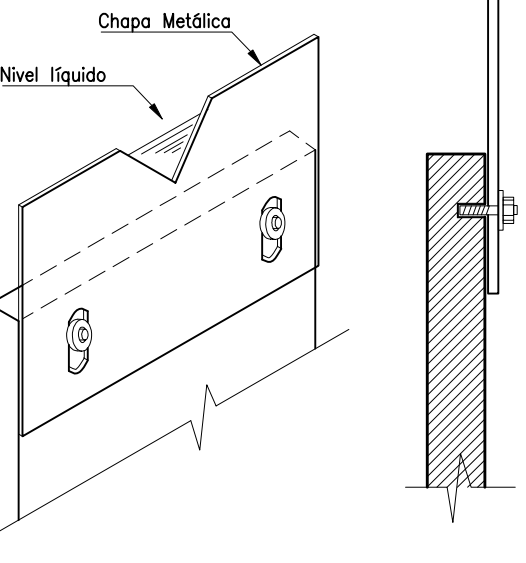
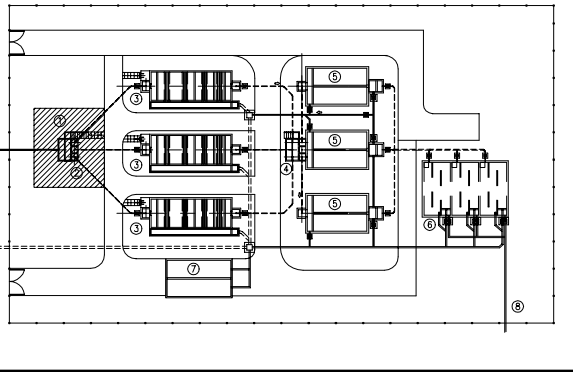


