

## **Anexo 10**

# **Memoria Técnica Diseños Definitivos PTAR Chibunga**

# CONTENIDO

## PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

### DISEÑOS DEFINITIVOS PLANTA DE CHIBUNGA

1	ANTECEDENTES.....	7
2	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	7
2.1	Fundamentos teóricos.....	7
2.2	Caracterización de las aguas servidas.....	8
2.3	Caudales de diseño.....	9
3	MODIFICACION DEL SISTEMA DE INTERCEPTORES.....	11
4	SISTEMA DE TRATAMIENTO CON REACTORES DE FLUJO ORBITAL.....	12
4.1	Pretratamiento.....	12
4.2	Tratamiento secundario.....	13
4.3	3.3 Decantador secundario.....	13
4.4	3.4 Tratamiento terciario.....	13
4.5	3.5 Línea de lodos.....	13
5	CALCULO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO.....	16
5.1	Derivador de caudales.....	16
5.2	Canal de ingreso.....	18
5.3	Pretratamiento.....	21
5.3.1	Rejas de limpieza mecánica.....	22
5.3.2	Rejillas finas o tamices perforados.....	23
5.3.2.1	Residuos extraídos.....	23
5.4	Equipo de tamizado.....	24
5.5	Desarenador tipo VORTEX.....	26
5.5.1	Características de las arenas.....	28
5.5.2	Lavado de arenas.....	28
5.6	Reactor biológico.....	28
5.6.1	Cinética del crecimiento bacteriano.....	29
5.6.1.1	Modelos específicos del proceso.....	30
5.6.1.2	Rendimientos.....	31
5.6.2	Constitución de los procesos biológicos de fangos activados.....	32

---

5.6.2.1	Proceso convencional (flujo pistón) .....	33
5.6.2.2	Mezcla completa.....	33
5.6.2.3	Alimentación escalonada.....	33
5.6.2.4	Contacto-estabilización.....	33
5.6.2.5	Aireación prolongada.....	34
5.6.3	Proceso biológico de fangos activados.....	36
5.6.4	Descripción del modelo matemático. ....	37
5.6.5	Tratamiento biológico por aireación prolongada. ....	42
5.6.5.1	Cálculo de cantidad de sustrato consumido y rendimiento del proceso. 43	
5.6.5.2	Cálculo del volumen del reactor.....	44
5.6.5.3	Cálculo de las necesidades de oxígeno.....	46
5.6.5.4	Caudal de purga. ....	47
5.6.5.5	Caudal de salida efluente, caudal de alimentación combinada. ....	48
5.6.5.6	Balance de materia para sólidos no volátiles. ....	48
5.6.5.8	Cálculo de la DBO5 en la alimentación combinada .....	49
5.6.5.9	Consumo de nutrientes.....	49
5.7	Digestión aerobia de lodos. ....	50
5.7.1	Diseño del sistema de aireación. ....	51
5.8	Diseño de clarificadores.....	52
5.9	Diseño de clarificadores.....	53
5.9.1	Estación de bombeo para recirculación de lodos.....	56
5.9.1.1	Cálculo de la Curva del Sistema de Bombeo.....	56
5.9.2	Conformación del Múltiple de Bombeo. ....	60
5.9.3	Cálculo de la línea de Impulsión. ....	60
5.9.4	Cálculo de las Válvulas de Aire.....	60
5.9.5	Dimensionamiento para expulsión de aire. ....	61
5.9.6	Dimensionamiento para admisión de aire. ....	61
5.9.7	Dimensionamiento para eliminación de aire. ....	62
5.10	Cálculo del sistema de deshidratador de lodos.....	62
5.10.1	Recomendaciones.....	63
5.11	Secador solar de lodos. ....	64
5.12	Desinfección mediante lámparas UV. ....	66

---

5.13	Cálculo de los subdrenos.....	70
5.13.1	Caudal por infiltración.....	71
5.13.2	Cálculo del geotextil.....	73
6	MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	73
6.1	Plan de explotación.....	75
6.2	Descripción de los procesos y equipos.....	75
6.2.1	Procesos y equipos en la PTAR.....	75
6.3	Normas de explotación.....	76
6.4	Normas para la puesta en marcha.....	77
6.5	Normas para gestión del proceso.....	79
6.5.1	Documentación y partes de explotación.....	79
6.5.2	Operaciones en los procesos unitarios de las instalaciones.....	81
6.6	Mantenimiento periódico de la PTAR.....	83
6.6.1	Tipos de labores de mantenimiento.....	83
6.6.2	Mantenimiento preventivo.....	83
6.6.3	Mantenimiento predictivo.....	85
6.6.4	Mantenimiento correctivo.....	85
6.6.5	Mantenimiento modificativo.....	86
6.6.6	Mantenimiento energético y medioambiental.....	86
6.7	Características del personal de operación.....	86
6.7.1	Personal base.....	87
6.7.2	Personal adicional.....	89
7	COSTOS POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	89
7.1	Determinación de los costos fijos.....	90
7.1.1	Naturaleza y relación de costos fijos a considerar.....	90

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 3.1:</b>	Variación de los interceptores.....	11
<b>Gráfico 5.1:</b>	Evolución del número de organismos en función de la evolución del sustrato	29
<b>Gráfico 5.2:</b>	Tasa de eliminación de materia orgánica en el proceso biológico de fangos activos	31
<b>Gráfico 5.3:</b>	Relación de la carga másica y el índice de Mohlmann.....	31
<b>Gráfico 5.4:</b>	Crecimiento de microorganismos y evolución del sustrato.....	32
<b>Gráfico 5.5:</b>	Diagrama de flujo.....	38
<b>Gráfico 5.6:</b>	Mecanismo de la degradación biológica aerobia.....	50
<b>Gráfico 5.7:</b>	Reducción de SSV en digestor aerobio de lodos .....	51
<b>Gráfico 5.8:</b>	Curva del sistema de bombeo .....	58
<b>Gráfico 5.9:</b>	Curva de capacidad y tasa de infiltración.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1:	Línea de tratamiento reactor de flujo orbital.....	14
Figura 4.2:	Imagen de una PTAR en funcionamiento .....	14
Figura 4.3:	Disposición de unidades de tratamiento .....	15
Figura 5.1:	Pozo de derivación de caudales .....	17
Figura 5.2:	Modelo de reja fina a utilizarse .....	25
Figura 5.3:	Válvula de aire para aguas residuales .....	61
Figura 5.5:	Esquema de un secador solar de lodos.....	66
Figura 5.6:	Esquema de un sistema UV. ....	69
Figura 5.7:	Implantación Planta de tratamiento reactor de flujo orbital.....	70
Figura 5.8:	Subdren tipo .....	71
Figura 6.1:	Línea de tratamiento seleccionada .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:	Caracterización de las aguas residuales en varias descargas .....	8
Tabla 2.2:	Caudales de diseño .....	9
Tabla 2.3:	Parámetros de diseño para la PTAR .....	10
Tabla 3.1:	Cálculo de prolongación Interceptor Chibunga .....	11
Tabla 5.1:	Cálculo del derivador de caudales .....	17
Tabla 5.2:	Cálculo del canal de ingreso a PTAR .....	19
Tabla 5.3:	Cálculo del canal repartidor a rejas.....	20
Tabla 5.4:	Cálculo del canal de ingreso a reactores .....	20
Tabla 5.5:	Cálculo del canal repartidor a reactores.....	21
Tabla 5.6:	Tipos de equipos de tamizado utilizados para aguas residuales.....	22
Tabla 5.7:	Proyecto de rejas, limpieza manual y automática .....	23
Tabla 5.8:	Cálculo de rejas gruesa .....	25
Tabla 5.9:	Cálculo de reja fina.....	26
Tabla 5.10:	Diseño del desarenador.....	27
Tabla 5.11:	Descripción de los procesos de fangos activados.....	34
Tabla 5.12:	Parámetros de diseño para fangos activados .....	36
Tabla 5.13:	Nomenclatura empleada.....	39
Tabla 5.14:	Parámetros de diseño PTAR Chibunga .....	42
Tabla 5.15:	Parámetros de diseño para clarificadores secundarios.....	53
Tabla 5.16:	Cálculo de la curva de bombeo .....	57
Tabla 5.17:	Bomba para recirculación de lodos.....	59
Tabla 5.18:	Bomba para conducción de lodos a deshidratador .....	59
Tabla 5.19:	Tasa de infiltración de suelos .....	72
Tabla 5.20:	Cálculo del caudal de infiltración .....	72
Tabla 5.21:	Cálculo de tubería de subdren.....	73
Tabla 5.22:	Cálculo de la permitividad.....	73
Tabla 6.1:	Operaciones de procesos unitarios.....	81
Tabla 6.2:	Plan de mantenimiento preventivo.....	84
Tabla 6.3:	Obligaciones del jefe de planta y operadores .....	87
Tabla 7.1:	Costos por consumo de energía eléctrica.....	92
Tabla 7.2:	Costos del personal de operación y mantenimiento.....	93

---

Tabla 7.3:	Costos del mantenimiento de equipos .....	94
Tabla 7.4:	Total de costos anuales.....	95
Tabla 7.5:	Tarifa marginal financiera .....	96

## DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

### PLANTA DE CHIBUNGA

#### 1 ANTECEDENTES.

Los Estudios de los Planes Maestros de Agua Potable realizado por la Consultora ACSAM determinó los siguientes aspectos relacionados con los diseños de las plantas de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Riobamba.

La alternativa seleccionada se encuentra integrada por zonas de recolección totalmente definidas por las áreas tributarias de sus respectivos colectores principales; cada colector mediante unidades derivadoras de caudal orienta las aguas residuales a los interceptores y emisarios, a través de los que se transporta el agua residual hacia 4 sitios donde se realiza el tratamiento; éstos son:

Sistema Principal o Tratamiento Chibunga: a ésta llegan los sistemas de recolección Chibunga y Centro; es el principal sitio de tratamiento del agua residual; al final del período de diseño (año 2040), a esta planta llegará un caudal medio de 692.04 l/s, que este representa el 93.75% del caudal total de tratamiento de la ciudad, generado por el 94.3% de la población servida de Riobamba (276229 hab.), y cubre una superficie de 4842.98 ha.

#### 2 PARÁMETROS DE DISEÑO.

##### 2.1 *Fundamentos teóricos.*

Los contaminantes biodegradables presentes en las aguas residuales pueden ser removidos mediante diferentes procesos físicos, químicos y biológicos o una combinación de éstos, lográndose un agua tratada libre de contaminantes. En esta composición de procesos los microorganismos utilizan la materia orgánica como alimento para crecer y para su metabolismo de mantención, acelerando su descomposición.

El tratamiento de las aguas residuales se lleva a cabo en las etapas siguientes:

- a. Tratamiento preliminar o pretratamiento: consiste en eliminar los sólidos gruesos y sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales mediante rejillas, cribas y con decantadores.
- b. Tratamiento primario: remoción de la materia orgánica en suspensión mediante sedimentación.
- c. Tratamiento secundario: reducción de la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias; una vez que la materia orgánica ha sido estabilizada es conducida al proceso de decantación secundaria en donde se separan los fangos del agua; los fangos a su vez son recirculados hacia el reactor y digestor, en cambio el agua clarificada es recogida en la parte superior del decantador y conducida hacia la descarga.

- d. Finalmente, el efluente pasa al tratamiento terciario, el cual se usa para eliminar los Coliformes fecales, mediante un sistema de desinfección tipo filtro UV.

Para sustentar el tratamiento propuesto se toma como base el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Ministerio de Ambiente), y otros estándares de diseño, calidad, especificaciones técnicas y límites de descarga revisados por el departamento de Salud Pública y la Administración de Medio Ambiente de los estados afluentes de los Grandes Lagos y del Río Mississippi, USA, en el reporte del comité de aguas residuales edición de 1997 y en la ley pública 92-500 de USA /EPA (CWA), donde se determinan los estándares de medida así como las concentraciones medias para el DBO<sub>5</sub>, el TSS y el pH que pueden ser evacuados al ambiente.

## 2.2 Caracterización de las aguas servidas.

Para efectos del diseño que se propone en este documento, se ha considerado los resultados de análisis de aguas realizados por la EMAPAR en muestras puntuales en las descargas que se indican en la tabla 2.1, cuyo resumen de resultados son los siguientes:

Tabla 2.1: Caracterización de las aguas residuales en varias descargas

PARAMETROS	SECTORES ELEGIDOS PARA EL MUESTREO				UNIDAD
	BUCARETS Y LEO. FREIRE	COLECTOR LA INMACULADA	COLECTOR LA PAZ	PROMEDIO	
FECHA MUESTREO	2018-06-07	2018-06-07	2018-06-07		
HORA MUESTREO	9:10	9:30	10:05		
DBO <sub>5</sub>	120	180	250	183	mg/l
DQO	388	590	831	603	mg/l
RELACION DQO / DBO <sub>5</sub>	3.23	3.28	3.32	3.28	
FOSTORO TOTAL	1.7	1.74	2.13	1.86	mg/l
NITRATOS NO <sub>3</sub>	37.3	37.3	37.3	37.30	mg/l
NITRITOS NO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.10	mg/l
NITROGENO AMONICAL	2.5	2.5	2.5	2.50	mg/l
PH	7.31	7.44	7.29	7.35	unidades de pH
SOLIDOS TOTALES	720	1120	800	880	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS	154	568	432	385	mg/l
SOLIDOS SEDIMENTABLES	2.5	3	1.3	2.27	mg/l
GRASAS Y ACEITES	3.4	3.2	4.3	3.63	mg/l
COLIFORME TOTAL	1.10E+04	2.40E+04	3.50E+04	2.33E+04	NMP/100 ml
COLIFORME FECAL	2.40E+03	3.50E+03	2.60E+03	2.83E+03	NMP/100 ml

HIERRO	1.90	4.19	2.87	2.99	mg/l
FOSFORO	1.70	1.74	2.13	1.86	mg/l

FUENTE: EMAPAR EP

ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

### 2.3 Caudales de diseño.

Considerando la población y otros factores como infiltraciones, se estableció que el caudal de diseño para el presente proyecto será de 87.292 m<sup>3</sup>/día o 1.010,33 l/s (Q<sub>máximo</sub> + Infiltraciones), según la tabla 2.1.

- La población proyectada de 285.361 habitantes.
- La dotación per cápita será de 208 lt/hab x día.
- El coeficiente de simultaneidad se calcula mediante la expresión de HARMOND, en caso de no contar con datos de campo, el valor se calcula con la siguiente expresión.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + P^{0.5}} = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s.

La planta de tratamiento procesará un caudal de 3.871 m<sup>3</sup>/día, al final de periodo de diseño; en cambio para el año 2017, un caudal 2.345 m<sup>3</sup>/día, los parámetros considerados para el diseño tanto de ingreso como de salida se presenta en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Caudales de diseño

AÑO	POBLACION (habitantes)	DOTACION (lt/hab/día)	Q. MED. (lt/seg)	COEF. MAYOR (M) HARMOND	Q MAX. (lt/seg)	Q. INFILT. (lt/seg)	Q. TOTAL (lt/seg)
2018	188,859	208	363.73	1.7891	650.75	56.83	707.58
2019	192,351	208	370.45	1.7835	660.70	57.88	718.58
2020	195,791	208	377.08	1.7781	670.49	58.92	729.41
2021	199,172	208	383.59	1.7729	680.07	59.94	740.01
2022	202,585	208	390.16	1.7678	689.72	60.96	750.68
2023	206,032	208	396.80	1.7628	699.48	62.00	761.48
2024	209,514	208	403.51	1.7578	709.29	63.05	772.34
2025	213,101	208	410.42	1.7528	719.38	66.59	785.97
2026	228,946	208	440.93	1.7318	763.60	71.55	835.15
2027	232,980	208	448.70	1.7268	774.82	72.81	847.63
2028	236,848	208	456.15	1.7220	785.49	74.02	859.51
2029	240,874	208	463.91	1.7172	796.63	75.27	871.90
2030	244,925	208	471.71	1.7125	807.80	79.37	887.17

ACTUALIZACION DE LOS DISEÑOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

2031	249,364	208	480.26	1.7074	820.00	80.81	900.81
2032	253,307	208	487.85	1.7030	830.81	82.09	912.90
2033	257,782	208	496.47	1.6981	843.06	83.54	926.60
2034	260,670	208	502.03	1.6950	850.94	84.48	935.42
2035	265,532	208	511.39	1.6898	864.15	86.05	950.20
2036	269,606	208	519.24	1.6856	875.23	87.37	962.60
2037	273,661	208	527.05	1.6815	886.23	88.69	974.92
2038	277,615	208	534.67	1.6776	896.96	89.97	986.93
2039	281,495	208	542.14	1.6738	907.43	91.23	998.66
2040	285,361	208	549.58	1.6701	917.85	92.48	1,010.33

FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

En base a la información recopilada de las tablas 2.1 y 2.2 se adoptan los siguientes parámetros de diseño para la planta de tratamiento de Chibunga.

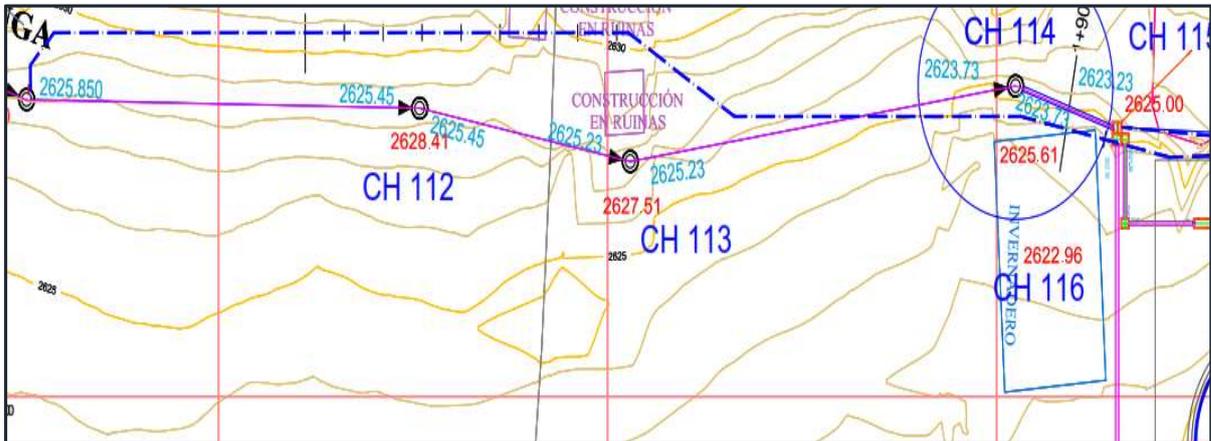
Tabla 2.3: Parámetros de diseño para la PTAR

PARAMETROS DE DISEÑO							
Población de diseño	Pob	285361	hab	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
Caudal medio diario	Q	642.06	lt/seg	2,311	m <sup>3</sup> /h	55,474	m <sup>3</sup> /día
Caudal máximo horario	Q <sub>max</sub>	1,010.33	lt/seg	3,637	m <sup>3</sup> /h	87,293	m <sup>3</sup> /día
Carga de sólidos	DS	64	gr/hab/día	18,263	Kg/día	329.00	mg/lt
Carga DBO5	DB	48	gr/hab/día	13,679	Kg/día	247.00	mg/lt
Carga DQO	DQ	115	gr/hab/día	32,817		592.00	Mg/lt
Coliformes fecales						3.5.E+06	nmp/100 ml
Nitrógeno Total						27.40	mg/l
Aceites y grasas						3.63	mg/l
Fósforo						1.86	mg/l
VALORES DE SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO							
Demanda Bioquímica de Oxígeno		DBO5				≤ 35	mg/l
Sólidos suspendidos totales		SST				≤ 35	mg/l
Coliformes fecales		NMP				≤ 99,9% de remoción	nmp/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl		N				≤ 10	mg/l
Aceites y grasas						≤ 0,30	mg/l
Fósforo		P				≤ 10	mg/l

### 3 MODIFICACION DEL SISITEMA DE INTERCEPTORES.

Para la implantación del sistema de tratamiento es importante efectuar ciertas modificaciones a los interectores de llegada; en primer lugar, se recorta el emisario Chambo a presión en 263 m, en cambio se incrementa el Interceptor Chibunga en 283 m, más 3 pozos de revisión tal como se muestra la gráfica 3.1.

**Gráfico 3.1:** Variación de los interceptores



En la gráfica se puede observar claramente que el Interceptor Chibunga y el Emisario Chambo descargaban sus aguas en el pozo CH 111; pero con las modificaciones propuestas el emisario y el interceptor realizarán la descarga en el pozo CH 115, cuya cota de terreno se encuentra a una altura 2825 msnm; la tabla 3.1 presenta el cálculo del interceptor modificado.

Tabla 3.1: Cálculo de prolongación Interceptor Chibunga

SEPARADOR DE CAUDALES PLANTA DE TRATAMIENTO																
REDISEÑO TRAMO FINAL INTERCEPTOR CHIBUNGA																
SECTOR / CALLE	POZO		LONG.	Q	DISEÑO DE LA TUBERIA					COTAS TERRENO		COTAS INVERT		CORTES		
	Entrada	Salida			DIAM.	J	Q	velocidad		Y/D	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	(m)	(l/seg)	(mm)	%				lleno	LLENO							
Pozo Derivacion 1																
INTERCEPTOR	CH 111	CH 112	100.00	512.95	700.00	0.60	666.43	1.73	1.92	0.66	2628.00	2628.41	2625.85	2625.25	2.15	3.16
INTERCEPTOR	CH 112	CH 113	55.00	512.95	700.00	0.60	666.43	1.73	1.92	0.66	2628.41	2627.51	2625.25	2624.92	3.16	2.59
INTERCEPTOR	CH 113	CH 114	100.00	512.95	700.00	1.15	922.62	2.40	2.48	0.53	2627.51	2625.61	2624.92	2623.77	2.59	1.84
INTERCEPTOR	CH 114	CH 115	25.00	512.95	700.00	2.00	1216.72	3.16	3.05	0.45	2625.61	2625.00	2623.77	2623.27	1.84	1.73
DESCARGA A RIO CHIBUNGA	CH 115	RIO	100.00	799.55	800.00	8.00	3474.29	6.91	5.65	0.33	2625.00	2617.00	2622.84	2614.84	2.16	2.16
A PTAR	CH 115	CH 116	14.00	799.55	800.00	2.00	1737.15	3.46	3.40	0.48	2625.00	2623.15	2621.76	2621.48	3.24	1.67
A PTAR	CH 116	PTAR	17.00	799.55	800.00	2.00	1737.15	3.46	3.40	0.48	2623.15	2622.60	2621.48	2621.14	1.67	1.46

La tabla 3.1 además presenta el diseño de la descarga de emergencia al río Chibunga, así como los tramos de tubería que ingresan a la PTAR.

#### 4 SISTEMA DE TRATAMIENTO CON REACTORES DE FLUJO ORBITAL.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales consta de cuatro etapas:

- a. Pre-Tratamiento: Reja gruesa y fina, desarenador,
- b. Tratamiento Principal: Tres reactores de flujo orbital y tres clarificadores circulares con recolección de lodos mediante bombas centrífugas.
- c. Digestión de Lodos: Dos digestores aerobios y deshidratación (secado de lodos mediante filtro banda)
- d. Tratamiento Terciario: Cuatro módulos de lámparas UV.

Para el dimensionamiento se realizan las siguientes consideraciones:

- a. El sistema funciona en estado estacionario.
- b. Las propiedades del fluido y la temperatura permanecen constantes.
- c. La velocidad de depuración está controlada por la cinética de los microorganismos
- d. La velocidad específica de crecimiento de la población microbiana puede ser expresada como una relación del tipo Monod.
- e. El coeficiente de rendimiento de sustrato en células ( $Y_{5}$ ) es constante.
- f. La concentración celular puede ser expresada como SSV.
- g. La concentración de sustrato puede ser expresada como DBO o DQO.

En este documento se presentan las características de cada una de las etapas mencionadas, los parámetros de operación y los factores más importantes de cada una.

El porcentaje de tratamiento que se logra en cada etapa de este diseño garantiza el cumplimiento de las regulaciones medioambientales vigentes para la calidad del efluente, control de olores y ruidos.

##### 4.1 *Pretratamiento.*

Canal de ingreso de 1.60 m de ancho, con aliviadero lateral para exceso de agua lluvia, una compuerta automática para regulación de caudal de ingreso; 2 canales de repartición de caudales de 1.0 m de ancho, que alojan 2 rejillas de barras automáticas de 25 y 6 mm de espaciamiento; a continuación, un sistema de desarenado por flotación; cada unidad estará en capacidad de tratar 500 l/s.

Con la duplicación de la línea se consigue, dejar una operativa cuando la otra este averiada o en ciclos de mantenimiento.

A continuación, el agua tamizada, libre de arenas, pasa al reactor o cuba de aireación.

Las conexiones entre los equipos se harán a través de tuberías de acero al carbono y PVC recubiertas con pintura epoxica.

#### 4.2 **Tratamiento secundario.**

Se dispone de tres un reactor tipo zanja de oxidación, que se mantiene en condiciones de metabolismo aeróbico gracias a la función que ejerce un grupo de aireadores de 50 hp, instalados en varios puntos del reactor. Esta unidad dispone de dos entradas, una entrada superior de agua a tratar, y una inferior, donde se introduce el caudal de recirculación, favoreciendo la mezcla en tal caso.

#### 4.3 **3.3 Decantador secundario.**

La mezcla agua tratada-fango pasa desde la cuba de aireación a la unidad de decantación, con un contenido en sólidos suspendidos de aproximadamente de 3500 mg/l; se trata de un tanque circular con dimensiones menores al tanque de 40 m. de diámetro y 3.5 m de altura, en el cual la alimentación se introduce por el fondo. Proporcionando un tiempo de residencia suficiente, el agua clarificada rebosa por los deflectores, es recogida en los vertederos, y llevada por medio de una tubería a la unidad de tratamiento terciario.

El fango se deposita en la poceta del decantador, mediante un sistema de bombeo adecuado para fangos, parte de este lodo se recircula al reactor con el objeto de mantener la concentración de microorganismos en su interior, y otra fracción es evacuado para su posterior tratamiento.

#### 4.4 **3.4 Tratamiento terciario.**

La unidad de desinfección la constituye un canal de hormigón armado, con sus correspondientes arquetas de seguridad de entrada y salida, en el que se sitúan 6 módulos con 40 lámparas de baja presión e intensidad, cada uno. El equipo suministra una radiación monocromática efectiva para tratar un caudal de 650 l/s.

#### 4.5 **3.5 Línea de lodos.**

Los fangos del clarificador serán conducidos a dos digestores aerobios para su proceso final, cuyo volumen es de 11809 m<sup>3</sup>; una vez que en esta unidad se consigue una concentración del fango semejante al 2%, éstos son conducidos al deshidratador y posteriormente a los secadores solares para su disposición final.

La figura 4.1 presenta el esquema de tratamiento mediante la implementación de un sistema tipo aireación extendida.

Figura 4.1: Línea de tratamiento reactor de flujo orbital



FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

Los procesos de aireación y mezclado que se producirán en el Reactor Biológico y Digestor de Lodos), se incluyen también los Clarificadores, o decantadores secundarios, elementos donde se separan las aguas claras de los sólidos, los que a su vez serán recirculados hacia el reactor para la adecuada concentración de la biomasa y, posteriormente al digestor para su eliminación final, un esquema del sistema de tratamiento propuesto se presenta en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3, en ellas se observa la disposición espacial de las unidades principales del proceso.

Figura 4.2: Imagen de una PTAR en funcionamiento

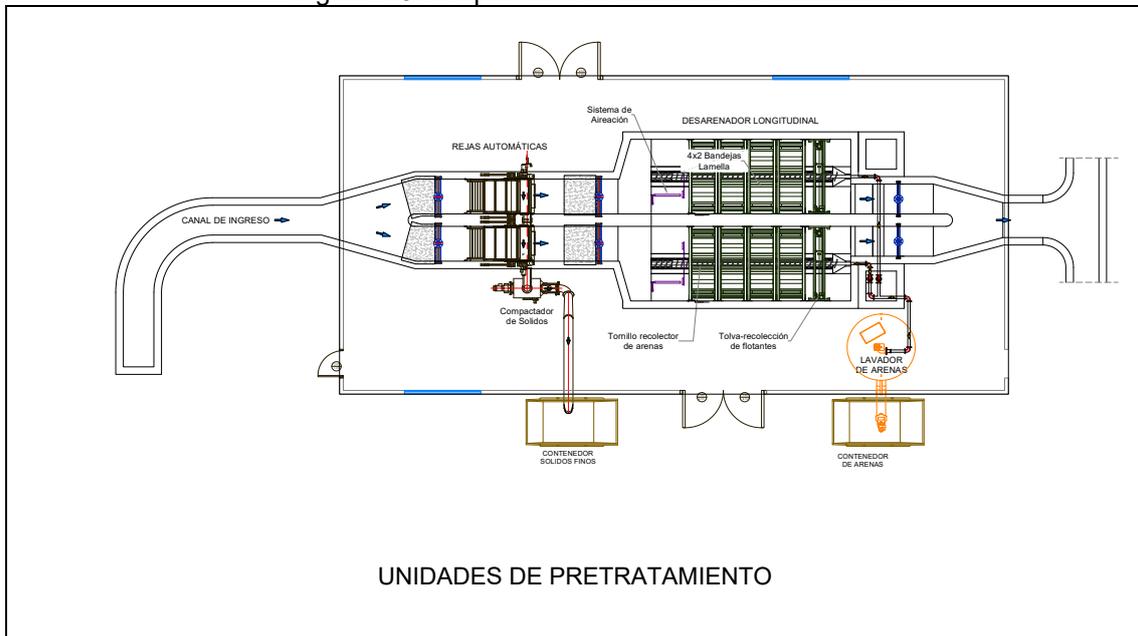


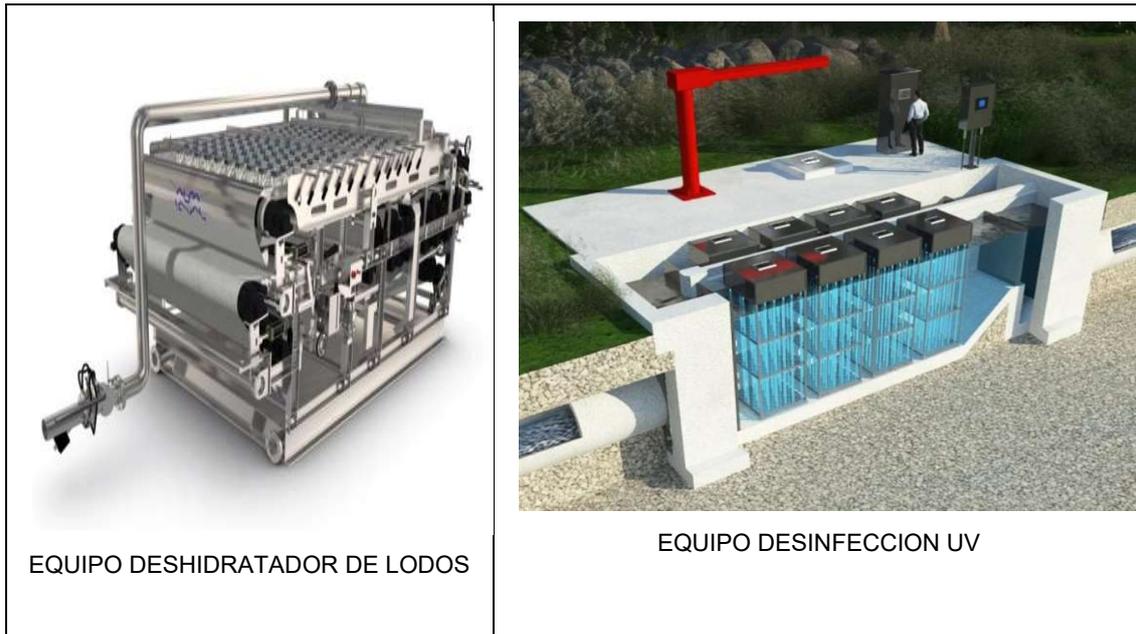
ACTUALIZACION DE LOS DISEÑOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA



FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

Figura 4.3: Disposición de unidades de tratamiento





## 5 CALCULO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO.

A continuación, se presenta el cálculo respectivo de las unidades que conforman el tratamiento propuesto.

### 5.1 *Derivador de caudales.*

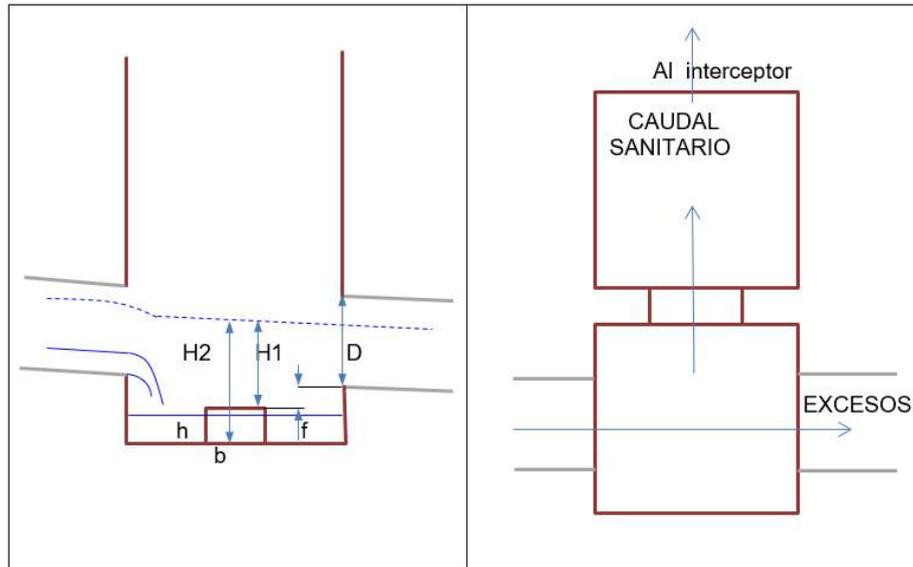
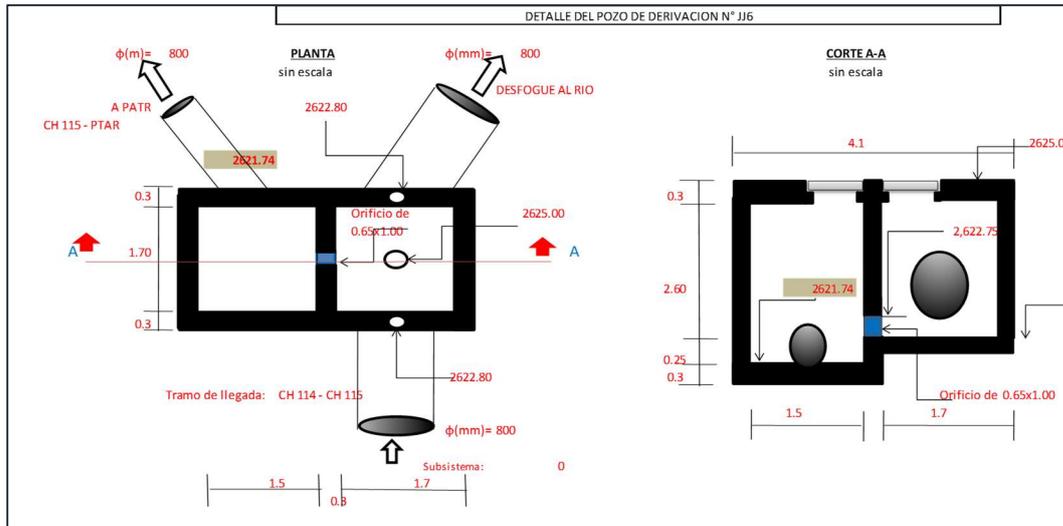
Los pozos de derivación son estructuras utilizadas en redes de alcantarillado combinado para cumplir dos objetivos:

- a. En estiaje desvían el caudal sanitario hacia los colectores denominados interceptores o emisarios.
- b. En época de lluvia derivan una parte de las aguas diluidas (Caudal sanitario + Caudal de aguas lluvias) hacia los interceptores, parte que debe corresponder al caudal sanitario; mientras que la otra continúa su trayectoria hacia la descarga en el cuerpo receptor.

Los pozos de derivación constan de dos cámaras una de llegada y la otra de salida, en la primera se produce el desvío y derivación de los caudales y, en la segunda, la recolección del caudal sanitario o parte del diluido para descargarla en el interceptor.

Para el desvío o derivación de los caudales uno de los métodos utilizados es el “Orificio lateral de fondo”, ver figura siguiente.

Figura 5.1: Pozo de derivación de caudales



Para el cálculo se utiliza la expresión de orificio lateral:

$$Q = \frac{2}{3} \left[ \mu \times b \sqrt{2g} \left( H_2^{3/2} - H_1^{3/2} \right) \right]$$

El cuadro presenta los parámetros requeridos para el cálculo:

Tabla 5.1: Cálculo del derivador de caudales

DENOMINACION	DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
Q1	caudal de aguas servidas, ilícitas e infiltración	1,010.00	l/seg
Q	Cálculo de caudal de paso	1.38193	m3/seg

$\mu$	coeficiente de contracción	0.62	
b	ancho del orificio	1.00	m
g	aceleración de la gravedad	9.80	m/seg <sup>2</sup>
H2	altura total de carga de agua	0.94	m
F1	porcentaje de altura de colector de descarga de aguas lluvia	31%	
H1	altura de carga de agua desde extremo del orificio	0.29	m
D	diámetro tubería descarga	0.80	m
f	factor de seguridad para descarga	0.05	m
h	altura impuesta de orificio	0.65	m
H2	se obtiene de sumar el calado de la tubería de descarga de aguas lluvia, 5 cm., de seguridad y la altura del orificio		
Q	Caudal máximo de ingreso	1,381.93	l/seg

Cuando se cuente con este último caudal, se tiene previsto la colocación de una compuerta automática que regulará el caudal a su valor de diseño que es de 1.01 m<sup>3</sup>/s.

## 5.2 Canal de ingreso.

El canal de ingreso es un elemento que transporta las aguas residuales en superficie, sin presión, es decir en contacto continuo con la atmósfera. La hidráulica de estas obras se determina por el movimiento del agua que ocurre gracias a su propio peso, sin consumo de energía y aprovechando la fuerza de la gravedad, y las características geométricas del mismo.

Para el cálculo del canal ingreso se utiliza la ecuación de Chezy.

$$V = C \times \sqrt{R} \times i$$

C = es función de la forma, y sección del canal

R = radio hidráulico

I = pendiente del canal.

El coeficiente C de la ecuación de Manning se obtiene por la siguiente expresión:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Reemplazando estas ecuaciones se tiene la siguiente expresión:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad \text{o también} \quad Q = \frac{A^{5/3} i^{1/2}}{n P^{2/3}}$$

Donde:

A = área del canal

P = perímetro mojado, que es igual a la superficie para el radio hidráulico

n = coeficiente de rugosidad

Q = caudal de diseño

$$Q = \frac{(by + m y^2)^{5/3} i^{1/2}}{n (b + 2 y \sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$

Despejando los valores de Q, n, b e i, se obtiene un valor de K1

$$K1 = \frac{Q n}{b^{8/3} i^{1/2}} = \frac{(\frac{y}{b} + m (\frac{y}{b})^2)^{5/3}}{(1 + 2 \frac{y}{b} \sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$

Cuando son canales verticales m = 0

Las tablas 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5 presentan el cálculo de los canales de ingreso.

Tabla 5.2: Cálculo del canal de ingreso a PTAR

CANAL DE INGRESO A PTAR			QMAX	QMED
gravedad	g	(m/s <sup>2</sup> )	9,80	9,80
ancho de canal	b	(m)	1,600	1,600
Caudal	Q	(m <sup>3</sup> /s)	1,010	0,642
pendiente	i		0,30%	0,30%
coeficiente de rugosidad	n		0,014	0,014
K1			0,07374	0,04686
y/b			0,245	0,180
<b>calado de agua</b>	<b>y</b>	<b>(m)</b>	<b>0,3920</b>	<b>0,2880</b>
Velocidad	Q/A	(m/s)	1,611	1,393
Area	A = b * y	(m <sup>2</sup> )	0,6272	0,4608
Numero de Froude	NF = V / (g x Y1) <sup>0,5</sup>		0,822	0,829
<b>Tipo de flujo</b>			<b>SUBCRITICO</b>	<b>SUBCRITICO</b>
Número de Reynolds	Re = V x Rh / y		3.892,32	2.710,00
Radio hidráulico	Rh = A / (b + 2 y)		0,263	0,212
Viscosidad cinemática	y	m <sup>2</sup> /s	1,089E-04	1,089E-04
<b>Tipo de flujo</b>			<b>TURBULENTO</b>	<b>TRANSICION</b>
Longitud del canal	L	(m)	13,84	13,84

Tabla 5.3: Cálculo del canal repartidor a rejas

CANAL INGRESO REJAS DE DESBASTE			QMAX	QMED
gravedad	g	(m/s <sup>2</sup> )	9,80	9,80
ancho de canal	b	(m)	1,400	1,400
Caudal	Q	(m <sup>3</sup> /s)	0,505	0,321
pendiente	i		0,10%	0,10%
coeficiente de rugosidad	n		0,014	0,014
K1			0,09118	0,05794
y/b			0,280	0,205
<b>calado de agua</b>	<b>y</b>	<b>(m)</b>	<b>0,3920</b>	<b>0,2870</b>
Velocidad	Q/A	(m/s)	0,920	0,799
Area	A = b * y	(m <sup>2</sup> )	0,5488	0,4018
Numero de Froude	NF = V / (g x Y1) <sup>0,5</sup>		0,470	0,476
<b>Tipo de flujo</b>			<b>SUBCRITICO</b>	<b>SUBCRITICO</b>
Número de Reynolds	Re = V x Rh / y		2.124,38	1.493,66
Radio hidráulico	Rh = A / (b + 2 y)		0,251	0,204
Viscosidad cinemática	y	m <sup>2</sup> /s	1,089E-04	1,089E-04
<b>Tipo de flujo</b>			<b>TRANSICION</b>	<b>TRANSICION</b>
Longitud del canal	L	(m)	9,64	9,64

Tabla 5.4: Cálculo del canal de ingreso a reactores

CANAL DE INGRESO A REACTORES			QMAX	QMED
gravedad	g	(m/s <sup>2</sup> )	9,80	9,80
ancho de canal	b	(m)	1,400	1,400
Caudal	Q	(m <sup>3</sup> /s)	1,010	0,642
pendiente	i		0,50%	0,50%
coeficiente de rugosidad	n		0,014	0,014
K1			0,08155	0,05183
y/b			0,260	0,190
<b>calado de agua</b>	<b>y</b>	<b>(m)</b>	<b>0,3640</b>	<b>0,2660</b>
Velocidad	Q/A	(m/s)	1,983	1,724
Area	A = b * y	(m <sup>2</sup> )	0,5096	0,3724
Numero de Froude	NF = V / (g x Y1) <sup>0,5</sup>		1,050	1,068
<b>Tipo de flujo</b>			<b>SUPERCRITICO</b>	<b>SUPERCRITICO</b>
Número de Reynolds	Re = V x Rh / y		4.360,57	3.052,25

Radio hidráulico	$Rh = A / (b + 2 y)$		0,239	0,193
Viscosidad cinemática	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	1,089E-04	1,089E-04
<b>Tipo de flujo</b>			<b>TURBULENTO</b>	<b>TURBULENTO</b>
Longitud del canal	L	(m)	12,88	12,88

Tabla 5.5: Cálculo del canal repartidor a reactores

CANAL DE DISTRIBUCION A REACTORES			QMAX	QMED
gravedad	g	(m/s <sup>2</sup> )	9,80	9,80
ancho de canal	b	(m)	1,200	1,200
Caudal	Q	(m <sup>3</sup> /s)	0,505	0,321
pendiente	i		0,40%	0,40%
coeficiente de rugosidad	n		0,014	0,014
K1			0,06877	0,04370
y/b			0,230	0,170
<b>calado de agua</b>	<b>y</b>	<b>(m)</b>	<b>0,2760</b>	<b>0,2040</b>
Velocidad	Q/A	(m/s)	1,525	1,311
Area	A = b * y	(m <sup>2</sup> )	0,3312	0,2448
Numero de Froude	$NF = V / (g \times Y1)^{0,5}$		0,927	0,927
<b>Tipo de flujo</b>			<b>SUBCRITICO</b>	<b>SUBCRITICO</b>
Número de Reynolds	$Re = V \times Rh / \nu$		2.648,20	1.833,63
Radio hidráulico	$Rh = A / (b + 2 y)$		0,189	0,152
Viscosidad cinemática	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	1,089E-04	1,089E-04
<b>Tipo de flujo</b>			<b>TRANSICION</b>	<b>TRANSICION</b>
Longitud del canal	L	(m)	68,90	68,90

FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
 ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

### 5.3 Pretratamiento.

El desbaste o tamizado se lleva a cabo través de un sistema de rejas y/o tamices cuyo objeto es retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión que arrastra consigo el agua residual. De esta forma se consigue:

- Proteger bombas, válvulas y conducciones contra posibles daños y obturaciones.
- Aumentar la eficacia de los tratamientos posteriores.
- Reducir, indirectamente, el consumo de oxígeno necesario para la depuración.

El tamizado es por lo general la primera operación unitaria encontrada en una planta de tratamiento. Los equipos para interceptar y retener sólidos gruesos constan, en esencia, de un tamiz de barras o varillas paralelas, denominado rejilla. El término tamiz

también se emplea para describir equipos de tamizado formados por platos perforados, mallas en sección cuña y telas metálicas.

Tabla 5.6: Tipos de equipos de tamizado utilizados para aguas residuales

Clase	Tipo	Clasific.	Abertura del tamiz		Material	Aplicación
			in	mm		
Rejillas	Limpieza manual	Grueso	1.0-2.0	25-50	Barrotes	Remoción de sólidos suspendidos gruesos.
	Limpieza mecánica	Grueso	0.6-3.0	15-75	Barrotes	T. preliminar en la remoción de sólidos finos
	Rejilla fina	Fino-grueso	0.125-0.50	3-12.5	Barrotes delgados	T. preliminar
Rejillas finas	Plato perforado	Fino-grueso	0.125-0.75	3-9.5	Plato perforado	T. preliminar
	Tambor rotatorio	Fino-grueso	0.125-0.50	3-12.5	Malla de cuña en acero inox.	T. preliminar
Tamiz fino	Parabólico fijo	Fino	0.01-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inox.	T. preliminar
	Tambor rotatorio	Fino	0.01-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inox.	T. preliminar
	Disco rotatorio	Muy fino (micro)	0.006-0.015	0.15-0.38	Tela de acero inox.	T. preliminar

FUENTE: TCHOBANOGLUOS 2000  
ELBORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

Las rejas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores, mientras que los tamices perforados o rejas finas, se caracterizan por disponer de aberturas libres inferiores a los 15 mm, y se emplean en plantas de pequeño tamaño, en las que se eliminan sólidos de menor tamaño.