CORTE B-B



ESCALA 1:50

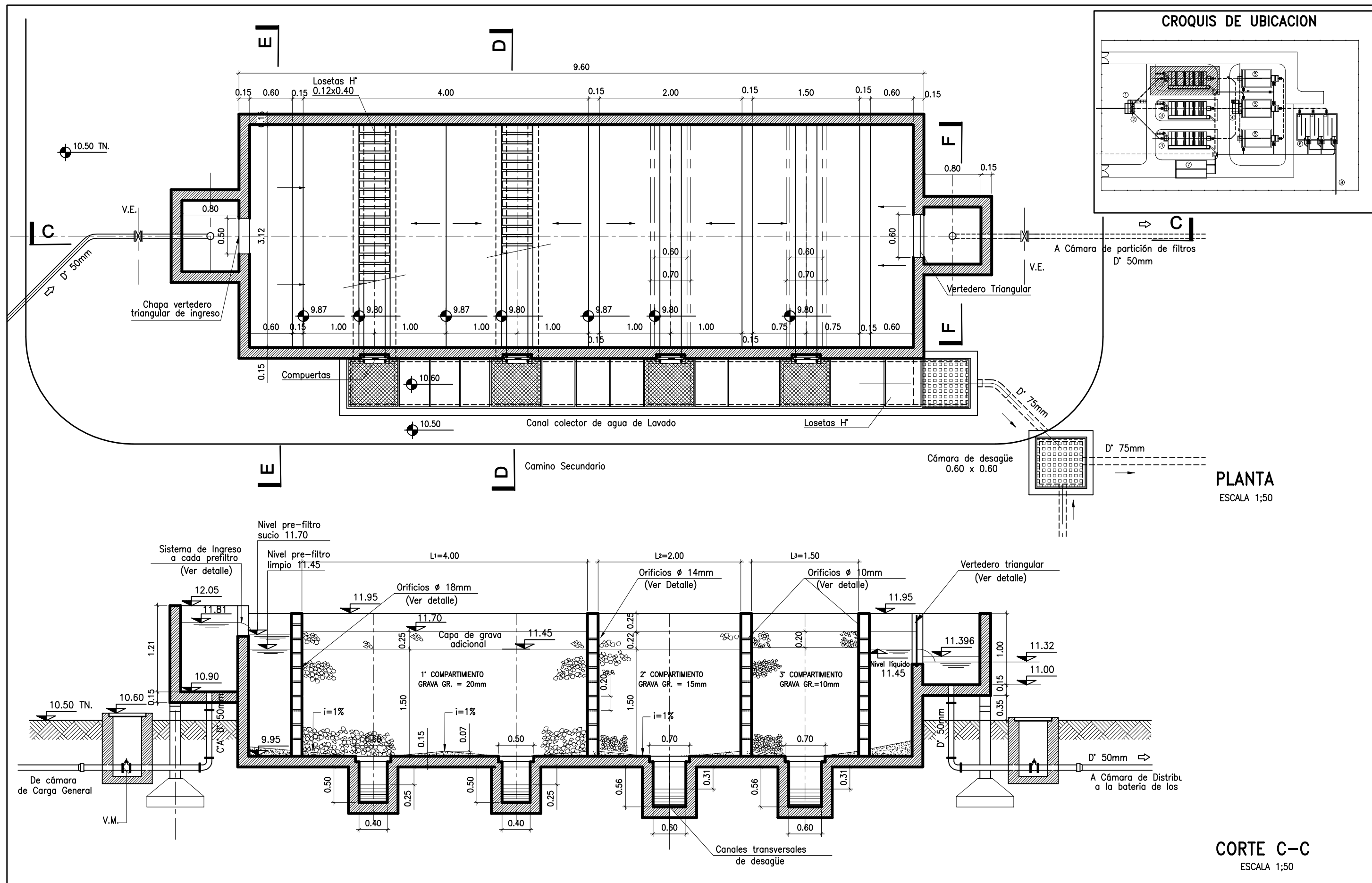


CROQUIS DE UBICACION



Detalle "A" de Colocación del Vertedero

NOTAS:				 HYTSA <i>hytsa estudios y proyectos s.a.</i>		PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO				
8P-FL006	PERFIL HIDRAULICO				 INGENIERIA SRL	TITULO: PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO CAUDAL DE DISEÑO = 10.50m3/h CAMARA DE CARGA GENERAL Y PARTICION DE CAUDALES A PREFILTROS		Proy.	N° 8P-FL002	
8P-FD001	IMPLANTACION GRAL					Dibujo	Fecha		H	
DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO				Ing.Proy.	Escala 1:50		2	