Para la limpieza del material retenido se pueden emplear procedimientos manuales o automáticos, según la importancia de la estación y cantidad de materia retenida, diferenciando pues dos tipos de rejas: limpieza manual y limpieza automática.

### 5.3.1 Rejas de limpieza mecánica.

Las rejas de limpieza automática se han venido empleando desde hace más de 50 años. En este caso, la retirada de los sólidos la llevan a cabo unos rastrillos deslizantes acoplados al mismo dispositivo, que arrastran los residuos acumulados hacia unas bandejas de recogida, desde donde han de ser finalmente retirados por el operador.

El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado:

- Con intervalo de tiempo fijo.
- Con intervalo de tiempo modificado con arreglo al grado de obstrucción de la rejilla.

Las rejas de limpieza mecánica se dividen en cuatro tipologías principales, rejas de

funcionamiento mediante cadenas, rejas de movimiento oscilatorio, catenarias, y rejas accionadas mediante cables.

Tabla 5.7: Proyecto de rejas, limpieza manual y automática

<b>Característica</b>	<b>Limpieza Manual</b>	<b>Limpieza Automática</b>
<i>Tamaño de la barra:</i>		
Anchura, mm	5-15	5-15
Profundidad, mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras, mm	25-55	15-75
Pendiente en relación con vertical, grados	30-45	0-30
Velocidad de aproximación, m/s	0,3-0,6	0,6-1,1
Pérdida de carga admisible, mm	150	150

FUENTE: METCALF & EDDY 1995  
ELBORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

### 5.3.2 **Rejillas finas o tamices perforados.**

La abertura en los tamices con secciones finas puede variar desde 3 a 15 mm, y se someten a limpieza mecánica mediante rastrillos recíprocos o tornillos hélices. Son diseñados para operar en línea dentro del canal transportador de agua residual como la rejilla fina, o como unidad externa, los platos perforados o tambor rotatorio.

#### 5.3.2.1 **Residuos extraídos.**

La cantidad y características de los residuos extraídos depende del tipo y tamaño de rejas y/o tamices empleados, del tipo de red de alcantarillado, y de la situación geográfica de la instalación.

La cantidad de residuos separados en las rejas de barras varía generalmente de 0,0035 a 0,0375 m<sup>3</sup>/1000 m<sup>3</sup> de agua residual tratada. Están compuestos básicamente de rocas, ramas, pedazos de madera, hojas de árboles, papel, raíces, plásticos y trapos. También se puede retener algo de materia orgánica.

En tamices, oscila desde 0,0375 a 0,225 m<sup>3</sup>/1000 m<sup>3</sup> de agua residual tratada y son generalmente trozos de tela, papel, materiales plásticos, afeitadoras, arenas, residuos de comida, heces, etc. En comparación con los residuos del tamizado grueso, tienen mayor contenido en humedad y peso específico menor.

Hay que tener en cuenta la acumulación de grasas y aceites en estos equipos, sumándole también la presencia de materia orgánica susceptible de descomposición, que da lugar a la generación de malos olores. Por ello necesitan de un especial manejo y disposición.

#### 5.4 **Equipo de tamizado.**

Este equipo permitirá conseguir un mayor grado de separación posible entre sólidos y líquidos, sin afectar las características hidráulicas del canal de ingreso.

El diseño considera la combinación de deshidratación y prensado” en un mismo equipo. Dependiendo de la luz de malla de perfil en cuña (0,5-6 mm), o de chapa perforada (2-6 mm) y del tamaño (diámetros de cesta hasta 3000 mm), la capacidad de tratamiento será de 493 l/s, instalada en una cala de 1.20 m. de ancho.

El tamiz deberá ser fabricado en acero inoxidable decapado en baño ácido y pasivado. El equipo puede instalarse directamente en el canal de ingreso o bien en un contenedor de acero inoxidable, un esquema del equipo se presenta en la

Las características del equipo deben ser las que se describen a continuación y, un esquema del equipo se presenta en la figura 3.3

La capacidad de desbaste debe estar acompañada de una mínima pérdida de carga, por la forma cilíndrica del tamiz y al ángulo de colocación de 35°, la superficie efectiva de tamizado es bastante mayor que en los casos convencionales de colocación vertical o inclinada.

- a. El equipo debe ser construido en acero inoxidable, decapado en baño ácido y pasivado, de esta forma se eliminarán los trabajos de mantenimiento debidos a la corrosión.
- b. Flujo forzado. - Todo el flujo entra al tambor frontalmente y sólo puede continuar atravesando la malla del tamiz. Esto garantiza que los residuos siempre permanezcan dentro de la cesta, sin poder pasar a la zona de aguas limpias incluso en condiciones de aumento de la carga de sólidos o de caudal punta.
- c. Las operaciones de desbaste, transporte, lavado, deshidratación y prensado del residuo estarán incorporadas dentro de un único equipo. Un dispositivo para ensacar permite la explotación de la planta de forma encapsulada, sin generar olores.
- d. El diseño del tamiz debe permitir realizar modificaciones posteriores que se ajusten a los requerimientos de carga hidráulica, o en su defecto el sistema de lavado de residuos o una reducción del paso pueden añadirse sin problema.
- e. De preferencia no contemplar puntos de engrase, de tal forma que la operación y mantenimiento se lo realice mediante revisiones periódicas e inspecciones visuales.

Los medios para eliminarlos pasan por el transporte a vertederos, soterramiento en la propia planta, incineración aislada o conjunta con fangos y arenas, eliminación conjunta con residuos sólidos urbanos, descarga a trituradores.

Figura 5.2: Modelo de reja fina a utilizarse

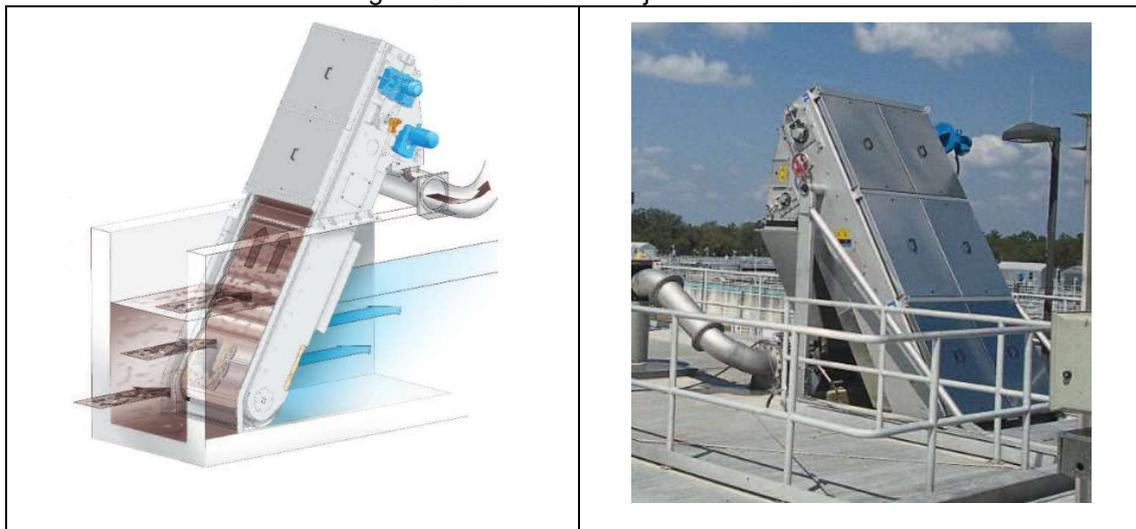


Tabla 5.8: Cálculo de rejillas gruesas

REJAS DE DESBASTE GRUESA			
DESCRIPCION	FORMULA	UNIDAD	VALOR
<b>CAUDALES DE DISEÑO</b>			
Caudal medio diario	Q	m <sup>3</sup> /s	0.6421
Caudal total	Qt = Q + Qil + Qinf	m <sup>3</sup> /día	87,292.56
Caudal total	Qt	m <sup>3</sup> /s	1.0103
<b>CANAL DE INGRESO Y REJAS DE DESBASTE</b>			
Líneas de desbaste	Ld	u	1.00
Caudal de diseño a Qmed	Qd = Q	m <sup>3</sup> /s	0.642
Caudal de diseño a Qmax	Qx = Qt	m <sup>3</sup> /s	1.010
Velocidad de paso entre barrotes	Vp	m/s	1.00
Espesor de barrotes reja gruesa	Eb	m	0.01
Distancia entre barrotes	Db	m	0.02
Angulo de inclinación de barrotes	A		60.00
Maxima colmatación entre 2 limpiezas	At		30.00
Relación altura útil/ancho canal	R = Au/b		0.60
Producción de residuos 0.01 m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup>	Re	m <sup>3</sup>	0.01
Superficie útil del canal	$As = \frac{Qt}{Vp} \left[ \frac{Db+Eb}{Db} \right] \left[ \frac{1}{1-\frac{At}{100}} \right] (\text{sen } \alpha)$	m <sup>2</sup>	1.19
Ancho del canal	B = (As / R) <sup>0.5</sup>	m	1.41
Altura útil del canal	H = As / B	m	0.84
<b>VELOCIDAD DE PASO ENTRE BARROTES</b>			
Con reja limpia	V = Vp (1-At)	m/s	0.70

Con reja limpia a Q max	$V_x = V \times Q_x / Q_d$	m/s	1.10
Con reja colmatada a Q max	$V_{px} = V_p \times Q_x / Q_d$	m/s	1.57

FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

Tabla 5.9: Cálculo de reja fina

REJAS DE DESBASTE FINA			
DESCRIPCION	FORMULA	UNIDAD	VALOR
<b>CAUDALES DE DISEÑO</b>			
Caudal medio diario	Q	m <sup>3</sup> /s	0.6421
Caudal total	$Q_t = Q + Q_{il} + Q_{inf}$	m <sup>3</sup> /día	87,292.56
Caudal total	Q <sub>t</sub>	m <sup>3</sup> /s	1.0103
<b>CANAL DE INGRESO Y REJAS DE DESBASTE</b>			
Líneas de desbaste	L <sub>d</sub>	u	1.00
Caudal de diseño a Q <sub>med</sub>	$Q_d = Q$	m <sup>3</sup> /s	0.642
Caudal de diseño a Q <sub>max</sub>	$Q_x = Q_t$	m <sup>3</sup> /s	1.010
Velocidad de paso entre barrotes	V <sub>p</sub>	m/s	1.00
Espesor de barrotes reja fina	E <sub>b</sub>	m	0.006
Distancia entre barrotes	D <sub>b</sub>	m	0.010
Angulo de inclinación de barrotes	α		60.00
Maxima colmatación entre 2 limpiezas	A <sub>t</sub>		30.00
Relación altura útil/ancho canal	$R = A_u/b$		0.60
Producción de residuos 0.01 m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup>	R <sub>e</sub>	m <sup>3</sup>	0.01
Superficie útil del canal	$A_s = \frac{Q_t}{v_p} \left[ \frac{D_b + E_b}{D_b} \right] \left[ \frac{1}{1 - \frac{A_t}{100}} \right] (\text{sen } \alpha)$	m <sup>2</sup>	1.27
Ancho del canal	$B = (A_s / R)^{0.5}$	m	1.45
Altura útil del canal	$H = A_s / B$	m	0.88
<b>VELOCIDAD DE PASO ENTRE BARROTES</b>			
Con reja limpia	$V = V_p (1 - A_t)$	m/s	0.70
Con reja limpia a Q max	$V_x = V \times Q_x / Q_d$	m/s	1.10
Con reja colmatada a Q max	$V_{px} = V_p \times Q_x / Q_d$	m/s	1.57

FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

### 5.5 Desarenador tipo VORTEX

Los sistemas de desarenación del tipo vórtice se basan en la formación de un vórtice (remolino) inducido mecánicamente, que captura los sólidos en la tolva central de un tanque circular. Los sistemas de desarenador por vórtice incluyen dos diseños básicos: cámaras de fondo plano con abertura pequeña para recoger la arena y cámaras con un

fondo inclinado y una abertura grande que lleva a la tolva. A medida que el vórtice dirige los sólidos hacia el centro, unas paletas rotativas aumentan la velocidad lo suficiente para levantar el material orgánico más liviano y de ese modo retornarlo al flujo que pasa a través de la cámara de arena.

El desarenador será diseñado mediante la fórmula de STOKES, que considera el diámetro de la partícula a sedimentar, la viscosidad absoluta y las velocidades de sedimentación, arrastre y horizontal.

Tabla 5.10: Diseño del desarenador

DISEÑO HIDRAULICO DEL DESARENADOR			
PARAMETRO	SIMBOLO	FORMULACION MATEMATICA	UNIDAD
<b>Se diseña mediante la fórmula de STOKES</b>			
Caudal de diseño	Q		l/seg
Diámetro de partículas de arena a remover	d		cm
Viscosidad absoluta	$\mu$		gr / (cm x seg)
Velocidad de sedimentación	Vs	$90 \times [d^2 / \mu]$	cm/seg
Número de Reynolds	Re	$Vs \times d / \mu$	5.54
Velocidad de arrastre	Va	$[161 \times d^{1/2}]$	22.77 cm/seg
Velocidad horizontal	Vh	$[0.50 \times Va]$	11.38 cm/seg
Area transversal	At	$[b \times h]$	56,398.00 cm <sup>2</sup>
Altura del desarenador	H	$H=(At/2)^{(1/2)}$	168.00 cm
Ancho del desarenador	B		336.00 cm
Area superficial	As	$(Vh/Vs) \times At$	203,313.00 cm <sup>2</sup>
Longitud del desarenador	L	$1,25 \times h \times Vh/Vs$	757.00 cm
Caudal máximo de proceso	Qt	$[Vh \times At]$	642.06 lt/seg
Caudal máximo de proceso	Qs	$[Vs \times As]$	642.06 lt/seg
Carga de agua sobre vertedero rectangular	hv	$[Q/(1,71B)]^{2/3}$	23.2 cm
Velocidad de paso por el vertedero	v	$[Q/(Bxhv)]$	0.82 m/seg
Caída del fondo, zona de sedimentación	h1	$[0,5 L]$	378.50 cm
Profundidad zona de sedimentación	H1	$H+h1$	546.50 cm
Volumen de agua en el desarenador	V	$B \times L \times (H + H1/2)$	112.23 m <sup>3</sup>
Caudal de vaciado	Qv	$[Cd A (2gH1)^{1/2}]$	53.43 m <sup>3</sup> /s
Diámetro de la tubería de vaciado			300 cm
Coeficiente de descarga (Para $L_T/D=20$ )	Cd		0.73
Tiempo de vaciado	t	$[V/Qv]$	2.1 seg
Velocidad de lavado	vl	$[H1/t]$	260.24 cm/seg
Vertedero para rebose	Q		642.06 l/seg

Diámetro de la campana	Dc		300	cm
Longitud del vertedero	L'	$[D*Pi]$	942.48	cm
Carga sobre la boca de campana	h'	$[Q/(1,84*L')]^{2/3}$	11.11	cm

FUENTE: EQUIPO CONSULTOR

ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

### 5.5.1 Características de las arenas.

Las arenas consisten en arena, grava, cenizas y otros materiales pesados con pesos específicos o velocidades de sedimentación considerablemente superiores a los de los sólidos orgánicos putrescibles.

La fracción que se elimina como arena es básicamente inerte y relativamente seca. La composición de estas es muy variable, con un contenido en humedad entre el 13 y 65/100, y un contenido volátil entre el 1 y 56/100. El peso específico de la arena limpia alcanza valores del orden de 2,7 hasta 1,3 si contiene gran cantidad de materia orgánica.

La densidad global que caracteriza a las mismas alcanza 1600 kg/m. Es difícil interpretar los datos de eliminación de arenas debido a que éstas están poco caracterizadas y apenas existen datos sobre eficiencias relativas de eliminación. Los máximos valores de retención se consiguen sobre un tamiz No. 100 (0,15 mm) alcanzándose en ocasiones valores de retención del 100%.

La cantidad de arena varía ampliamente de una localidad a otra, dependiendo del tipo de sistema de recolección, las características del área de drenaje, el estado de la red de alcantarillado, y la cantidad de terreno arenoso de la zona.

### 5.5.2 Lavado de arenas.

Las características de las arenas recogidas en desarenadores de flujo horizontal y de ciclón varían ampliamente entre lo que normalmente se suele conocer con el nombre de arena limpia hasta presentar un alto contenido en materia putrescible. Las arenas no lavadas pueden contener hasta un 50 por 100 de materia orgánica, que si no se evacua con rapidez puede atraer insectos y roedores, liberando además olores desagradables como consecuencia de la liberación de ácidos grasos volátiles.

## 5.6 Reactor biológico.

Es el proceso de tratamiento biológico más ampliamente empleado en el tratamiento secundario de aguas residuales.

Fue desarrollado por primera vez en Inglaterra 1914 y su nombre proviene de la producción de masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

El proceso puede describirse en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano en

suspensión, el contenido se conoce como líquido mezcla.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.

Al cabo de un período determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema. La fracción purgada corresponde al crecimiento de tejido celular,  $rg'$ , asociada a un agua residual determinada.

El nivel al que se debe mantener la masa biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética del crecimiento.

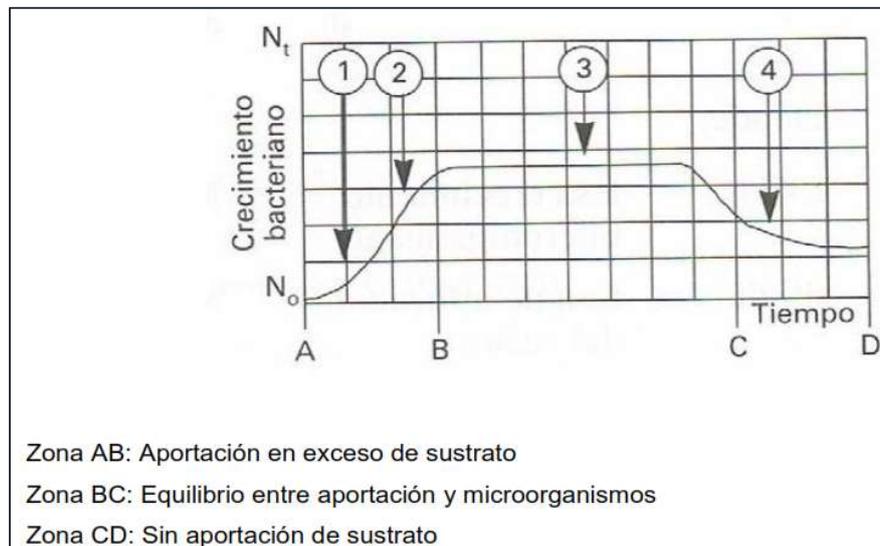
### 5.6.1 Cinética del crecimiento bacteriano.

El grado de reproducción depende de la concentración del sustrato, de los nutrientes y de la temperatura. La curva de crecimiento comprende cuatro zonas:

- De retardo durante la cual los micro organismo se aclimatan al nuevo medio de vida. Es lento
- De crecimiento constante. La célula se divide a velocidad constante, hay alimento en exceso y el crecimiento depende del sustrato.
- Estacionaria. Crecimiento nulo como consecuencia de la constancia del alimento.
- De decrecimiento. Al terminarse el alimento y comenzar la escasez aparece la denominada fase endógena, donde los microorganismos consumen sus propias reservas de protoplasma, y posteriormente unos sirven de alimentos a otros.

En la siguiente figura se reflejan las etapas descritas en función del tiempo.

**Gráfico 5.1:** Evolución del número de organismos en función de la evolución del sustrato



FUENTE: AURELIO HERNADEZ 2001

**ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.**

Para asegurar el crecimiento de los microorganismos se les debe permitir un tiempo de permanencia suficiente en el sistema para que éste se produzca con éxito. Este tiempo de permanencia va a depender de la tasa de crecimiento, que se relaciona directamente con la velocidad a la cual metaboliza el sustrato.

Suponiendo que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, se puede asegurar una eficaz estabilización del residuo mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

**5.6.1.1 Modelos específicos del proceso.**

Igualmente siguiendo el modelo del proceso de fangos activos,  $\text{Materia Orgánica} + \text{O}_2 + \text{Nutrientes} + \text{BACTERIAS} \rightarrow \text{Nuevas células} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ , se deducen una serie de modelos expuestos a continuación.

Tasa de eliminación de materia orgánica:

$$r_o = \frac{k \cdot C \cdot X}{K + C}$$

siendo:

$r_o$  = (g/m<sup>3</sup>xd) tasa de remoción de materia orgánica

$k$  = máximo valor de crecimiento

$C$  = concentración orgánica en g (DBOu)/m<sup>3</sup>

$X$  = (g/m<sup>3</sup>) de M.L.S.S.V

$K$  = (g/m<sup>3</sup>) constante de saturación media. La concentración del sustrato para la cual la tasa de utilización por unidad de peso de microorganismos es la mitad de la tasa máxima, en masa/volumen.

Similar a la desarrollada por MONOD para establecer la relación entre la concentración de un nutriente y la tasa de crecimiento de los microorganismos.

- Tasa de crecimiento de microorganismos.

Siguiendo las consideraciones estequiométricas, y considerada la mortandad de microorganismos puede escribirse:

$$r_g = Y \cdot \frac{k \cdot C \cdot X}{K + C} - k_d \cdot X$$

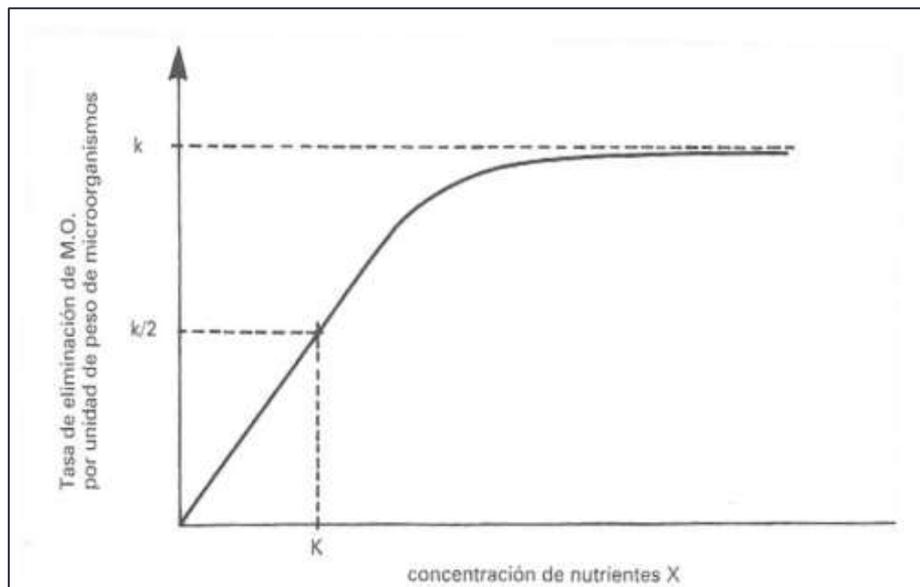
siendo:

$k_d$  = coeficiente de desaparición de microorganismos

$Y$  = coeficiente de producción, en g. de microorganismos producidos/ g. de materia

orgánica eliminada

**Gráfico 5.2:** Tasa de eliminación de materia orgánica en el proceso biológico de fangos activos

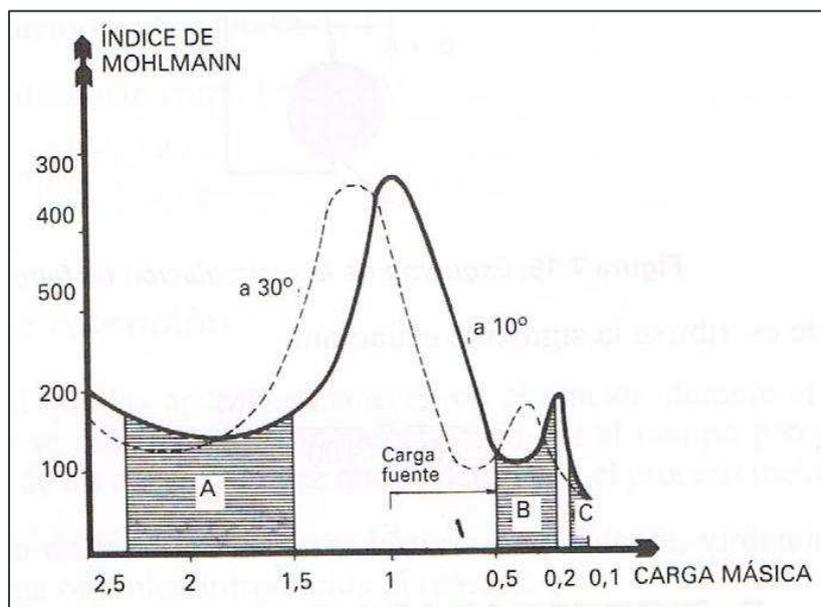


FUENTE: AURELIO HERNADEZ 2001  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

### 5.6.1.2 Rendimientos.

En la figura aparecen curvas de relación entre la carga másica y el índice de Mohlmann para distintos tipos de depuración por fangos activos.

**Gráfico 5.3:** Relación de la carga másica y el índice de Mohlmann



FUENTE: AURELIO HERNADEZ 2001  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

Se observan tres zonas mínimas del I.M, que señala zonas en que la floculación se

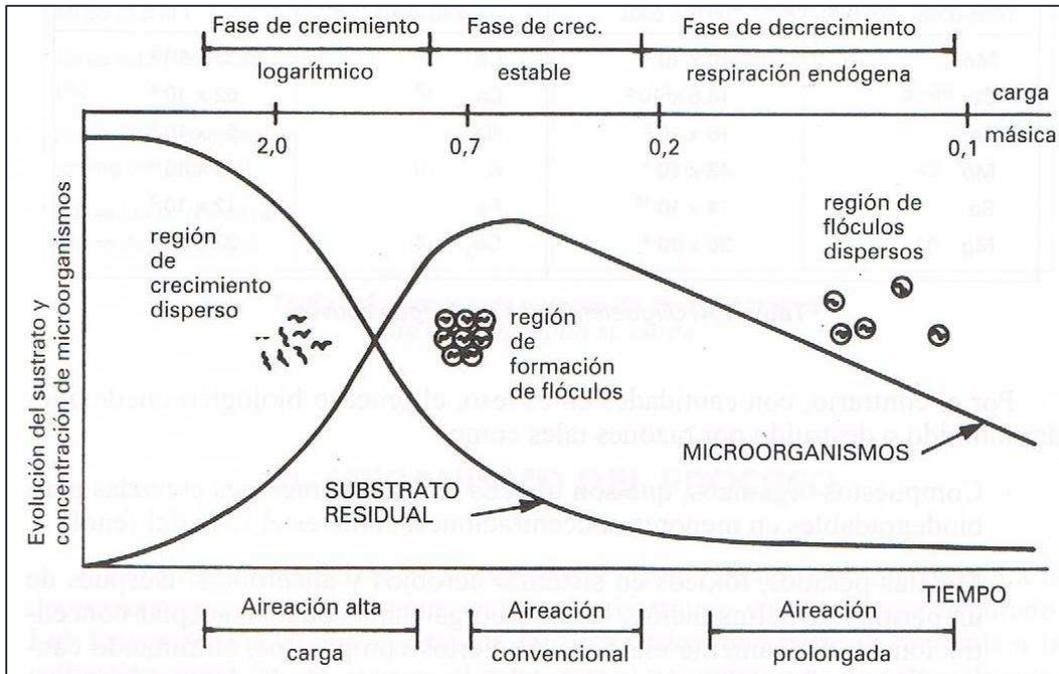
produce mejor en los reactores biológicos.

A = Zona alta carga

B = Zona carga media

C = Zona aireación prolongada

**Gráfico 5.4:** Crecimiento de microorganismos y evolución del sustrato



FUENTE: AURELIO HERNADEZ 2001  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

Obteniéndose rendimientos en DBO5 de:

- Rendimientos de carga alta 80%
- Rendimientos de carga media 90%
- Rendimientos con aireación prolongada 96%

Conociendo el rendimiento a alcanzar, en función de las condiciones de vertido, se adoptará un tipo u otro de sistema. Se debe tener en cuenta que, cuanto más baja carga se adopte, se obtienen mayores rendimientos, pero se precisan mayores volúmenes y mayor consumo energético.

### 5.6.2 Constitución de los procesos biológicos de fangos activados.

El proceso biológico por fangos activados quedará integrado por un reactor biológico y una decantación secundaria. Normalmente ambos escalones del proceso se materializarán en dos tanques o depósitos separados, pero existen también soluciones de tanques combinados, e incluso pueden utilizarse depósitos únicos actuando

alternativamente como reactor y decantador.

El reactor biológico puede adoptar cualquiera de las dos formas compatibles con el sistema de aireación y agitación elegidas. Puede tomar forma de canal, tanques rectangulares o circulares.

Debido a ello, aparecen distintos sistemas funcionales que se describirán a continuación.

#### **5.6.2.1 Proceso convencional (flujo pistón).**

La recirculación se realiza en un solo punto, a la entrada del agua en el tanque, y la mezcla va recorriendo el tanque desde la entrada a la salida de forma conocida como flujo pistón, con una fuerte tasa de crecimiento inicial del cultivo que va descendiendo conforme recorre el tanque. Se utiliza para aguas residuales de baja concentración.

#### **5.6.2.2 Mezcla completa.**

En el proceso de tanque agitado la recirculación de los lodos se realiza en varios puntos del reactor, mezclándose previamente con el agua residual. De esta forma se tiene una concentración homogénea en todo el tanque. El mismo efecto puede obtenerse haciendo la entrada agua-fango en un solo punto, pero manteniendo un sistema de agitación y una disposición de la entrada y la salida, en forma tal que se conserve la homogenización de la mezcla en todo el tanque. Este proceso tiene aplicaciones generales y es resistente frente a cargas de choque, pero es susceptible al crecimiento de organismos filamentosos.

#### **5.6.2.3 Alimentación escalonada.**

El proceso convencional de alimentación escalonada representa otra forma de mejorar el aprovechamiento en la aireación del agua. En este proceso se regula la alimentación del agua, graduándola a lo largo del reactor con objeto de igualar la carga másica en el mismo. La aireación puede hacerse de forma uniforme o graduada. Se utiliza en aplicaciones generales con un amplio campo de tipos de aguas residuales.

#### **5.6.2.4 Contacto-estabilización.**

El tanque de aireación queda dividido en dos partes: Una de ellas donde se realiza el contacto agua-fango, constituyendo el tanque de floculación. El segundo tanque, llamado de activación, recibe el fango recién recogido del sedimentador, se airea sin presencia de sustancias orgánicas de nuevo aporte, y por ello se agotan las reservas de materia orgánica presente en el proceso. Cuando este fango llega a la cámara de mezcla resulta muy ávido de la materia orgánica del agua residual, acelerándose sensiblemente el proceso.

### 5.6.2.5 Aireación prolongada

Se realiza con tiempos de retención hidráulica y de retención celular muy elevados. De esta forma, el fango llega a estabilizarse aeróbicamente, debido a los prolongados períodos de aireación y el desequilibrio entre la cantidad en el tanque y la cantidad de materia orgánica que llega. Por ello, el volumen del reactor es mayor al requerido en el proceso convencional, y se diferencia fundamentalmente del proceso de lodos activos convencional por la disminución en la cantidad de lodo residual. Una ventaja de la aireación prolongada es que las instalaciones para manipulación de lodos del proceso de aireación prolongada son muy pequeñas comparadas con las que se necesitan en el proceso de lodos activos convencional.

Además de los anteriores, existen otros tipos como son el de doble etapa, proceso Kraus, aireación graduada y utilización de oxígeno puro. La tabla siguiente describe todos los procesos anteriores.

Tabla 5.11: Descripción de los procesos de fangos activados

PROCESO	DESCRIPCION
Convencional	El agua decantada y el fango activado reciclado entran en el tanque de aireación y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del canal. Durante el período de aireación, se produce la adsorción, floculación, y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario.
Reactor de mezcla completa	El proceso es una aplicación del régimen de flujo de un reactor de flujo continuo agitado. El agua residual decantada y el fango activado recirculado se introducen, normalmente, en varios puntos del tanque de aireación. La carga orgánica y la demanda de oxígeno son uniformes en toda la longitud del tanque.
Aireación graduada	Este proceso es una modificación del proceso convencional de flujo en pistón. A lo largo de la longitud del canal, en función de la demanda de oxígeno, se aplican caudales de aireación diferentes. La mayor cantidad de oxígeno se suministra a la entrada del tanque, y las cantidades aportadas disminuyen conforme al líquido mezcla se aproxima al extremo de salida. Esta configuración se suele conseguir disponiendo diferentes separaciones entre difusores a lo largo del tanque.
Aireación con alimentación escalonada	La alimentación escalonada es una modificación del proceso de flujo en pistón convencional en la que el agua residual decantada se introduce en diferentes puntos del canal para conseguir un valor de la relación F/M uniforme, lo cual permite reducir la demanda de oxígeno punta. Normalmente se suelen emplear tres o más canales paralelos. Una de las ventajas importantes de este

	proceso es la flexibilidad de operación.
Aireación Modificada	La aireación modificada es similar al proceso de flujo en pistón convencional, con la diferencia de que se emplean menores tiempos de detención y valores de la relación F/M más elevados. El rendimiento de eliminación de la DBO es inferior al de otros procesos de fangos activados.
Contacto y estabilización	El proceso de contacto y estabilización utiliza dos tanques o compartimentos separados para el tratamiento del agua residual y la estabilización del fango activado. El fango activado estabilizado se mezcla con el agua residual afluyente (bruta o decantada), en un tanque de contacto. El líquido mezcla se decanta en una clarificador secundario y el fango de retorno se airea por separado en un tanque de reaireación para estabilizar la materia orgánica.  Los volúmenes de aireación necesarios suelen ser un 50% inferiores a los necesarios en el proceso convencional de flujo en pistón.
Aireación prolongada	El proceso de aireación prolongada es similar al de fangos activados convencional excepto en que funciona en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento, lo cual precisa una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación.  Este proceso se emplea mucho en plantas prefabricadas para pequeñas comunidades.
Aireación de alta carga	El proceso de aireación de alta carga es una modificación del proceso en la que se combinan altas concentraciones de SSVLM con elevadas cargas volumétricas. Esta combinación permite una elevada relación F/M y largos tiempos de retención celular con tiempo de detención hidráulica cortos. Es muy importante que el mezclado sea adecuado.
Utilización de oxígeno puro	En lugar de aire, en el proceso de fangos activados se utiliza oxígeno de gran pureza. El oxígeno se distribuye mediante difusores en tanques de aireación cubiertos y se recicla. Parte del gas se purga para reducir la concentración de dióxido de carbono. También puede ser necesario realizar ajustes del pH.  La cantidad de oxígeno añadida es del orden de cuatro veces superior a la cantidad que se puede añadir con los sistemas de aireación convencionales.
Canal de oxidación	El canal de oxidación consiste en un canal circular u ovalado equipado con dispositivos de aireación mecánica. El agua residual tamizada entra en el canal, se agita, y circula a una velocidad entre 0,24 y 0,35 m/s. Normalmente, los canales de oxidación funcionan según un esquema de aireación prolongada con largos tiempos de detención y de retención de sólidos. En la mayoría de las

	aplicaciones se emplean tanques de sedimentación secundaria.
Reactor de flujo discontinuo secuencial	El reactor de flujo discontinuo secuencial es un tipo de reactor que sigue un proceso de llenado-vaciado alternando, en el que todas las etapas del proceso de fangos activados se llevan a cabo en un reactor de mezcla completa. El líquido mezcla permanece en el interior del reactor durante todos los ciclos, lo cual permite evitar la necesidad de disponer de tanques de sedimentación secundaria.

FUENTE: TCHOBANOGLOUS ED.2000 – METCALF & EDDY  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de diseño para las diferentes variantes de procesos de lodos activados, y elegir, la que mejor se ajuste a nuestros datos.

Tabla 5.12: Parámetros de diseño para fangos activados

PARAMETROS DE DISEÑO PARA FANGOS ACTIVADOS METCALF 2015							
MODIFICACION DEL PROCESO	TIPO DE REACTOR	EDAD DE LODOS $\Theta_c$ , d	F/M Kg DBO5 / Kg SSVLM x d	CARGA VOLUMICA Kg DBO5 / m <sup>3</sup> x d	SSLM ( mg / l)	V/Q (horas)	Qr / Q
Convencional	FP	3 - 15	0.20 - 0.40	0.30 - 0.70	1000 - 3000	4 - 8	0.25 - 0.75
Mezcla completa	CMAS	3 - 15	0.20 - 0.60	0.30 - 1.60	1500 - 4000	3 - 6	0.25 - 1.00
Alimentación escalonada	FP o ST	3 - 15	0.20 - 0.40	0.70 - 1,00	1500 - 4000	3 - 5	0.25 - 0.75
Aireación de alta velocidad	CMAS o FP	0.50 - 2.00	1.50 - 2.00	1.20 - 2.40	500 - 1500	1.00 - 2.00	0.05 - 0.25
Contacto y estabilización	CMAS o FP	5 - 15	0.20 - 0.60	1,00 - 1,30	(1000 - 3000) <sup>a</sup>	(0.50 - 1.00) <sup>a</sup>	0.50 - 1.50
					(6000 - 1000) <sup>b</sup>	(2 - 4) <sup>b</sup>	
Aireación prolongada	CMAS o FP	20 - 40	0.04 - 0.10	0.10 - 0.30	2000 - 4000	20 - 30	0.50 - 1.50
Aireación de alta carga		5 - 10	0.40 - 1.50	1.60 - 1.60	4000 - 10000	2 - 4	1.00 - 5.00
Proceso Kraus		5 - 15	0.30 - 0.80	0.64 - 1.60	2000 - 3000	4 - 8	0.50 - 1.00
Oxígeno puro	ST	1 - 4	0.50 - 1.00	1.30 - 3.20	2000 - 4000	1 - 3	0.25 - 0.50
Zanja de oxidación	CMAS + FP	15 - 30	0.04 - 0.10	0.10 - 0.30	3000 - 5000	15 - 30	0.75 - 1.50
CMAS	Fangos activados de mezcla completa						
FP	flujo pistón						
ST	Reactores por etapas						

FUENTE: METCALF & EDDY 2015  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

### 5.6.3 Proceso biológico de fangos activados.

El reactor cuyo flujo se aproxima al flujo en pistón (FP) suele presentar grandes ventajas sobre el de flujo continuo de tanque agitado (RFCTA). Sin embargo, en las plantas de lodos activos se suele elegir como modelo típico de reactor biológico, el de tanque agitado. Las razones que sustentan esta elección son las siguientes:

- En los reactores de las plantas de lodos activos se produce una dispersión considerable, debido a la turbulencia que origina la aireación. Esto conlleva a que resulte más próximo a la realidad el modelo de mezcla compleja, donde se supone una mezcla total.
- Los cambios en la DBO5 del efluente se amortiguan más fácilmente en un reactor de

mezcla completa que en un flujo en pistón.

- En los reactores de flujo en pistón se produce un empeoramiento de las características de sedimentación de la biomasa producida en el reactor.
- Existe un mejor balance entre el suministro y el consumo de oxígeno en el caso de los RFCTA si se comparan con los reactores de FP.

Pero como se ha expuesto anteriormente, el proceso que se va a llevar a cabo en la planta de depuración que se está estudiando va a ser el de aireación prolongada.

#### **5.6.4 Descripción del modelo matemático.**

Según la evaluación realizada anteriormente, deducimos que el reactor que más se adecua a nuestros parámetros de operación es el proceso de lodos activados en la variante de aireación prolongada. Por tanto, pasaremos a formular un modelo matemático que exprese el comportamiento de nuestro reactor, en este caso de mezcla completa.

Antes de realizar el estudio de los modelos matemáticos aplicables a los lodos activos se realizará una descripción de las variables del proceso.

Concentración de la DBO soluble.

Se simboliza mediante  $S_i$  en la que el subíndice  $i$  indica la corriente específica de que se trate. La DBO soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución.

El diseño de planta de lodos activos se basa en el consumo de la DBO soluble, y es el resultado del proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor.

Concentración de sólidos volátiles en suspensión (VSS).

Se denotan mediante el símbolo  $X_{v,i}$ , en el que el subíndice  $V$  se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice  $i$  a la corriente específica de que se trate. Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos.

Concentración de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).

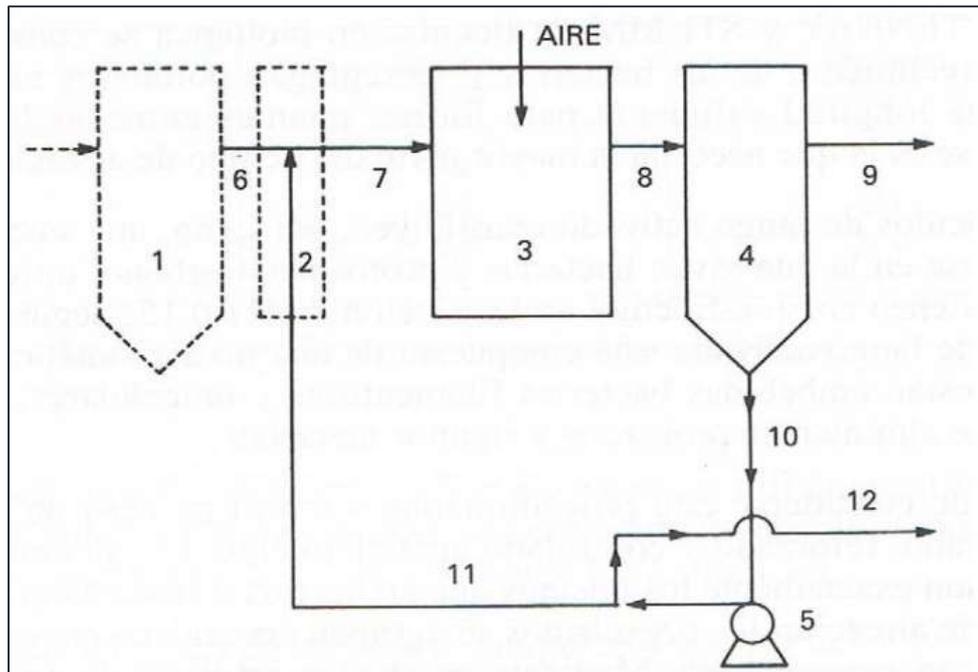
Se indican mediante el símbolo  $X_{f,i}$ , en el que  $f$  hace referencia a la no volatilidad de los sólidos, e  $i$ , indica la corriente específica de que se trate.

$$\mathbf{SST \text{ (Sólidos Totales)} = VSS + NVSS}$$

El modelo más simple para definir el proceso debe considerar tres componentes principales: biomasa, sustrato y oxígeno disuelto.

El proceso de fangos activados en continuo, considerando la recirculación del fango, puede representarse con un diagrama de flujo de la siguiente forma:

**Gráfico 5.5:** Diagrama de flujo



FUENTE: AURELIO HERNANDEZ – RAMALHO 1996  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

Como característica fundamental del proceso, debe señalarse la necesidad de mantener la concentración de SS en el reactor biológico, ante una constancia del sustrato de entrada, que se basa en la recirculación de lodos decantados; en la tabla siguiente se muestra la nomenclatura empleada:

Tabla 5.13: Nomenclatura empleada

<b>Aparatos</b>				
1.- Decantación primaria				
2.- Mezcla de aguas decantadas y recirculadas				
3.- Reactor biológico aeróbico				
4.- Decantación secundaria				
5.- Recirculación y extracción de lodos en exceso				
Flujos y Concentraciones				
Parámetros	Caudal	Concentración Substrato	Concentración	Vol.
6.- Entrada al sistema	$Q_E$	$S_E$	$X_E$	
7.- Entrada Reactor Biológico	$Q = Q_E + Q_R$ $Q = Q_E (1+r)$	$S_0$	$X_{V,0}$ $X_{f,0}$	$V_R$
3. Reactor biológico	$Q$	$S_e$	$X_{V,e}$ $X_{f,e}$	
8. Salida Reactor	$Q_e$	$S_e$	$X_{V,e}$ $X_{f,e}$	
9.- Salida de agua de sistema	$Q_S$	$S_S$	$X_{V,S}$ $X_{f,S}$	
10.- Salida Fangos Decantador Secundario	$Q_R = r Q_E = Q_u$	$S_R$	$X_{V,u=R}$ $X_{f,u=R}$	$V_d$
11.- Recirculación	$Q_R$		$X_{V,R}$ $X_{f,R}$	
12.- A tratamiento de fangos.	$Q_W$		$X_{V,W=R}$ $X_{f,W=R}$	

FUENTE: AURELIO HERNANDEZ  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

A continuación, se explicará el diagrama de flujo representado por la tabla 3.10:

1. La alimentación inicial, o bien el agua residual se introduce en el reactor con un valor de DBO soluble indicado por SE.

El objetivo del tratamiento es reducir este valor a SS, DBO soluble en la corriente 9, mediante oxidación por degradación biológica aerobia de la materia orgánica del agua residual.

2. La alimentación inicial se combina con lodo reciclado de la corriente 11, y entra en el reactor como corriente 7, alimentación combinada Q.

Se suponen condiciones de operación en régimen estacionario y flujo próximo a las condiciones de mezcla completa.

El lodo biológico,  $\Delta X_v$ , se forma continuamente en el reactor. La concentración de DBO soluble en el líquido del reactor se simboliza por  $S_e$ . Bajo condiciones de estado estacionario y mezcla completa la concentración de la DBO soluble en el efluente del reactor, corriente 8, es asimismo igual a  $S_e$ .

3. El efluente del reactor se pasa al clarificador secundario. La concentración de DBO soluble es la misma en la descarga del clarificador, SR corriente 10, y en el efluente final, Ss corriente 9, esto es,  $S_e$ .