ESCALA 1:50



ESCALA 1:20

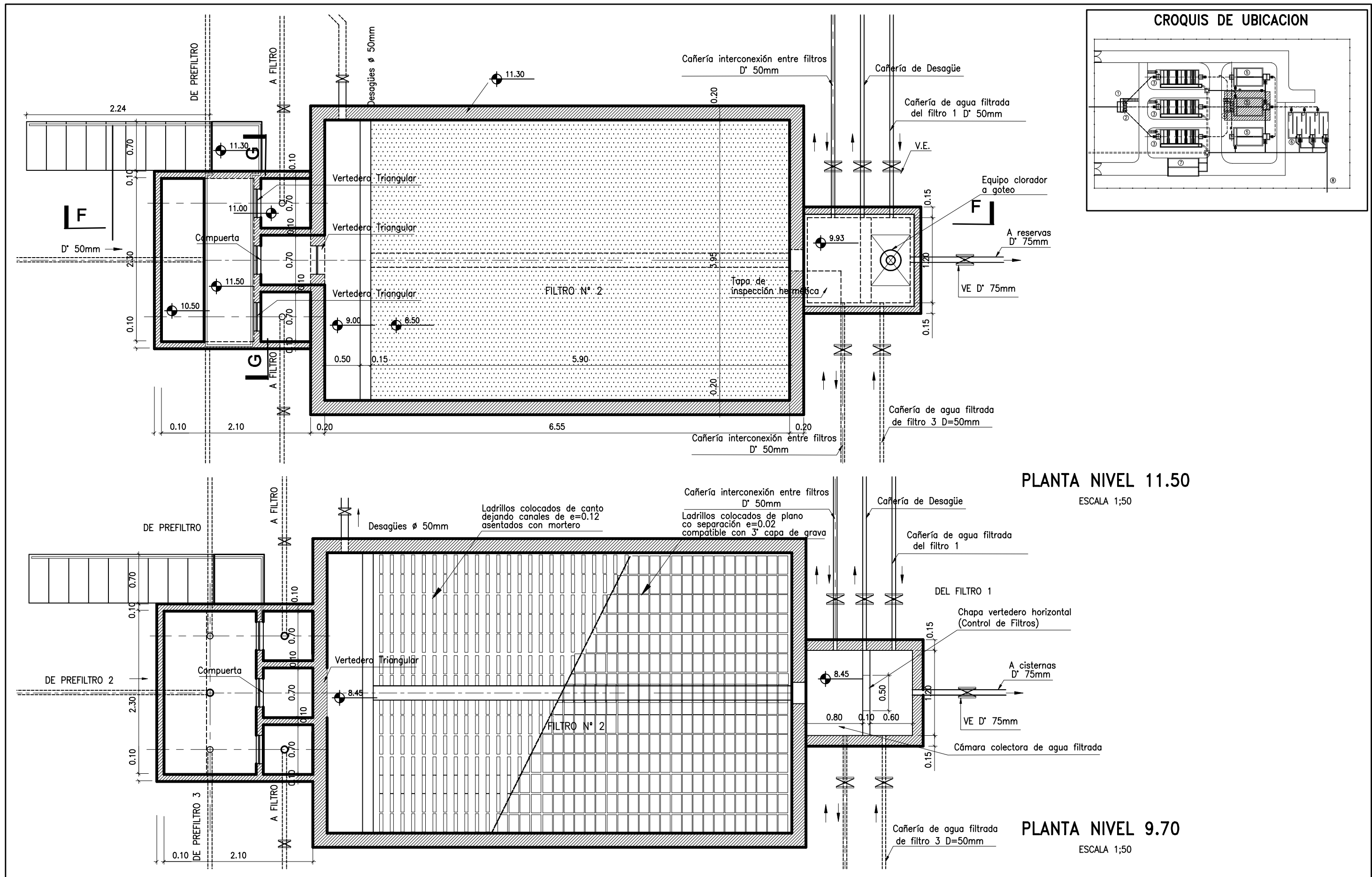




ESCALA 1:20



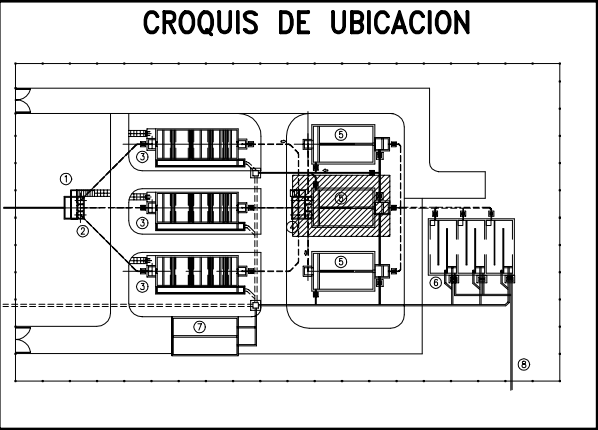
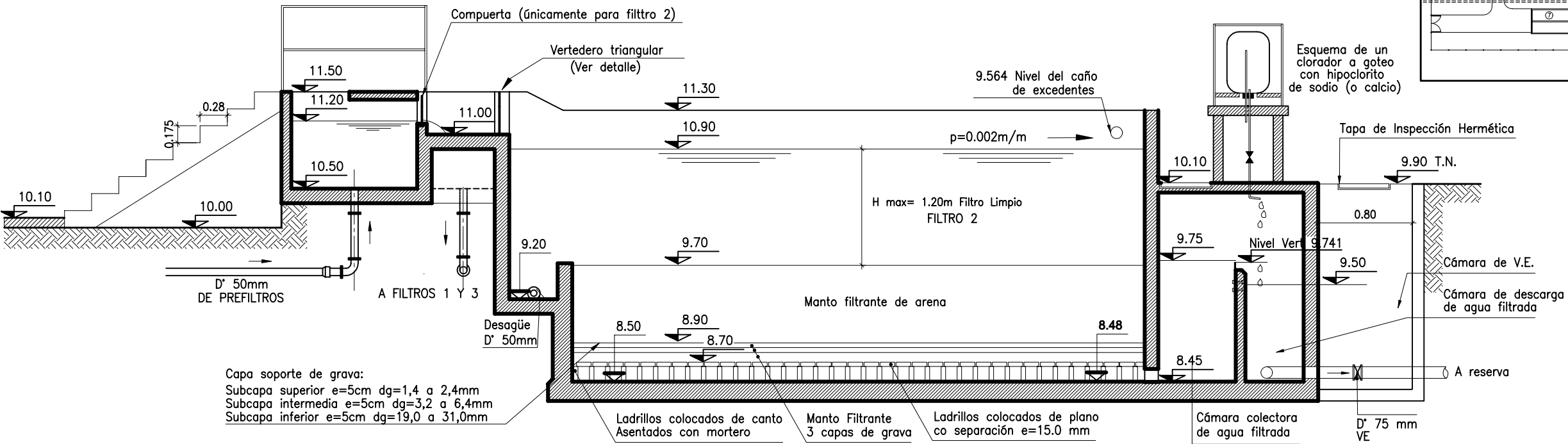
TITULO:	PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO CAUDAL DE DISEÑO = 10.50 m ³ /h PREFILTROS - CORTE Y DETALLES
---------	---