La descarga del clarificador se divide en dos corrientes: purga, corriente 12, y lodo reciclado, SR corriente 11. Para estas dos corrientes, la concentración de DBO soluble tiene el mismo valor,  $S_e$ .

**Por tanto,  $S_e = SR = S_s$**

4. La corriente de lodo reciclado se combina con la alimentación inicial para formar la alimentación combinada Q. La concentración de DBO soluble en la corriente combinada se denota por  $S_o$  y se calcula mediante un balance de materia en el punto de conjunción de las corrientes 6, 11 y 7.

5. Sólidos volátiles en suspensión (MLVSS).

En régimen estacionario, la concentración de lodo biológico en el reactor se mantiene constante en todo momento. Para el caso que nos ocupa, 3500 mg/l.

Dadas las condiciones de mezcla completa en el reactor, los sólidos en suspensión corresponden a los MLVSS (sólidos volátiles en suspensión en el licor mezclado), simbolizada por  $X_{v,a}$ , en la que el subíndice a se refiere al de reactor.

La concentración de VSS en la alimentación inicial ( $X_{v,}$ ) es despreciable en muchos casos, ya que en esta etapa no ha tenido lugar una aireación apreciable. Los VSS se producen continuamente en el efluente.

Con objeto de mantener una concentración constante de MLVSS en el reactor, la mayor parte de la descarga del clarificador se recicla a la cabeza. La relación reciclado r se calcula mediante un balance de materia que tiene en cuenta la necesidad del

mantenimiento de la concentración seleccionada  $X_{v,a}$  de MLVSS dentro del reactor en todo momento.

$$QR = r QE$$

Debido a la síntesis de materia biológica, hay una producción neta de MLVSS en el reactor ( $\Delta X_v$ , Kg/d).

Para mantener constante la concentración de MLVSS en el reactor en todo momento, es necesario purgar del sistema una masa de MLVSS (Kg/d) igual a esta producción neta  $\Delta X_v$ . Esto se lleva a cabo principalmente mediante la purga intencionada de algo de lodo, corriente 12.

6. Algo de VSS se pierden también en el efluente final (Q,XV,S).

En la práctica, la purga se realiza de forma intermitente, sin embargo, ello conlleva condiciones de flujo no estacionario. Dado que la corriente de purga es normalmente pequeña al compararla con el reciclado, la suposición de purga continua no introduce un error apreciable en el balance de materia global. En la figura, el lodo se purga desde la corriente de reciclado, por tanto, la concentración de VSS en la corriente de purga se representa por  $X_{v,w} = R$ .

7. La concentración de VSS en el efluente del reactor es  $X_{v,e}$ , suponiendo condiciones estacionarias y mezcla completa.

El efluente del reactor fluye al clarificador secundario. La descarga de este último, corriente 10, es un lodo que contiene una concentración de VSS representada por  $X_{v,u} = R$  ( $X_{v,R} > X_{v,e}$ ). El valor de  $X_{v,R}$  se selecciona durante el proyecto, diseñando el clarificador para cumplir el valor especificado. Normalmente  $X_{v,R}$  tiene valores comprendidos entre 10.000 y 15.000 mg/l de VSS.

Las concentraciones de VSS en la purga y el lodo reciclado son, iguales a  $X_{v,R}$ .

8. En el efluente final del clarificador secundario la concentración de VSS ( $X_{v,S}$ ) es normalmente despreciable, ya que el clarificador se proyecta para una retención de sólidos del 100%.

La concentración de VSS en la alimentación combinada  $X_{v,o}$ , se calcula mediante un balance de materia en el punto de mezcla de las corrientes 6, 11 y 7.

9. Sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).

La concentración de NVSS en el reactor se indica por  $X_{f,a}$  y es igual a la existente en la alimentación combinada y en el efluente del reactor. Esto es así debido a que se supone mezcla completa y a que no hay producción de NVSS en el reactor.

$$\text{Por ello, } X_{f,a} = X_{f,o}.$$

La concentración de NVSS en la alimentación inicial se designa mediante  $X_f$  y la del lodo reciclado y la descarga del clarificador secundario,  $X_{f,,R}$ .

En la alimentación combinada esta concentración viene denotada por  $X_{f,o}$  y se calcula mediante un balance de materia en la intersección de las corrientes.

Los NVSS del efluente del reactor se separan, asimismo, mediante sedimentación en el clarificador secundario. La concentración de NVSS en la descarga del clarificador se indica mediante  $X_{f,R}$  y la del efluente final, normalmente despreciable por,  $X_{f,S}$ .

10 Lodos purgados

### Suma de los VSS + NVSS.

Los kg por día de VSS se indican mediante  $(VSS)W$ . Este término incluye la producción neta de VSS en el reactor ( $\Delta X_v$ ) más los introducidos con la alimentación inicial ( $Q_{EXV,E}$ ) menos los VSS, perdidos en el efluente final ( $Q_{sX_v,s}$ ).

Los kg de NVSS en la corriente de purga, son designados por  $(NVSS)w$ .

### 5.6.5 Tratamiento biológico por aireación prolongada.

Se procederá al cálculo del reactor biológico. El modelo de base se tomará de la bibliografía (RAMALHO 1996), en este proceso no se utiliza decantación primaria

Tabla 5.14: Parámetros de diseño PTAR Chibunga

PARAMETROS DE DISEÑO							
DENOMINACION	NOMENC	VALOR	U	VALOR	U	VALOR	U
Población de diseño	Pob	285.361	hab				
Caudal medio diario	Q	642,06	lt/s	2.311	m <sup>3</sup> /h	55.474	m <sup>3</sup> /d
Caudal máximo horario	Q <sub>max</sub>	1.010,33	lt/s	3.637	m <sup>3</sup> /h	87.293	m <sup>3</sup> /d
Carga de sólidos	DS	64,00	gr/hab/d	18.263	Kg/d	329,00	mg/l
Carga DBO5	DB	48,00	gr/hab/d	13.697	Kg/d	247,00	mg/l
Carga DQO	DQ	115,00	gr/hab/d	32.817	Kg/d	592,00	mg/l
Coliformes fecales						1,80,E+06	nmp/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl						32,88	mg/l
Aceites y grasas						3,63	mg/l
Fósforo						1,86	mg/l
Altura de la planta de tratamiento						2.620	msnm
Temperatura del agua						17,00	°C
Temperatura del aire						15,00	°C
Concentración de SS en el reactor						3.500,00	mg/l
Concentración de SS en el retorno del clarificador						7.000,00	mg/l
Fracción de Sólidos suspendidos volátiles				Pf		77%	
Sólidos en suspensión biodegradables				Pe		65%	
VALORES DE SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5			≤ 50		35,00	mg/l
Sólidos suspendidos totales	SST			≤ 50		35,00	mg/l

Coliformes fecales	NMP	≤ 99,99% de remoción			nmp/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl	N		≤ 15	10,00	mg/l
Aceites y grasas			≤ 0,30	0,30	mg/l
Fósforo	P		≤ 10	4,00	mg/l

FUENTE: ANALISIS DE AGUA EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

Previo el proceso de cálculo, se muestra una lista de datos básicos requeridos y de los criterios fundamentales de diseño.

### 5.6.5.1 Cálculo de cantidad de sustrato consumido y rendimiento del proceso.

Según la normativa vigente, el valor máximo de DBO5 permitido en el efluente es de 50 mg/l, para el presente proyecto se utiliza una DBO5 en el efluente de 35 mg/l. Este valor de DBO5 incluye a la DBO5 soluble la particulada.

DBO5 del efluente = DBO5 soluble que escapa del tratamiento + DBO5 particulada

La DBO5 soluble se define como aquella fracción de DBO que entra al tratamiento biológico y que éste no es capaz de biodegradar.

La DBO5 particulada es aquella debida a los sólidos en suspensión biológicos biodegradables.

Esta puede ser calculada teniendo en cuenta que:

- La concentración de SST en el efluente debe ser 20 mg/l según normativa vigente.
- De esa cantidad de SST, el 80% son volátiles, según los datos de partida de diseño, y estimamos que el 65% biodegradables.
- Según la ecuación general de respiración endógena para fangos activos, para calcular la DBO
- del efluente se aplica la ecuación:



Se sabe que se consumen 1,42 g de oxígeno por cada gramo de célula, y calculando de esta forma la DBOL o última:

$$(SST)_s = 30 \text{ SST mg/l} \quad SSV = 0.8 \text{ SST} \quad SSVB = 0.65 \text{ SSV}$$

### PARAMETROS DE DISEÑO

Concentración SS de la recirculación	$X_{VR}$	mg/l	7.000,00
Concentración SS en el reactor	$X_{VE}$	mg/l	3.500,00
Fracción de sólidos volátiles	$F_v$	%	77,00%

Concentración de sólidos salida del sistema	$X_{vs}$	mg/l	35,00
Sólidos suspendidos volátiles licor mezcla	$MLSSV = F_v \times X_{vE}$	mg/l	2.695,00
Coefficiente de velocidad de crecimiento bacteriano	$Y_1 = MLSSV / Kg\ DBO\ consumido$		1,30
Coefficiente de crecimiento	$Y = MLSSV / Kg\ DBO\ consumido$		0,60
Coefficiente de mortalidad de las bacterias	$K_d$	$d^{-1}$	0,06
Temperatura del agua	$T_w$	$^{\circ}C$	17,00
Coefficiente de mortalidad de las bacterias a temperatura de reactor	$K_{dt} = K_{20} \theta^{(T_w - 20)}$	$d^{-1}$	0,055
Factor de corrección por temperatura Ramalho ec 5,152 pag 329 (1,03 $\theta$ 1,06)			1,03
Tiempo medio de retención celular	$\theta_c$	d	18,00
Concentración sólido biológico del afluente	$B_o$	mg/l	247,00
Concentración sólido biológico del efluente	$B_e$	mg/l	35,00
Porcentaje sólido biodegradable SSVB	$P_e$	%	65,00%
Fracción biodegradable sólidos biológicos	$F_b = B_e \times P_e$	mg/l	22,75
Demanda bioquímica última	$DBOL = F_b \times f_c$	mg/l	32,31
Se consume 1,42 gr de oxígeno por cada gramo de célula ( $C_5 H_7 + 5O_2 \rightarrow 5CO_2 + 2H_2O + NH_3 + \text{energía}$ )	$f_c$		1,42
DBO5 soluble del afluente que escapa al tratamiento, si el afluente debe contener $\leq$		mg/l DBO5	35,00
Factor de conversión DBO5 a DBOL	$f$		0,68
DBO5 del afluente escapa al tratamiento	$B_{ef} = B_e - DBOL * f$	mg/l	13,03
Eficiencia basada en la DBO soluble	$E_s = (B_o - B_{ef}) / B_o$		94,72%
Eficiencia conjunta	$E_x = (B_o - B_e) / B_o$		85,83%

### 5.6.5.2 Cálculo del volumen del reactor.

Para estimar el volumen del reactor biológico, se determinará el volumen mínimo necesario según MLSS, carga másica y carga volúmica y se adoptará el valor más desfavorable.

Según MLSS.

Para estimar el cálculo del volumen del reactor se aplicará la ecuación:

Volumen del reactor ec 8,42 METCALFF & EDDY (2015), Pag 442.

$$V_r = \frac{\theta_c Q Y (S_o - B_{ef})}{X (1 + K_d \theta_c)}$$

$$V_r = \frac{18 \times 55.474 \times 1.30 (247 - 13,03)}{3500 (1 + 0,070 \times 18)} = 43.641,44 \text{ m}^3$$

Con este resultado se verifica la carga másica y carga volúmica según lo establece la tabla 5.12

Carga másica F/M (Kg DBO5 / Kg SSVLM x d) 0.04 - 0.10

$$CM = \frac{S_o Q_r}{X \times V_r} = 0,090$$

Valor que cumple con la tabla 5.12

Carga volúmica CV (Kg DBO5 / m3 x d) 0.10 – 0.30

$$CV = (S_o Q) / (V_r \times 1000) = 0,31$$

Valor que no cumple con la tabla 5.12; por lo tanto, se asume un valor de 0,29 y se determina el nuevo volumen.

[11] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 5th Edition, McGraw Hill, USA, 2015, Tabla 8-19

Se adopta un valor de CV = 0,29 y se calcula Vr

CV Kg DBO/m3 x d 0,29

$$V_r = (S_o Q) / (CV \times 1000) \quad \text{m}^3 \quad 47.248,53$$

$$V_r = \frac{\theta_c Q Y (S_o - B_e)}{X (1 + K_{dt} \theta_c)} \quad \text{m}^3 \quad 50.925,09$$

El nuevo tiempo de retención celular será

$\theta_c$  d 25,15

$$1 / \theta_c = [Y Q (B_o - B_{ef})] / [(V_r \times X_{VE})] - K_{dt} \quad 0,0398$$

Comprobación carga másica a q medio  $CM = \frac{S_o Q_r}{X \times V_r}$  Kg DBO / Kg SSV 0,077

Comprobación carga másica a q máximo  $CM = \frac{S_o Q_r}{X \times V_r}$  Kg DBO / Kg SSV 0,121

Comprobación carga volúmica a q medio CV = (So Q) / (Vr x 1000) Kg DBO / m3 x día 0,269

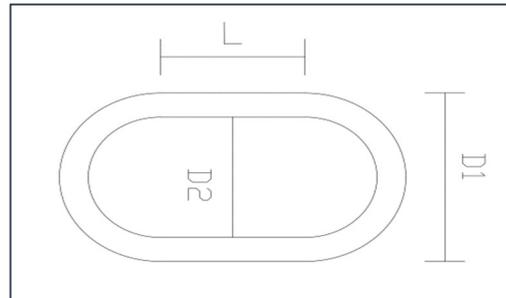
Comprobación carga volúmica a q máximo CV = (So Q) / (Vr x 1000) Kg DBO / m3 x día 0,423

### DIMENSIONES DEL REACTOR

### SE UTILIZA TRES REACTORES

Largo:	L	m	40,00
Ancho mayor:	D1	m	50,00

Ancho menor:	D2	m	40,00
Profundidad:	H	m	6,00
Nivel de agua:	h	m	5,00
Inclinación del tauld	j	1h:1v	1,00
Volúmen del reactor	$V = \frac{h}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 \times A2})$	m <sup>3</sup>	16.975,00
Volúmen total de reactores	Vt = V x No	m <sup>3</sup>	50.925,00
Area 1	A1	m <sup>2</sup>	3.963,50
Area 2	A2	m <sup>2</sup>	2.856,64
Largo total	LT = L + D1	m	90,00
Número de reactores	No	u	3,00
Tiempo de retención para caudal medio diario	TRH = Vu / Q	hora	22,03
Tiempo de retención para caudal maximo horario	TRH = Vu / Qt	hora	14,00



### 5.6.5.3 Cálculo de las necesidades de oxígeno.

Cuando se incluye la nitrificación en el proceso, los requerimientos de oxígeno total incluirán el oxígeno requerido para la remoción de material carbonoso más el oxígeno requerido para la oxidación de amoníaco y nitrito a nitrato (Sec. 7-9 en el Capítulo 7 METCALF & EDDY 2015, ec 8-23) de la siguiente manera

$$AOR = \frac{Q (S_o - S) \times 0,001}{f} - 1,42 Px + 4,57 Q (No - N) \times 0,001$$

$$AOR = 10.203,13 \text{ Kg O}_2/\text{día}$$

<b>Masa neta de sólidos volátiles producidos</b>	<b>Px = Y x Q (Bo - Be) / 1000</b>	<b>Kg/d</b>	<b>6.420,76</b>
Factor de conversión de tejido celular en DBOL	f		0,68
NTK del Afluente			17,99
NTK del Efluente			10,00

## NECESIDADES REALES DE OXÍGENO.

Según se ha indicado en el apartado anterior, el oxígeno teórico a aportar 20.559 kg/d, pero esta cantidad se ha calculado según condiciones normalizadas de laboratorio.

Para estimar el consumo en las condiciones reales, hay que tener en cuenta algunos parámetros:

$$SOR = \frac{AOR \ C_{S20}}{\alpha (\beta C_W - C_L)(1,024^{t-20})}$$

$$SOR = 24.992,64 \text{ Kg/d de oxígeno}$$

SOR: Necesidades reales de oxígeno.

AOR: Necesidades teóricas de oxígeno.

$C_{s20}$ : Concentración de la saturación de oxígeno a 20°C, mg/l. 9.09 mg/t

$\alpha$ : relaciona el coeficiente global de transferencia ( $K_a$ ) de las aguas residuales con el del agua corriente. (0.60 – 1.20)

$\beta$ : parámetro en función sólidos en suspensión del licor y su salinidad. (0.92 – 0.98)

$C_w$ : Saturación de Oxígeno a sitio y temperatura de trabajo (7.04 mg/l)

$C_L$ : Concentración de Oxígeno Disuelto a la que se desea trabajar en el reactor (2.00 mg/l)

t: Temperatura promedio del agua residual (17°C)

Requerimientos de Oxígeno	Re = SOR/Horas día	Kg O2/h	1.136,03
Factor de conversión		kwh - HP	1,34
Tasa de transferencia de aireador con blower asistido		1,55 Kg O2/Kwh	
Tasa de transferencia de aireador normal		1,20 KgO2/Kwh	
Potencia requerida con aireador (con blower asistido)		982,85 HP	
Potencia requerida con aireador (sin blower asistido)		1.269,51 Hp	
Horas de funcionamiento		22 horas	

**SE ESCOGEN 24 UNIDADES DE AIREACION DE 50 HP CON BLOWER ASISTIDO DE 7.50 HP., ES DECIR 8 POR CADA REACTOR.**

### 5.6.5.4 Caudal de purga.

Para el cálculo del caudal de purga se utilizará la ecuación 5.133 del libro de Ramalho.

$$Q_w = [ (Q \times SS_v) + \Delta X_v - (Q \times X_{VSF}) ] / [X_{VR} - X_{VSF}]$$

Para calcular el caudal de purga, se necesita conocer el valor de  $\Delta X_v$ . Que es igual a  $P_x$ , calculado en el numeral 5.6.5.3.

Sólidos suspendidos volátiles	$SS_v = SS \times F_v$	253,33 mg/l
Sólidos suspendidos volátiles a la salida	$X_{VSF} = X_{vs} \times F_v$	26,95 mg/l
Concentración SS de la recirculación	$X_{VR}$	7.000,00 mg/l
$\Delta X_v$ . Que es igual a $P_x$	$P_x$	6.420,76 kg/d
Caudal de diseño	$Q$	55.473,98 m <sup>3</sup> /d

**Caudal a ser purgado  $Q_w = 2.721,76 \text{ m}^3/\text{d}$**

#### **5.6.5.5 Caudal de salida efluente, caudal de alimentación combinada.**

Caudal descarga decantador.

El caudal de salida del efluente se calculará aplicando la ecuación:

$$Q_{se} = Q - Q_w \quad Q_{se} = 52.752,22 \text{ m}^3/\text{d}$$

Por otro lado, el caudal de la alimentación combinada se calcula aplicando la ecuación:

$$Q_a = Q (1 + r) \quad Q_a = 109.943,29 \text{ m}^3/\text{d}$$

Por último, también se podría dar el dato del caudal de descarga del decantador secundario. Este caudal se obtendría simplemente por diferencia entre el caudal inicial y el final.

$$Q_u = Q_a - Q_{se} \quad Q_u = 57.191,06 \text{ m}^3/\text{d}$$

#### **5.6.5.6 Balance de materia para sólidos no volátiles.**

Concentración de sólidos no volátiles en suspensión.

$$X_{fa} = (1 - F_v) \times X_{VE} / F_v \quad X_{fa} = 1.045,45 \text{ mg/l}$$

Sólidos suspendidos no volátiles a la salida.

$$X_{fs} = X_{vs} (1 - F_v) \quad X_{fs} = 8,05 \text{ mg/l}$$

Concentración de sólidos no volátiles a partir del BDO

$$X_{fu} = [Q ((1+r) X_{fa}) - (Q_{se} \times X_{FS})] / Q_u \quad X_{fu} = 2.002,34 \text{ mg/l}$$

Concentración de sólidos fijos finales que retornan a cabeza de planta

$$X_{fE} = [(1 + r) X_{fa}] - (r \times X_{fu}) \quad X_{fE} = 105,90 \text{ mg/l}$$

### 5.6.5.7 Cantidad de lodos producidos.

Para el cálculo de la producción total de lodos, lo primero será determinar la cantidad de sólidos en suspensión en la purga (VSSP).

Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

Sólidos suspendidos a ser purgados

$$VSSP = \Delta XV + (Q \times SSV) - (Q \times XVSF) \quad VSSP = 18.978,96 \text{ Kg/d}$$

### 5.6.5.8 Cálculo de la DBO5 en la alimentación combinada

En el caso del cálculo de la DBO5 en la alimentación combinada, lo primero será determinar el valor de So. Para ello se hará uso de la siguiente ecuación:

Demanda Bioquímica de Oxígeno combinada al reactor

$$Soa = [Bo + (r \times Be)] / (1 + r) \quad Soa = 141,97 \text{ mg/l}$$

Cálculo de la concentración de biomasa en alimentación combinada.

$$Xvo = (SSv + r \times XVR) / (1 + r) \quad Xvo = 3.595,84 \text{ mg/l}$$

### 5.6.5.9 Consumo de nutrientes.

La degradación biológica aerobia de las aguas residuales necesita una cierta cantidad de distintos nutrientes como el magnesio, el fósforo, el calcio, el nitrógeno o las vitaminas. La mayor parte de estos nutrientes se encuentra ya presente en las aguas residuales, pero en muchas de estas aguas existen deficiencias de nitrógeno y fósforo. Para minimizar este déficit se le añaden al reactor biológico una cantidad calculada de compuestos que contengan

estos elementos.

Para estimar las necesidades de nitrógeno y fósforo se parte de los datos de la bibliografía en la que se indica que los MLVSS purgados contienen alrededor del 2% de su peso seco en fósforo y el 12% en nitrógeno (Ramalho, 1996).

#### CONSUMO DE NITRÓGENO.

La expresión utilizada para calcular el consumo de nitrógeno será la siguiente ecuación:

$$N = (0,12 \cdot \Delta XV) + (Q \times 1 / 1000) \quad N = 825,97 \text{ Kg/d}$$

#### CONSUMO DE FOSFORO.

La expresión utilizada para calcular el consumo de fósforo será la siguiente ecuación:

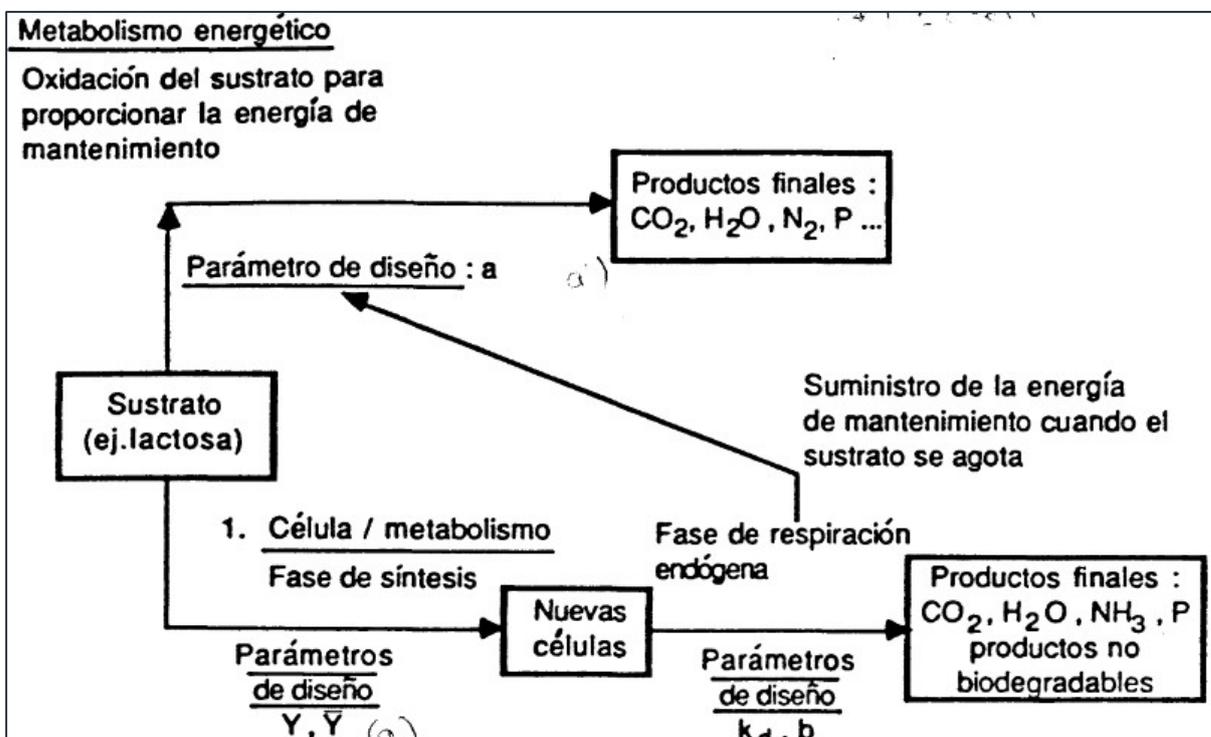
$$P = (0,02 \cdot \Delta XV) + (Q \times 0,5 / 1000) \quad P = 156,15 \text{ Kg/d}$$

### 5.7 Digestión aerobia de lodos.

La digestión aerobia es un proceso en el cual se produce una aireación, por un período de tiempo de lodo producto de la clarificación secundaria, generado por el tratamiento biológico aerobio, con el resultado de una destrucción de células, y una disminución de sólidos en suspensión volátiles (VSS).

El objetivo principal de la digestión aerobia es reducir el total de lodos que se debe evacuar posteriormente. Esta reducción es el resultado de la conversión, por oxidación de una parte sustancial del lodo en productos volátiles (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>). Si se representa las células bacterianas por la fórmula C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>N<sub>0</sub>2, la oxidación que tiene lugar cuando el sustrato de un sistema aerobio no es suficiente para mantenimiento energético y síntesis viene dada por la ecuación (5.25). Corresponde a la fase de respiración endógena indicada en la figura 3.9. (texto tomado del libro del Ramalho 1996).

Gráfico 5.6: Mecanismo de la degradación biológica aerobia



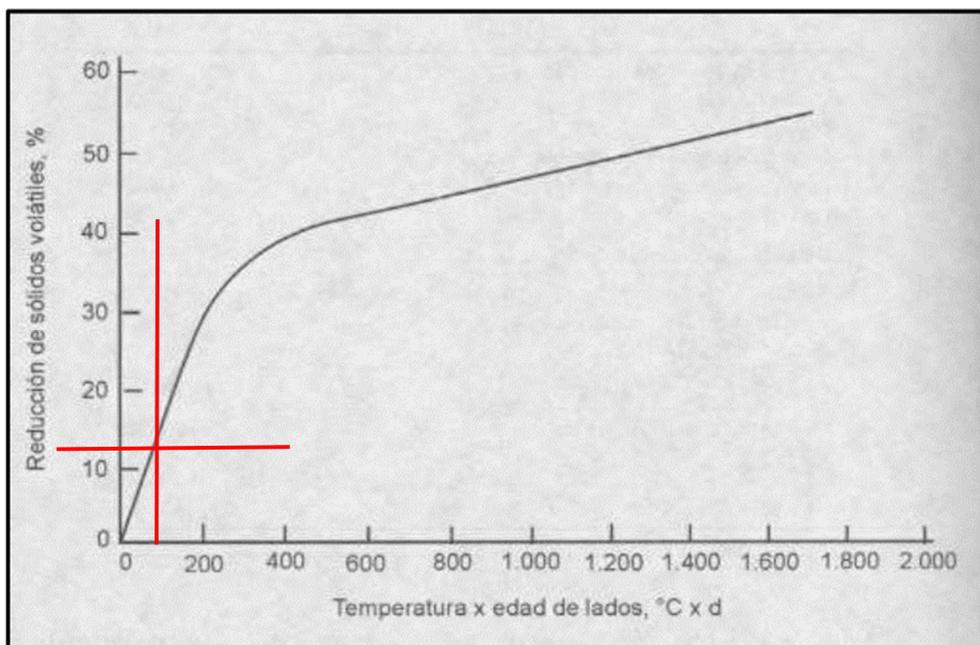
FUENTE: GRAFICO 5.7 RAMALHO 1996  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

La figura 3.10 muestra un diagrama de proceso de remoción de sólidos suspendidos volátiles en digestor aerobio, los factores que determinan este porcentaje de remoción son la temperatura y edad de lodos.

Factor de reducción de sólidos volátiles	$Frs = T \times \Theta_c$	68,00
Cantidad de lodo producido	VSSP	18.978,96 Kg/d
Temperatura de operación	T	17,00 °C
Edad del lodo propuesta	$\Theta_c$	4,00 días

Concentración del lodo aplicado	$CL = XVR / 1000000$	0,70 %
Densidad relativa	$\rho$	1.000,00 Kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de mortalidad de las bacterias	$K_d$	0,055 d <sup>-1</sup>
Fracción de sólidos volátiles	$F_v$	77,00 %
Caudal de lodos afluente	$Q_{la} = VSSP / (CL \times \rho)$	2.711,28 m <sup>3</sup> /d
Porcentaje de reducción se obtiene del gráfico	$Pr_{sv}$	14,00 %
Reducción de sólidos volátiles	$SSVR = \Delta XV \times Pr_{sv}$	898,91 Kg/d

**Gráfico 5.7:** Reducción de SSV en digestor aerobio de lodos



FUENTE: HERNANDEZ LEMA  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

El cálculo del volumen del digestor y la cantidad de oxígeno requerido se realiza de la misma forma que en el numeral 5.6.5.2 y 5.6.5.3.

### 5.7.1 Diseño del sistema de aireación.

Requisitos de oxígeno Kg O<sub>2</sub>/Kg sólidos destruidos.  $R_{ok} = 2.30 \text{ Kg O}_2 / \text{Kg SSVR}$   
(HERNANDEZ LEMA)

## DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACION

Requisitos de oxígeno Kg O2 / Kg sólidos destruidos	Rok	Kg O2/Kg SSVR	2,30
Requerimiento de oxígeno	AOR = SSVR x Rok	Kg O2/día	2.067,49
Requerimiento de Oxígeno en campo	SOR = $\frac{(AOR)(C_{s20})}{\alpha(\beta C_{\pi} - C_L)(1.024)^{t-20}}$	Kg O2/día	4.174,08
Requerimientos de Oxígeno [14]	Re = SOR/Hf	Kg O2/hora	173,92
Factor de conversión	kwh - HP		1,34
Horas de funcionamiento	Hf	horas	24,00
Tipo de aireador AIRE O2	HP requerido = Re / Ef	HP	194,36
AIRE-O2 Aspirator SAE [15]	Ef 1,20 Kg O2 / Kwh		1,20
SE UTILIZA 6 AIREADORES DE 20 HP		HP	200,00

### CALCULO DEL VOLUMEN DEL DIGESTOR

$$\text{Volumen del digestor [10]} \quad V_d = \frac{Q_i (X_i + YS_i)}{X \left( k_d P_v + \frac{1}{\theta_c} \right)} = 14.047,00 \text{ m}^3$$

Caudal de ingreso al digestor	Qi	2.711,28 m3/d
Sólidos suspendidos en el licor mezcla [11]	Xi	7.000,00 mg/l
Fracción de DBO5 en el afluente, lodos primarios, en este caso 0		
DBO5 en el efluente	Si	30,0 mg/l
Concentración de SSV en digestor	X = Pv x Xi	5.390,00 mg/l
Fracción de sólidos suspendidos volátiles en digestor	Pv	77,00 %

### 5.8 *Diseño de clarificadores.*

Para el dimensionado del decantador, el parámetro de diseño principal es la velocidad ascensional, junto con el tiempo de retención y la carga en el vertedero. Normalmente el diseño de decantadores en un proceso de aireación prolongada consta de los siguientes parámetros (Metcalf & Eddy 2015).

Tabla 5.15: Parámetros de diseño para clarificadores secundarios

INFORMACION TIPICA DE DISEÑO PARA DECANTADORES SECUNDARIOS					
DESCRIPCION	CARGA SUPERFICIAL (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x d)		CARGA DE SOLIDOS (Kg/m <sup>2</sup> x h)		Profundidad (m)
	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continiación de FA (expeto aireación extendida)	16 - 28	36 - 56	4,00 - 6,00	10,00	4,00 - 5,50
Sedimentación a continiación de FA con oxígeno	16 - 32	40 -48	5,00 - 6,88	9,76	4,00 - 5,50
Sedimentación a continiación de aireación extendida	8 - 16	24 - 32	1,00 - 5,00	8,00	4,00 - 5,50
Sedimentación a continiación de filtros percoladores	16 - 28	40 -48	3,00 - 5,00	7,81	4,00 - 5,50
Sedimentación a continiación de biodiscos					
Efluente secundario	0,678 - 1,356	1,695 - 2,035	3,90 - 5,85	9,76	3,00 - 4,50
Efluente nitrificado	0,678 - 1,017	1,356 - 1,695	2,93 - 4,88	7,81	3,00 - 4,50

FUENTE: METCALF & EDDY 2015 (TABLA 8.34)

ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

### 5.9 Diseño de clarificadores.

Las aguas provenientes de los reactores pasarán por los clarificadores donde se separarán los lodos sedimentables y las aguas claras.

Por la naturaleza del proyecto, se ha considerado instalar 3 unidades físicas circulares de clarificación; esto permitirá la modularidad, y también permitirá en caso de ser necesario, poder desarrollar el sistema de tratamiento por fases.

La extracción de lodos y la recirculación se realizará desde la poceta situada en el fondo del decantador; de esta unidad, mediante una tubería de succión son conducidos los lodos por un sistema de bombeo hacia el reactor o el digestor de lodos, en función de la concentración de la biomasa.

Caudal medio diario	Q	lt/seg	642,06
		m <sup>3</sup> /h	2311,42
		m <sup>3</sup> /día	55474,08
Caudal máximo horario	Qmax	lt/seg	1010,33
		m <sup>3</sup> /h	3637,19
		m <sup>3</sup> /día	87292,56
Caudal máximo diario	Qmd	lt/seg	642,06
		m <sup>3</sup> /h	2311,42
		m <sup>3</sup> /día	55474,08
Número de unidades	No.	u	3,00
Carga sólidos suspendidos	DSS	Kg/día	18263,10
Carga de DBO5	DBS	Kg/día	13697,33
Remoción sólidos suspendidos	RSS		93,00%
Remoción DBO5	RBS		30,00%

Producción de fango secundario	SPS = DSS + DBS	Kg/día	18978,96
Concentración de fango secundario	CI		0,70%
Peso específico fango secundario	P	Kg/m <sup>3</sup>	1015,00
Volumen fango secundario	$Q_{fs} = [SPS / (CI * P)]$	m <sup>3</sup> /día	2671,21

Carga de sólidos q med ( 4 - 6); q max 10 Kg/m<sup>2</sup>/h, Tabla 8-34 Metcalf & Eddy, 2015

Carga superficial q med (16 - 28); q max (36 - 56) m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, Tabla 8-34 Metcalf & Eddy, 2015

Velocidad ascensional a Qmax	$V_x (\leq a 1.33 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h})$	m/h	1,20
Velocidad ascensional a Qmed	$V_m (\leq a 0.67 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h})$	m/h	0,67
Tiempo de retención caudal medio	$T_m$	horas	4,00
Area a carga media	$A_m = Q_m / (V_m * N_o)$	m <sup>2</sup>	1.149,96
Diámetro del clarificador a q med	$D = (4 * A_m / \pi)^{0.5}$	m	40,00
Area a carga máxima	$A_x = Q_x / (V_x * N_o)$	m <sup>2</sup>	1.010,33
Diámetro del clarificador a q max	$D = (4 * A_x / \pi)^{0.5}$	m	36,00

Se elige el de mayor valor, para el presente proyecto se utiliza 46 m., cabe destacar que para el diseño se considera los dos caudales, recirculación y alimentación.

Con los datos obtenidos anteriormente se realiza el ajuste del diseño del clarificador.

#### AJUSTE DEL DISEÑO DEL CLARIFICADOR

Diámetro del clarificador	D	m	40,00
Altura del clarificador	Hr	m	3,50
Area final del clarificador	$A = \pi * D^2 / 4$	m <sup>2</sup>	1256,64
Volumen final del clarificador	$V_f = A * H_r$	m <sup>3</sup>	4398,24
Carga sobre el vertedro	$C_v = Q / L$	m <sup>3</sup> /m	6,13
Tiempo de retención a caudal medio	$T_m = V_f / Q_m$	horas	5,71
Tiempo de retención a caudal máximo	$T_x = V_f / Q_{max}$	horas	3,63
Velocidad ascensional a Qmax	$V_{ax} = Q_{max} / A$	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	0,96
Velocidad ascensional a Qmed	$V_{am} = Q_m / A$	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	0,61

#### POCETA DE FANGOS (SE REALIZA PARA UN TIEMPO DE RETENCION DE 2 HORAS)

Tiempo de retención hidráulico	$T_{hrp}$	h	2,00
Inclinación de la solera (%)	J	se recomienda utilizar 5%	
Caudal de fangos	$Q_f$	m <sup>3</sup> /d	2671,21
Volumen de la poceta	$V_p = (T_{hrp} * Q_f) / (24 * N_o)$	m <sup>3</sup>	74,20
Altura de la poceta de fangos	$h_p$	m	1,40

Area de la poceta	$A_p = V_p / H_p$	m <sup>2</sup>	53,00
Diámetro de la poceta	$D_p = [(4 \times A_p) / \pi]^{0,5}$	m	8,30

### CORONA DE REPARTO

Diámetro de corona de reparto	$DC = (0.10 D - 0.15 D)$ $D_c = 0.10 D$	m	4,00
Altura de la corona	$ht = (0.50 hc - 0.25 hc)$ $hc = [h_u + (D \times I) / 200]$ $ht = (0.30 \times hc)$	m	34,00 10,20

### PUENTE GIRATORIO

Ancho	d	m	0,60
Velocidad de giro	Vg		
Diámetro del clarificador D	$V_g < [120 / (60 \times \pi \times D)]$	r.p.m.	0,016
Diámetro externo del clarificador D1	$V_g < [120 / (60 \times \pi \times D1)]$	r.p.m.	0,015
D1 = Diámetro para giro de puente exterior	$D1 = [D + 2 \times (0.15 + b + 0.075)]$	m	41,85
Potencia	$CV = (\pi \times D^2 / 1278)$ $CV = (\pi \times D1^2 / 1278)$	CV	3,93 4,31
Accionamiento central	$V_g < 0.040$ r.p.m.		
Accionamiento periférico	$V_g > 0.040$ r.p.m.		

### CANAL DE SALIDA DEL CLARIFICADOR

Gravedad		(m/s <sup>2</sup> )	9,80
Ancho de canal		(m)	0,70
Caudal		(m <sup>3</sup> /s)	0,084
Pendiente			0,20%
Coefficiente de rugosidad			0,014
Coefficiente de canales K1	$Q \times n / [b^{8/3} \times i^{1/2}]$		0,06823
Relación y/b			0,230
Calado de agua	$y = y/b \times b$	m	0,161
Longitud del canal	$L = \pi \times D / 4$	m	31,42
Desnivel del canal	$L \times i$	m	0,063

### VERTEDEROS DE SALIDA A CAUDAL MEDIO

Diámetro del clarificador		m	40,00
Caudal de cada vertedero	$1,343 \times H^{2,47}$	l/s	0,255
		m <sup>3</sup> /h	0,92
Calado de agua en cada vertedero	$[ Q_u / 1,343 ]^{1/2,47}$	cm	3,12
Caudal de salida	$Q / ( N_o \times 1000 )$	m <sup>3</sup> /s	0,2140
Número de vertederos de salida por clarificador		u	1,00
Número de vertederos	$[ \pi \times D / ( E_v + A_v ) ] \times N_f$	u	838
Espaciamiento de vertederos		m	0,05
Ancho del vertedero triangular 90°		m	0,10
Caudal unitario	$Q_{sm} / N_v$	m <sup>3</sup> /s	0,000255
Comprobación de carga sobre el vertedero	$Ch = Q / ( 2 \times H )$	m <sup>3</sup> / m x h	14,75

### 5.9.1 Estación de bombeo para recirculación de lodos.

El sistema de bombeo de la estación depende de la altura estática y de la altura por pérdida por fricción y las pérdidas menores por accesorios e ingresos, por lo que se define la altura dinámica total (TDH) para cada caudal que puede tener el sistema, de manera de construir una curva de caudales y de alturas dinámicas totales para los mismos, lo cual se denomina Curva del Sistema.

#### 5.9.1.1 Cálculo de la Curva del Sistema de Bombeo.

La Curva del Sistema, permite establecer el Punto de Operación del Equipo (PO) del equipo de bombeo a seleccionar, ya que la curva propia del equipo se implanta en la curva del sistema y el punto de corte entre las curvas, se establece el punto de operación.

La altura estática en el presente caso se define en 6.50, que va desde la cota - 2 msnm, la altura a la cual llegará el agua se ha establecido en la cota 4.50 msnm, con lo que se tiene la altura estática;  $H_e = 6.50$  m.

La altura por pérdidas de fricción se calcula mediante la ecuación de Hazen Williams.

$$H_f = \frac{10,665 Q^{1,852}}{D^{4,87} C^{1,852}}$$

Dónde: Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

D = Diámetro de la tubería (m)

C = Coeficiente de rugosidad para PEAD

H<sub>f</sub> = Pérdidas de carga (m/m)

El coeficiente de capacidad hidráulica o coeficiente de Hazen y Williams que se utilizará

para la tubería de PVC es de 130

Las pérdidas localizadas se calcularon con la ecuación de Darcy-Weisback, aplicando los coeficientes tabulados para cada accesorio; la expresión matemática de esta ecuación es:

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

En donde:

K= depende del tipo de accesorio (tabulada)

V= velocidad en la pieza considerada (m/s)

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

El diseño de la Cámara de bombeo en general y de la potencia de las bombas en particular, se encuentra íntimamente ligada con la línea de impulsión, ya que se requiere el análisis de las pérdidas de carga que se producen en las diferentes partes que forman el sistema de bombeo, es decir en la línea de succión, la línea de descarga y principalmente en la línea de impulsión.

Con los datos descritos, trabajando con diferentes caudales, se construye la curva del sistema, la misma que se presenta a continuación:

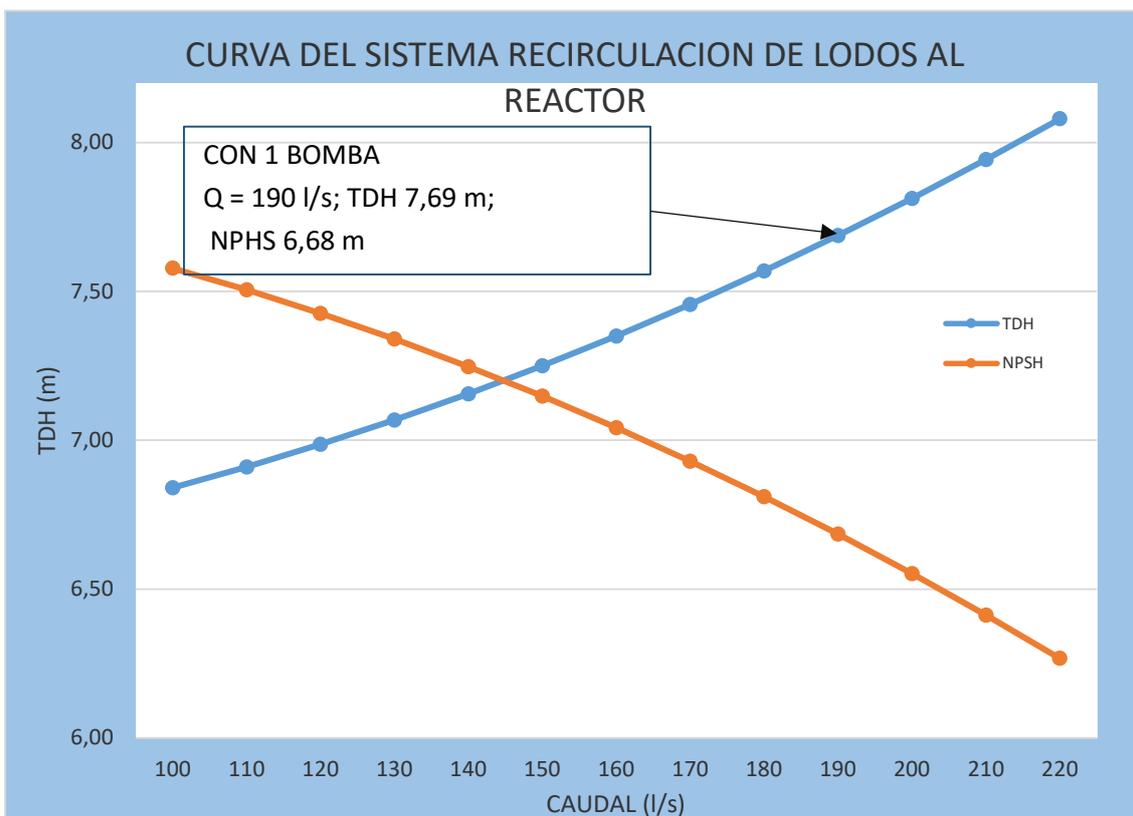
Tabla 5.16: Cálculo de la curva de bombeo

CALCULO DE LA CURVA DE BOMBA RECIRCULACION DE LODOS AL REACTOR											
Q = m <sup>3</sup> /h		360,00	396,00	432,00	468,00	504,00	540,00	576,00	612,00	648,00	684,00
Q=l/s		100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
TDH=m		6,84	6,91	6,99	7,07	7,16	7,25	7,35	7,46	7,57	7,69
ef=%		78,00%	78,00%	78,00%	78,00%	78,00%	78,00%	78,00%	78,00%	78,00%	78,00%
P=Q*H/(76,159*ef)		11,52	12,80	14,11	15,47	16,86	18,31	19,80	21,34	22,93	24,59
HP adoptados		11,52	12,80	14,11	15,47	16,86	18,31	19,80	21,34	22,93	24,59
Kwh=9,81* Q*H/ef		8,60	9,56	10,54	11,56	12,60	13,68	14,79	15,94	17,13	18,37
Kwh. (HP*0,745)		8,58	9,53	10,51	11,52	12,56	13,64	14,75	15,90	17,09	18,32
Carga estática		6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Longitud Equivalente		65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
C		120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Diam de la Tubería impulsión	400	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Sección tubería		0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
Velocidad de salida		0,80	0,88	0,95	1,03	1,11	1,19	1,27	1,35	1,43	1,51
Hf Tubería		0,12	0,14	0,17	0,20	0,22	0,26	0,29	0,32	0,36	0,40
Codo 90°	400	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
Tee en línea (con circulación por derivaci	400	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
Codo 45°	400	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07
Valvula compuerta	400	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>PERDIDAS EN IMPULSION</b>		<b>0,19</b>	<b>0,23</b>	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,37</b>	<b>0,42</b>	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>

ACTUALIZACION DE LOS DISEÑOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

MULTIPLE											
Q=l/s		100,00	110,00	120,00	130,00	140,00	150,00	160,00	170,00	180,00	190,00
Diam. Salida de la bomba	200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Area salida bomba		0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
Velocidad salida bomba [m/s]		3,183	3,501	3,820	4,138	4,456	4,775	5,093	5,411	5,730	6,048
Diam. múltiple tramo Bomba en [m]	400	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Longitud del múltiple equivalente		5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
Hf Tubería salida	400	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Entrada de depósito a tubería	400	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
Codo 90°	400	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Codo 45°	400	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Tee en línea (con circulación por derivaci	400	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
Yee	400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cruz	400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inteconexión tubería con bomba	400	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Valvula compuerta	400	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Valvula check horizontal	400	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15
Ampliación	200	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Reducción	200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>PERDIDAS MULTIPLE (m)</b>		<b>0,15</b>	<b>0,18</b>	<b>0,21</b>	<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,33</b>	<b>0,37</b>	<b>0,42</b>	<b>0,47</b>	<b>0,53</b>
Área [m2]		0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
Velocidad accesorio del múltiple [m/s]		0,796	0,875	0,955	1,035	1,114	1,194	1,273	1,353	1,432	1,512

Gráfico 5.8: Curva del sistema de bombeo



Se define 2 Bombas sumergibles, de igual capacidad, operando alternadamente, la capacidad definida de cada una es: Q = 190 l/s, TDH= 7,69 m, Eficiencia 78%.