Proy.	N° 8P-FL004	
Dibujo	Fecha	HOJA
Ing.Prov.	Escala 1:50	4..de.9.

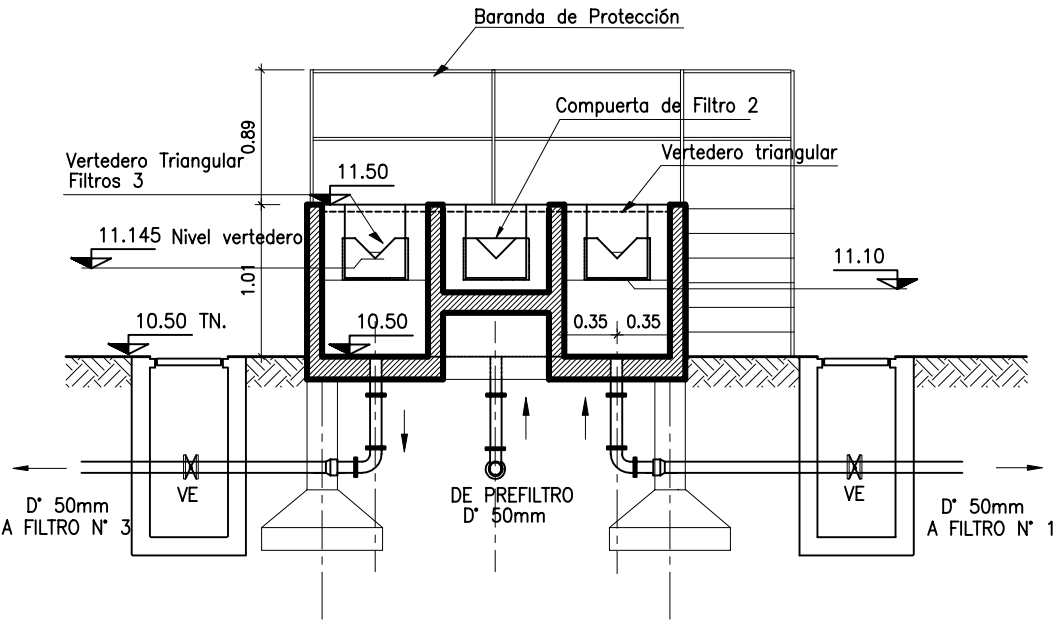


NOTAS:				<div> HYTSA <i>hytsa estudios y proyectos s.a.</i></div> <div> INGENIERIA SRL</div>	PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO				
REF.	8P-FL006		PERFIL HIDRAULICO		TITULO:	PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO CAUDAL DE DISEÑO = 10.50 m ³ /h FILTROS LENTOS - PLANTAS	Proy.	N°	8P-FL005
	8P-FD001		IMPLANTACION GRAL				Dibujo	Fecha	HOJA
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO				Ing.Proy.	Escala 1:50	5.de.9.