La diferencia que existe entre la presión de entrada y el nivel inferior de presión dentro de la bomba se denomina NPSH: Altura de aspiración positiva neta. Por lo tanto, NPSH es una expresión de la pérdida de presión que tiene lugar en el interior de la primera parte de la carcasa de la bomba.

La presión existente en el interior de una bomba varía desde la entrada en el lado de aspiración a la conexión de descarga en el lado de descarga. En la primera parte de la bomba, la presión disminuye antes de aumentar en el lado de la descarga a un valor superior a la de la presión de admisión.

Las tablas 4.15 y 4.16 presentan la selección de las bombas para las estaciones de bombeo.

Tabla 5.17: Bomba para recirculación de lodos

CARACTERISTICAS	VALOR
Caudal de bombeo por equipo	196 L/s
Caudal máximo total (1 bomba 1 backup)	196 L/s
Instalación	En seco
Rendimiento hidráulico	79 %
NPSH	4.04 m
Temperatura	17°C
Potencia nominal bomba	18,9 kW
Potencia nominal motor	21 kW
Altura	13 m
Velocidad nominal	886 rpm
Boca de succión	DN 300
Impulsor	Impulsor canal
Boca de impulsión	DN 300
Número de álabes	2 álabes
Diámetro del impulsor	360 mm
Tamaño de sólidos	100x130 mm
Clasificación del motor	440 V 3 fases 60 Hz
N° de polos	8

Tabla 5.18: Bomba para conducción de lodos a deshidratador

CARACTERISTICAS	VALOR
Caudal de bombeo por equipo	12.4 l/s
Caudal máximo total (1 bomba 1 backup)	12.4 l/s
Instalación	En seco
Rendimiento hidráulico	48,70 %
NPSH	1.19 m

Temperatura	17°C
Potencia nominal bomba	2,54 kW
Potencia nominal motor	3,50 HP
Altura	8,93 m
Velocidad nominal	1183 rpm
Boca de succión	DN 100
Impulsor	Impulsor contrablock
Boca de impulsión	DN 100
Número de álabes	1 álabe
Diámetro del impulsor	228 mm
Tamaño de sólidos	80 mm
Clasificación del motor	440 V 3 fases 60 Hz
N° de polos	8

### 5.9.2 Conformación del Múltiple de Bombeo.

El múltiple de bombeo se lo proyecta con tubería de Lámina de Acero con revestimiento interior de Epoxi Cerámico para alcantarillado, con juntas bridadas PN10, de diámetros 400 mm, 250 mm, 200 mm, 150 mm y 100 mm.

### 5.9.3 Cálculo de la línea de Impulsión.

Para definir el diámetro de la línea de impulsión, se realiza el cálculo del diámetro más económico, el cual está entre las velocidades de flujo 1.36 m/s a 2.16 m/s, de igual manera por tratarse de una impulsión de aguas servidas se selecciona tubería PEAD, por sus características mecánicas, de resistencia a la corrosión y fundamentalmente por el tipo de junta soldada, que impide su desconexión frente a efectos de transitorias.

### 5.9.4 Cálculo de las Válvulas de Aire.

En un sistema de bombeo que trabaja la tubería presurizada, es necesario el disponer de válvulas de aire que cumplan las tres funciones que se describen a continuación:

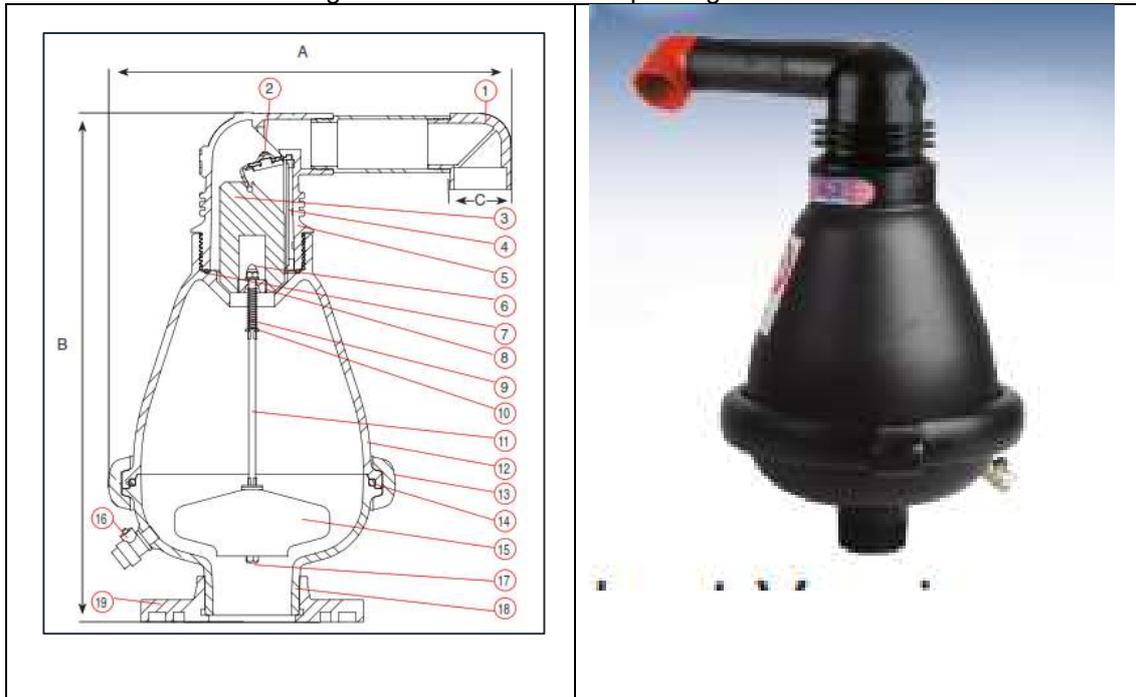
Admisión de aire cuando la tubería se vacía por efectos de rotura en el punto más bajo o por depresión cuando se tiene un golpe de ariete, se dimensiona con una presión diferencial de 5 lb/pul<sup>2</sup> evitándose el colapso de la tubería por succión.

De expulsión de aire en los puntos altos, en el proceso de llenado de la tubería se dimensiona con una presión diferencial de 2 lb/pul<sup>2</sup> evitándose el colapso de la tubería por sobre presión.

Para eliminación de aire que se produce en la operación de la tubería, dimensionándose con la presión de trabajo en el punto de ubicación, evitando la disminución de capacidad

de transporte de la tubería por entrapamiento de bolsa de aire.

Figura 5.3: Válvula de aire para aguas residuales



Estas válvulas se las conoce como válvulas compuestas o de triple acción.

En el proyecto se requiere la implementación de las válvulas compuesta, en las abscisas 0+000.

#### 5.9.5 Dimensionamiento para expulsión de aire.

Se toma el caudal de bombeo, el cual se tiene que eliminar de la tubería en los puntos altos, para el presente caso es 214 l/s (0.214 m<sup>3</sup>/s), se selecciona con este caudal a una presión diferencial de 2 lb/pul<sup>2</sup> en cualquier manual de fabricantes de válvulas de aire, en este caso nos arroja un diámetro de válvula de 4".

#### 5.9.6 Dimensionamiento para admisión de aire.

Se define la forma en la cual se comporta la caída de presión con el golpe de ariete, o se revisa la rotura de la tubería en el punto más crítico, tomándose la más desfavorable, en el presente caso el golpe de ariete coincide con la pendiente de ruptura de la tubería en el punto más bajo de la impulsión, por lo que se toma estas cotas para el dimensionamiento. Con esta definición se establece la pendiente que tiene esta, con la que se establece la velocidad de flujo en el tramo analizado, y se calcula el caudal de circulación.

A este caudal obtenido con la pendiente se descuenta el caudal de agua, obteniéndose la cantidad de ingreso de aire requerido, si se tiene una válvula de aire aguas arriba de la analizada, se debe restar el aire que ingresó por esta y así se obtiene la cantidad de aire a aplicarse en este punto.

El dimensionamiento de la válvula de admisión se selecciona con el caudal antes descrito a una presión diferencial de 5 lb/pul<sup>2</sup> en cualquier manual de fabricantes de válvulas de aire, en este caso nos arroja un diámetro de válvula de 4”.

### 5.9.7 Dimensionamiento para eliminación de aire.

Debido a la circulación de caudal de agua en la tubería a la velocidad, turbulencias por cambios de direcciones, se genera aire que se acumula en los puntos altos de la tubería que debe eliminarse para mejorar la circulación del agua. Esta producción de aire depende del caudal de circulación como se señaló, por lo que en los manuales de diseño se estima que es el 2% del caudal de transporte propio del sistema, en el presente caso será de 4.28 l/s. A la presión de trabajo de 10 kg/cm<sup>2</sup> se obtiene una válvula de 1/2” de diámetro, la cual está integrada a la válvula de 4”.

### 5.10 Cálculo del sistema de deshidratador de lodos.

El lodo extraído de la unidad de digestión es bombeado hacia la cámara de compactación al interior del filtro banda. El principio de funcionamiento del filtro banda se basa en conseguir la separación sólidos-líquido del lodo mediante su escurrimiento entre dos bandas bajo Tensión. La presión que se realiza sobre la materia aumenta gradualmente conforme las dos bandas pasan por los rodillos de diámetros decrecientes produciendo, además, un efecto de cizalladura que favorece a la evacuación de la fase líquida.

El filtro banda incluirá lo siguientes elementos:

- Bomba de alimentación de lodo crudo a deshidratar
- Medidor de flujo de lodo crudo
- Sistema de acondicionamiento e inyección de floculante
- Sistema para mezclado de lodo y floculante
- Prensa de banda
- Controles y accesorios

Producción diaria de sólidos	V <sub>SSP</sub>	Kg/d	14.588,53
Sólidos volátiles	P <sub>X</sub>	Kg/d	6.923,50
Sólidos fijos	P <sub>f</sub>	Kg/d	7.665,02
Concentración del fango	CL	%	2,00%
Caudal medio diario	Q <sub>md</sub>	m <sup>3</sup> /d	729,43
Grado de sequedad mínima	C <sub>sm</sub>	%	22,00%
Días a la semana de trabajo	ds	d	7,00
Horas de trabajo del equipo	H <sub>te</sub>	h	18,00
Dosis de polímeros	D <sub>p</sub>	Kg/Tn MS	7,00
Concentración del SS escurrido	C <sub>se</sub>	mg/l	1.000,00

Secado por metro de banda	$S_b$	Kg/m/h	300,00
Número de equipos	$N_e$	u	1,00
Caudal máximo trabajo	$Q_{max} = Q_{md} / H_{te}$	m <sup>3</sup> /h	40,52
Producción máxima de sólidos	$P_{ms} = V_{ssp} / H_{te}$	Kg/h	810,47
Ancho de banda mínimo	$A_b = P_{ms} / (S_b \times N_e)$	m	2,70
Ancho de banda estandar	$A_{bs}$	m	3,00
			<b>OK</b>
Volumen de biosólidos	$V_{bs} = P_{ms} / (C_{sm} \times 1000)$	m <sup>3</sup> /h	3,68
Caudal sobrenadante	$Q_s = Q_{max} - V_{bs}$	m <sup>3</sup> /h	36,84
Producción sólidos sobrenadante	$P_{ss} = Q_s \times C_{se} / 1000$	Kg/h	36,84
Porcentaje de remoción	$X_r = (P_{ms} - P_{ss}) / P_{ms}$	%	95,45%
<b>SISTEMA DOSIFICACION POLIELECTROLITO</b>			
Volumen de polielectrolito	$Q_{pol} = P_{ms} \times D_p / 1000$	Kg/h	5,67
Capacidad preparación de equipo	$C_p = Q_{pol} + 20\% Q_{pol}$	Kg/h	7,00
Concentración preparación	$C_c$	%	0,50
Caudal bombeo polielectrolito	$Q_{bp} = Q_{pol} / (C_c \times 10)$	m <sup>3</sup> /h	1,13
Unidades de preparación polielectrolito	$U_{pp}$	u	3,00
Caudal unitario de polielectrolito	$Q_{up} = Q_{bp} / U_{pp}$	m <sup>3</sup> /h	0,38

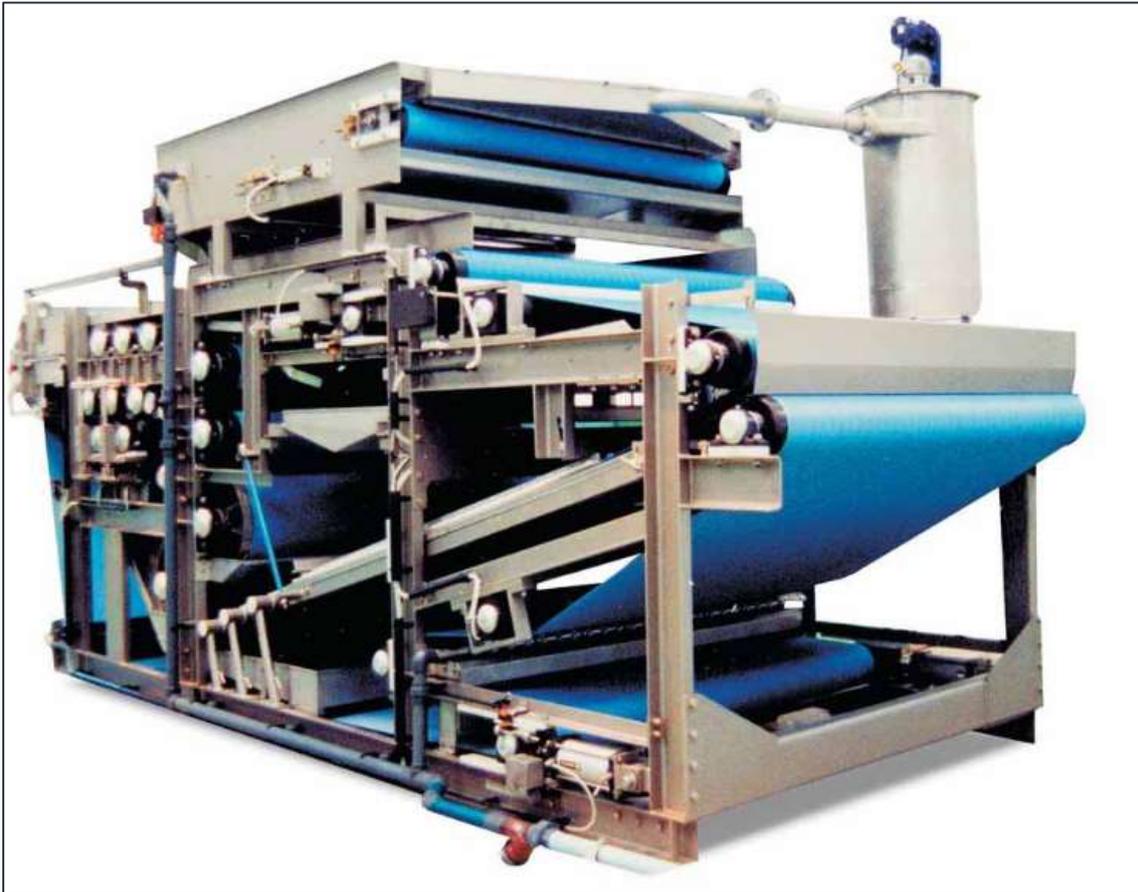
### 5.10.1 Recomendaciones.

Para un buen diseño de las instalaciones, se recomienda tener en cuenta las siguientes observaciones:

- a. Recordar que hay un tiempo inhábil en cada turno:
  - Al principio del turno para preparar el sistema de dosificación del polielectrolito.
  - Al final del turno para dejar limpios los equipos de deshidratación.
- b. Instalar las unidades de deshidratación lo más alta posible. Es más fácil elevar el fango líquido (con concentraciones < 5 %) que el fango deshidratado con sequedades (>18 %)
- c. Diseñar el equipamiento con la posibilidad de dosificar los reactivos en tres o cuatro puntos diferentes: a la entrada del equipo, a la salida de la bomba de fangos, en el floculador (si se instala) y en puntos intermedios.
- d. Para todos los equipos definir adecuadamente las prestaciones y verificar que las cumplen los equipos ofrecidos por los fabricantes.
- e. El sistema de almacenamiento de biosólidos deberá de tener una capacidad

mínima de 25 tN para ahorrar los costos de evacuación.

Figura 5.4: Esquema de un sistema de deshidratación por filtro banda



FUENTE: TEFSA  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

### 5.11 *Secador solar de lodos.*

El fango se deposita formando una capa en el interior de un invernadero. El sistema de volteo mueve el fango asegurando su secado uniforme mientras se transporta a la zona de descarga; adicionalmente se utilizan ventiladores para generar un régimen de circulación forzada de aire.

#### SECADOR SOLAR

Producción de fangos	PXv	Kg /d	18.080,06
Densidad de lodo	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	1.100,00
Concentración de lodo deshidratado	CL		20,00%
Volumen de lodos deshidratado	$VLD = PXv / (\rho \times CL)$	m <sup>3</sup> /d	82,18
Lodo seco anual al 100%		tn/año	6.599,22

## SALIDA DE SECADOR SOLAR

Producción de fangos	PXv	Kg /d	18.080,06
Densidad de lodo	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	1.200,00
Concentración de lodo deshidratado	CL		80,00%
Volumen de lodos deshidratado	$VLDS = PXv / (\rho \times CL)$	m <sup>3</sup> /d	18,83
<b>VOLUMEN A SER EVAPORADO</b>	$VEV = VLD - VLDS$	m <sup>3</sup> /d	63,35
<b>AREA REQUERIDA PARA EVAPORACION</b>	Ae	Tn/m <sup>2</sup>	0,10
Area total para evaporación	$Ate = VEV/Ae$	m <sup>2</sup>	633,49
Espesor de cada capa de lodo	el	m	0,08
Area total requerida	$Atr = Ate / el$	m <sup>2</sup>	7.918,59
Area por sacador solar	$As = 135 \times 11 \text{ m}$	m <sup>2</sup>	1.595,00
En una primera etapa se instalan 3 unidades ya que es lo necesario hasta el año 2035	$Ats = Atr / As$	m <sup>3</sup>	5,00

La alimentación del lodo deshidratado en las centrifugas al invernadero será mediante un tornillo transportador. El lodo seco puede ser almacenado al final del secador o transportado mecánicamente hasta la estación de carga.

El material granulado producido es fácil de manejar debido a su nivel de secado caracterizándose por una muy buena fluidez.

La cubeta y los soportes deben ser fabricados en acero inoxidable AISI 304L o material equivalente (excepto complementos, motores y cojinetes). La superficie debe ser tratada en baño de ácido (decapado)

Para la homogeneización completa del lodo durante el proceso de volteo y transporte de este a lo largo del secadero, desde la zona de alimentación hasta la de descarga. El lodo se seca de manera uniforme durante el tiempo de residencia en el invernadero.

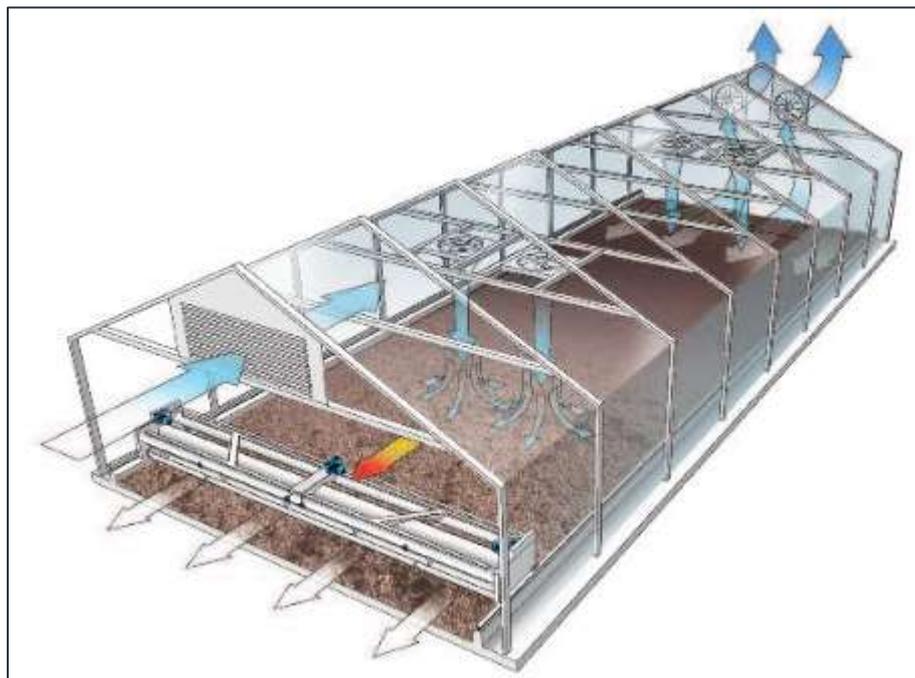
El accionamiento motriz consiste en un motor reductor regulado por variador de frecuencia con sus correspondientes rodillos de PU. El par motor se reparte mediante un eje a los dos piñones colocados en ambos extremos que engranan sobre la cadena instalada sobre la coronación de la pista de rodadura. De esta forma el volteador se desplaza a lo largo de la zona de secado.