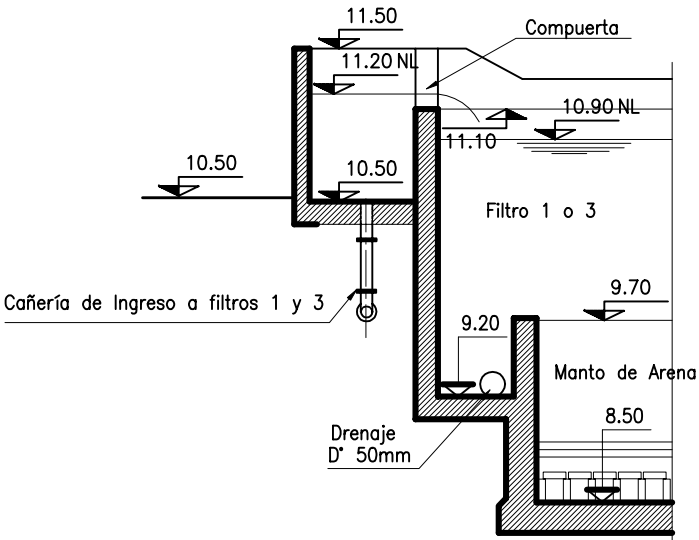
CORTE F-F
ESCALA 1:50



CORTE G-G
ESCALA 1:50



DETALLE DE INGRESO A FILTROS 1 Y 3



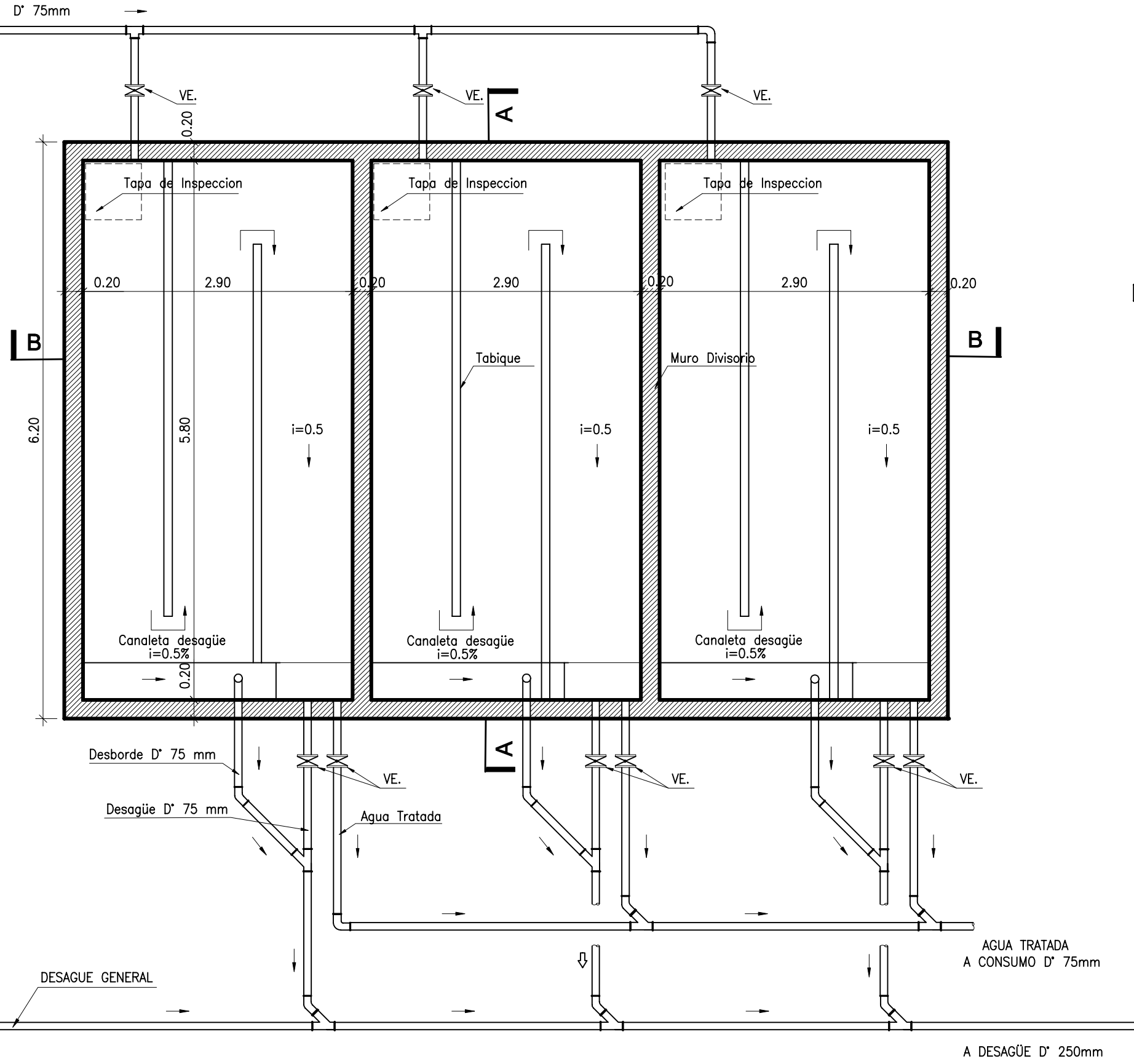
NOTAS:

REF.	8P-FL006		PERFIL HIDRAULICO
	8P-FD001		IMPLANTACION GRAL
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO

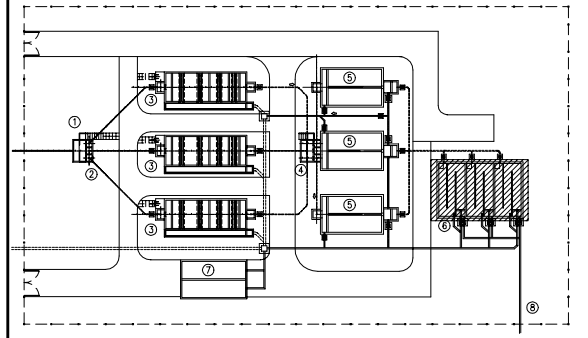


PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO CAUDAL DE DISEÑO = 10.50 m³/h FILTROS LENTOS - CORTES		Proy.	N° 8P-FL006
		Dibujo	Fecha
		Ing.Proy.	Escala 1:50
		HOJA 6..de.9.	

DE FILTROS
CON CLORACION D" 75mm



CROQUIS DE UBICACION



PLANTA A NIVEL 11.85

NOTAS:

REF.	8P-FD003		PERFIL HIDRAULICO
	8P-FD002		CORTES Y DETALLES
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO		
TITULO:	PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO CAUDAL DE DISEÑO = 10.50m ³ /h CISTERNAS -PLANTA	
Proy.	N°	8P-FL007
Dibujo	Fecha	HOJA
Ing.Proy.	Escala 1:50	7...de.9.

Technical cross-section drawing of a wastewater treatment tank (V.E.). The drawing shows the internal structure, including the floor, walls, and various pipes and valves. Key components and dimensions are labeled:

- Dimensions:**
 - Overall width: 0.80 x 0.80
 - Overall height: 2.90
 - Internal height: 2.56
 - Bottom slope: $i = 5 \%$
 - Bottom thickness: 0.20
 - Top thickness: 0.10
 - Side wall thickness: 0.14
- Components and Labels:**
 - Cubierta de Tierra:** Earth cover.
 - Malla de Bronce:** Bronze mesh.
 - Ingreso de Hombre Tapa según detalle:** Manhole entrance according to detail.
 - Flotante:** Float.
 - Caño de Desborde:** Overflow pipe.
 - Cañería de desborde:** Overflow pipe.
 - Cañería de agua tratada:** Pipe for treated water.
 - Cañería de desagüe:** Drainage pipe.
 - Tapa Metálica:** Metal cover.
- Other Labels:**
 - V.E.:** Vertical Elevations.

Este diagrama ilustra la terminación exterior de un piso de concreto, mostrando la transición entre el interior y el exterior. Las características principales son:

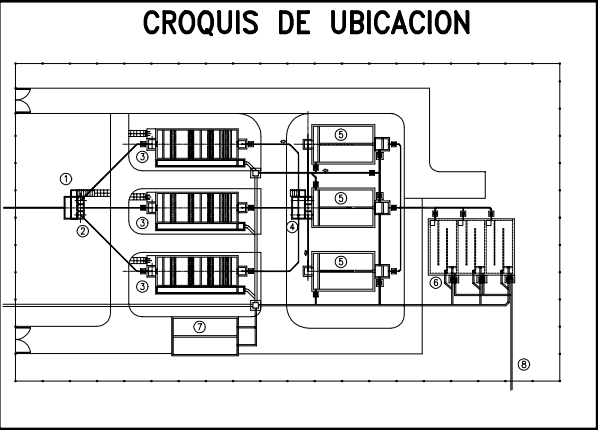
- Terminación Exterior:** Se indica una pendiente del 1.5% hacia el exterior.
- Manija de Hierro:** Se especifica un diámetro de $\varnothing 12$.
- Capa de Chapa Rayada:** Se indica un espesor de $e=4.5$ mm.
- Burlete de Goma:** Se especifica una planchuela de 30×3.2 mm.
- Revoque Interior:** Se indica el uso de mortero "R" y "S".
- Dimensiones:** Se muestran anchos de 0.09 m en los bordes laterales y una longitud central de 0.60×0.60 m.
- Altura:** Se indica una altura de 0.20 m para la terminación exterior.

REF.	8P-FD003		PERFIL HIDRAULICO
	8P-FD002		CORTES Y DETALLES
	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO

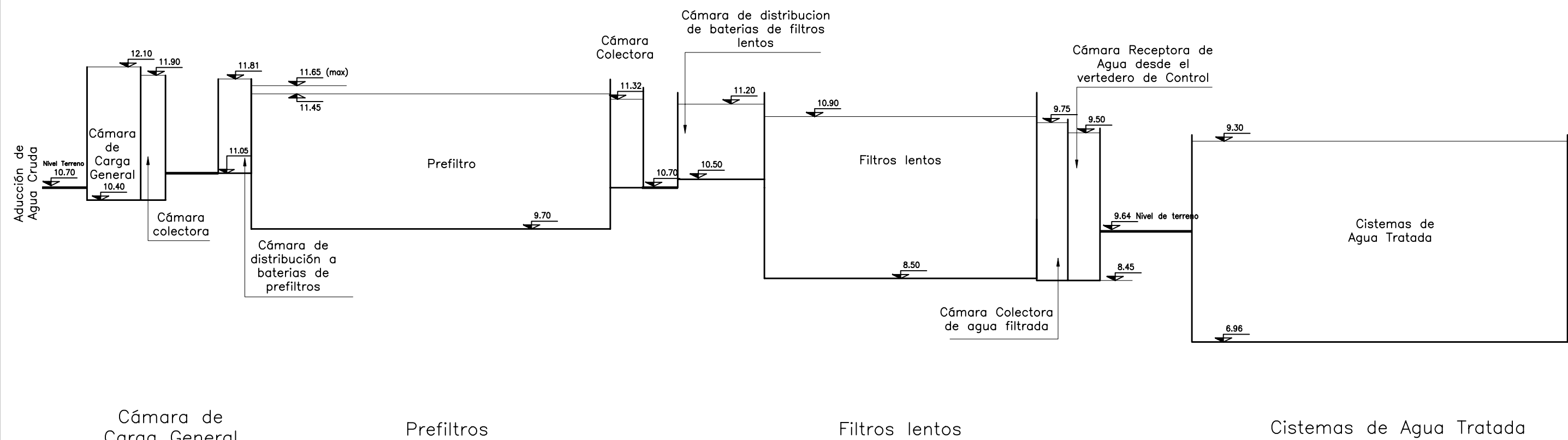


TITULO:	PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO
	CAUDAL DE DISEÑO = 10.50m ³ /h
	CISTERNAS - CORTE

Proy.	N° 8P-FL008	
Dibujo	Fecha	HOJA
Ing.Prov.	Escala 1:50	8.de.9.



PERFIL HIDRAULICO



Escala Horizontal: 1:100
Escala Vertical: 1:50

NOTAS:

REF.	DOCUMENTO N°	TOMO N°	TITULO



PODER EJECUTIVO NACIONAL SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE ENTE NACIONAL DE OBRAS HIDRICAS DE SANEAMIENTO			
TITULO: PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO LENTO CAUDAL DE DISEÑO = 10.50 m ³ /h ESQUEMA DEL PERFIL HIDRAULICO		Proy.	N°
		Dibujo	Fecha
		Ing.Proy.	Escala
			HOJA
			9.de.9.