El sistema de volteo del lodo se desplaza por un sistema piñón-cadena accionado por dos motoredutores regulados por variador de frecuencia. El volteador consiste en dos cazoletas semicirculares. La primera coge el lodo de la cama de lodo. Cuando el

volteador se ha desplazado ligeramente la segunda cazoleta coge el lodo. El contenido de la primera se descarga en el espacio liberado por la segunda. Durante este proceso el lodo se mezcla completamente al mismo tiempo que avanza hacia la zona de descarga. El sentido de la fuerza generada por el proceso de volteo es opuesto a la dirección de transporte. De ahí que las cadenas estén tensadas para garantizar la estabilidad direccional del sistema.

El escudo-rasqueta va montado bajo el volteador. Es ajustable en dirección vertical mediante su correspondiente accionamiento. Durante el proceso de volteo el lodo se fuerza a pasar entre la placa generando su cizallamiento para disponer de un granulado con la máxima superficie. El flujo de aire que generan los ventiladores se encuentra con la superficie del lodo acelerando el proceso de secado.

Figura 5.5: Esquema de un secador solar de lodos



FUENTE: HUBER TECHNOLOGY  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR.

### 5.12 *Desinfección mediante lámparas UV.*

La luz ultravioleta es una alternativa de desinfección al uso del cloro y ozono en muchas aplicaciones de tratamiento de aguas potables y residuales. Con la dosis apropiada, garantiza la desinfección efectiva, bactericida y virucida, sin producción de subproductos tóxicos de desinfección problemáticos.

Luz ultravioleta es esa porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible. Se han definido cuatro regiones del espectro UV:

- UV al vacío entre 100 y 200nm.
- UVC entre 200 y 280 nm.

- UVB entre 280 y 315 nm.
- UVA entre 315 y 400 nm.

El sol es una fuente de luz ultravioleta, la absorción de radiación de longitud de onda corta por la capa de ozono impide que alcancen en la Tierra cantidades significativas de UVB y UVC. Por ello, las aplicaciones prácticas de desinfección dependen de fuentes artificiales de UV, las lámparas de mercurio.

Como se muestra, se utilizan tanto los sistemas de flujo de desinfección UV horizontales (paralelos) como verticales (perpendiculares). El caudal de diseño se divide por igual entre el número de canales abiertos. Cada canal contiene dos o más baterías de lámparas UV en serie, y cada batería se compone de un número específico de módulos (repisas de lámparas UV). Cada módulo contiene un número específico de lámparas UV encajonadas en fundas de cuarzo. El número de lámparas UV por cada módulo es 2,4,8,12 o 16. Los fabricantes de sistemas de desinfección UV configuran las lámparas con un espaciamiento de 75 mm entre los centros de las lámparas. Una compuerta de alerón pesada se utiliza para controlar la profundidad de flujo a través de cada canal de desinfección. Para superar el efecto de obstrucción, el cual reduce la salida de las lámparas, los módulos de lámparas deben ser removidos periódicamente del canal de flujo, y las lámparas, limpiadas de forma manual o mecánica.

Este tipo de configuración se utiliza principalmente en sistemas de baja presión, baja y alta intensidad.

Para los sistemas UV de media presión y alta intensidad, las lámparas forman módulos que están ubicadas en un reactor con una geometría fija.

DESINFECCION CON LAMPARAS UV 65%			
Transmitancia de la lámpara UV	$T_v$	%	65,00%
Dosis de rayos UV por lámpara	$mJ / 294,30 \text{ m}^3/\text{dia}$	mJ	30
Caudal unitario por lámpara	$Q_u$	$\text{m}^3/\text{d}$	294,30
Para caudal máximo de diseño	$Q_x$	$\text{m}^3/\text{d}$	87292,56
Número de lámparas	$NL = Q_x / Q_u$	No	297
Lámparas por módulo	$L_m$	No	40
Número de módulos	$NM = NL / L_m$	unid	8
Para caudal medio de diseño	$Q$	$\text{m}^3/\text{d}$	55474,08
Número de lámparas	$NL = Q_x / Q_u$	No	189
Número de módulos	$NM = NL / L_m$	unid	5
Intensidad superficial medida a la distancia d	$I_l = I_o \times 10^{-ad}$	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
Longitud de la lámpara	$L$	cm	91,44

---

Intensidad superficial de la lámpara	$I_0$	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
Distancia recorrida por la luz	$d$	cm	
Absorbancia del medio, para efluente secundario	$a$	$\text{cm}^{-1}$	0,20
Cálculo de sistema de desinfección con UV	$N_t / N_0 = e^{-kt}$		-84,989009
Constante de velocidad de reacción o de decaimiento	$k$	$\text{s}^{-1}$	1,940023
Concentración de microorganismos	$N$ y $N_0$	NMP/100 ml	
Tiempo de retención hidráulico	$t$	seg	2,29
Diámetro de lámpara	$DI$	cm	1,91
Longitud lámpara	$L$	cm	91,44
Intensidad en punto más alejado	$I = 10\% \times I_0$	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	2515,12
Intensidad superficial de la lámpara	$I_0 = W / (\pi \times DI \times L)$	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	25151,19
Potencia lámpara	$W$	wat	13,80

Figura 5.6: Esquema de un sistema UV.

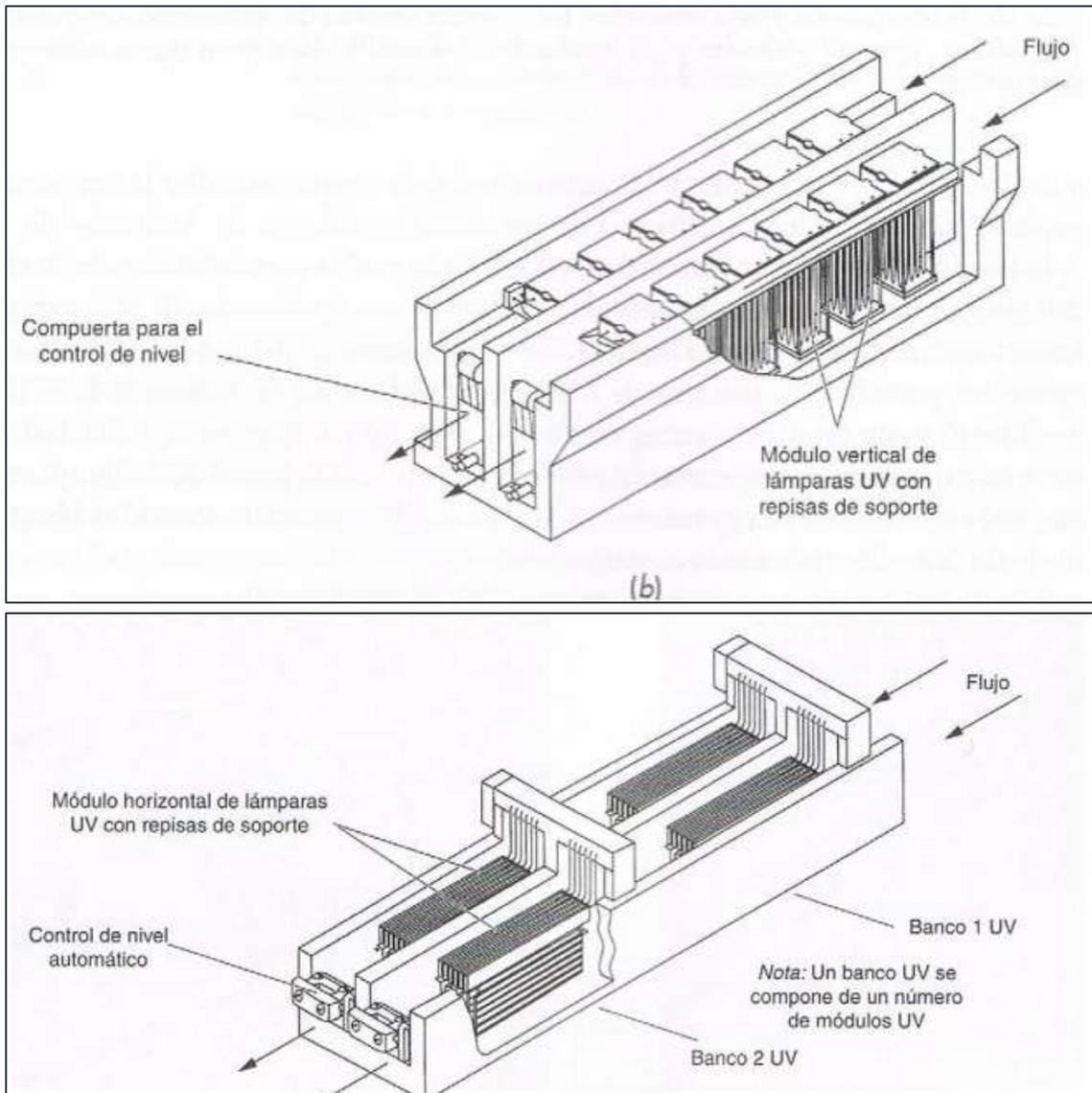
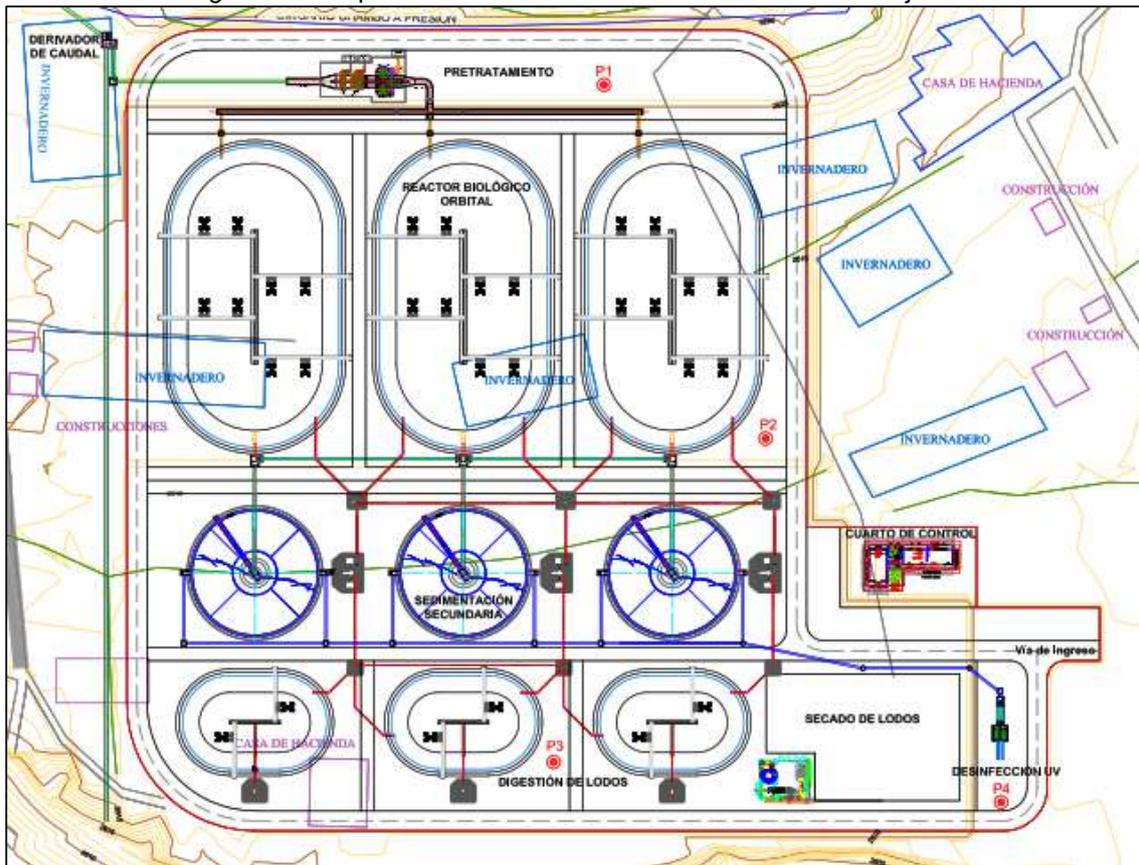


Figura 5.7: Implantación Planta de tratamiento reactor de flujo orbital



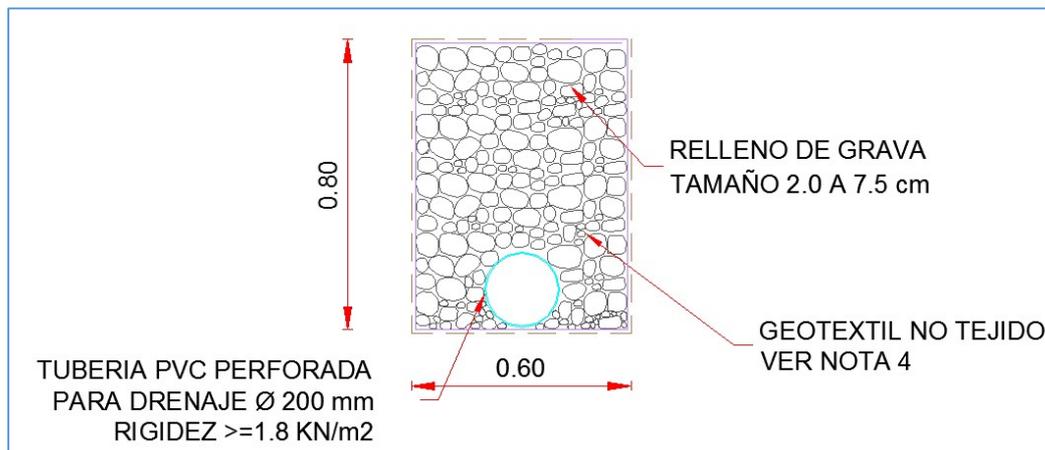
FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

### 5.13 Cálculo de los subdrenes.

El propósito del subdren es captar y conducir el agua subterránea a un destino que no afecte la estructura de la Planta de tratamiento.

Se debe mencionar que se colocaran subdrenes en los alrededores de la PTAR, cuya escorrentía puede ingresar y afectar a las estructuras, la siguiente figura presenta el subdren tipo que se deberá implementar.

Figura 5.8: Subdren tipo



El subdren descargara sus aguas al sistema de alcantarillado pluvial de la planta de tratamiento, de esta forma se garantiza la estabilidad del suelo.

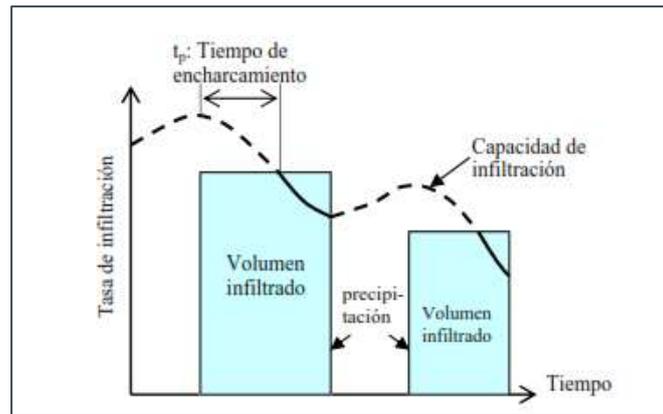
#### 5.13.1 Caudal por infiltración.

La lluvia que, precipitada sobre el suelo, queda detenida, se evapora, escurre por la superficie o se infiltra. Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior.

A medida que el agua infiltra desde la superficie, las capas superiores del suelo se van humedeciendo de arriba hacia abajo, alterando gradualmente su humedad. En cuanto al aporte de agua, el perfil de humedad tiende a la saturación en toda la profundidad, siendo la superficie el primer nivel a saturar. Normalmente la infiltración proveniente de precipitaciones naturales no es capaz de saturar todo el suelo, sólo satura las capas más cercanas a la superficie, conformando un perfil típico donde el valor de humedad decrece con la profundidad.

Cuando termina la precipitación y no hay más aporte superficial la tasa de infiltración real se hace cero rápidamente y la capacidad de infiltración vuelve a crecer, porque el suelo continúa perdiendo humedad hacia las capas más profundas, además de las pérdidas por evapotranspiración. Los valores de infiltración dependerán del espacio y del tiempo. El gráfico 4.4 muestra el desarrollo típico de las curvas representativas de la evolución temporal de la infiltración real y de la capacidad de infiltración ante la ocurrencia de una precipitación.

**Gráfico 5.9:** Curva de capacidad y tasa de infiltración



A continuación, se dan algunos valores promedios de capacidad de infiltración para distintos tipos de suelos:

El agua lluvia que cae sobre la escombrera, una parte de éste inevitablemente se infiltra en la escombrera debido a que su estructura no es permeable. Para determinar el caudal de infiltración se utiliza el Manual de diseño Geosoft PAVCO “Sistemas de subdrenaje para vías con geotextil y material granular; así como de las publicaciones de la Universidad de Piura relacionadas con la tasa de infiltración de los suelos.

Tabla 5.19: Tasa de infiltración de suelos

TIPO DE CARPETA	Fi (mm/h)
Arena	50
Limo arenoso	25
Limo arcilloso	12

Por lo tanto, el caudal de infiltración se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{inf} = F_i \times A_d$$

$F_i$  = Tasa de infiltración del suelo (Ver Tabla 3.7), para este caso se toma un valor de 50, que corresponde a una arena, considerando las condiciones más desfavorables del material.

$A_d$  = Área de infiltración de cada escombrera.

La tabla 4.18 presenta el cálculo del caudal de infiltración para cada subdren.

Tabla 5.20: Cálculo del caudal de infiltración

ÁREA	SITIO	ÁREA SUBDREN (m <sup>2</sup> )	LONGITUD SUBDREN (m)	INFILTRACIÓN (mm/h)	CAUDAL (l/s)
A1	TALUD	2450	115	50.00	0.034

En cambio, la tabla 4.19 presenta el cálculo del diámetro de la tubería del subdren, de la tabla se desprende que un tubo de PVC con 200 mm. de diámetro y una pendiente del 2% es suficiente para evacuar el mayor caudal obtenido.

Tabla 5.21: Cálculo de tubería de subdren

SECTOR	POZO		LONG. (m)	Q Diseño (l/seg)	DISEÑO DE LA TUBERÍA					Y/D
	Entrada	Salida			D (mm)	J %	Q Lleno (l/s)	Velocidad		
								Lleno (m/s)	Diseño (m/s)	
TALUD	P1	P2	115.00	0.0340	200	2.00	60.32	1.92	0.34	0.020

### 5.13.2 Cálculo del geotextil.

La permitividad del geotextil o tasa de flujo de un líquido bajo un diferencial de presión a través del material se calcula por la siguiente expresión:

$$W_{req} = Q / (dh \times H \times L)$$

Q = caudal calculado en tabla 1.2, en m<sup>3</sup>/s.

dh = altura del subdren.

H = ancho del subdren.

L = Longitud del subdren.

La tabla 4.20 presenta los valores de la permitividad requerida para el geotextil.

Tabla 5.22: Cálculo de la permitividad

ÁREA	SITIO	ALTURA (m)	BASE (m)	LONGITUD SUBDREN (m)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	PERMITIVIDAD (s <sup>-1</sup> )
A1	TALUD	0.80	0.60	250	2.736E-04	2.280E-06

Por lo tanto, el geotextil especificado debe cumplir como mínimo estas características, para el presente proyecto se utiliza un material cuya permitividad es de 3.2 s<sup>-1</sup>, valor muy superior al calculado; material aplicado en todos los subdrenes de las vías del país, según lo detalla el componente de especificaciones técnicas.

## 6 MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Para determinar los costos de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, se toma el esquema del tren de tratamiento presentado en la figura 6.1, cuyo detalle se incluye a continuación, de esta forma se determina los aspectos más fundamentales que inciden en los costos de operación y mantenimiento.

En los proyectos promovidos por la Administración Pública, resulta necesario no perder la perspectiva de su ciclo de vida completo. Todo proyecto promovido por la Administración, además de perseguir el interés general, debe satisfacer las necesidades a cubrir, manteniendo un equilibrio adecuado entre calidad y costo .

Figura 6.1: Línea de tratamiento seleccionada



FUENTE: EQUIPO CONSULTOR  
ELABORACIÓN: EQUIPO CONSULTOR

Con el estudio de explotación que se desarrolla en este anejo, se pretende poner de manifiesto esa perspectiva del ciclo de vida del proyecto, haciendo hincapié en toda la fase que va desde la construcción de la infraestructura hasta que ésta deja de estar en servicio. Esta fase de explotación es de suma importancia y no se puede perder de vista si se persigue optimizar el costo del ciclo de vida del proyecto y alcanzar, en buenas condiciones, la vida útil de la infraestructura que se está proyectando.

Por tanto, sobre la base de lo indicado en el párrafo anterior, se va a dividir este anejo en dos partes:

- Plan de Explotación de la infraestructura, orientado a que se pueda cubrir la vida útil de la misma con un buen nivel de fiabilidad y a un costo razonable.
- Estudio económico de los costos de explotación y mantenimiento (expresión en términos económicos del Plan de Mantenimiento y Explotación).

Para determinar los costos de operación y mantenimiento de los equipos se, detallan las actividades de mantenimiento que se debe realizan en cada uno de ellos y de esta forma se define su costo.

Si se reduce el ámbito a la evaluación de los costos económicos dentro del marco del proyecto que nos ocupa, tal como se decía al principio, habrá que fijarse en el costo del ciclo de vida del proyecto.

Haciendo simplificaciones, es posible descomponer el costo del ciclo de vida del proyecto en dos partes principales: el costo de la inversión inicial y los costos de explotación y mantenimiento.

Puesto que el costo de la inversión inicial aparece ya indicado en el presupuesto respectivo, ese particular está ya analizado y estudiado.

Por tanto, en esta sección se determinará los métodos de mantenimiento asociados a la infraestructura objeto del proyecto.

## 6.1 *Plan de explotación.*

Al inicio del período de puesta en marcha se confeccionará un Plan de Explotación que deberá ser aprobado por EMAPAR EP; en los siguientes apartados se describe la documentación necesaria que deberá ser contemplada en el Plan de Explotación y puesta en marcha de la PTAR. Se indicará, para cada una de las partes las directrices para su explotación. Inicialmente se En una primera parte, se describirán los aspectos más generales y luego las actividades concretas a efectuarse.

Los aspectos críticos serán considerados para una buena operación y mantenimiento, tomando en cuenta las pautas generales para su gestión; además se detallarán las tareas concretas y periodicidad de las labores de mantenimiento. A partir de lo anterior, se justificará el personal necesario para la explotación de las infraestructuras objeto del proyecto.

## 6.2 *Descripción de los procesos y equipos.*

Antes de exponer todas las normas de mínimo cumplimiento para garantizar la buena marcha y explotación de las instalaciones, se van a describir someramente los procesos de tratamiento que tienen lugar en la , tanto en la línea de agua como en la de fango, así como los elementos que se ubican en la agrupación de vertidos (aliviaderos). El detalle de cada recinto, su funcionalidad y dimensiones definidas en el numeral 3. Cálculos hidráulicos y de funcionamiento.

### 6.2.1 *Procesos y equipos en la PTAR.*

Respecto a la línea de agua, a la llegada la impulsión, esta ingresa a un dissipador de energía donde se rompe la carga; a continuación, se conduce por un canal hasta llegar a la estructura de alivio de excedentes. Con esto último se asegurará que a la PTAR ingrese solo el caudal máximo de pretratamiento: 1010 l/s,  $Q_{max}$  a 204. Con la finalidad de que el caudal no sobrepase este valor se ha dispuesto una compuerta automática que regula el caudal de ingreso.

Los canales de desbaste definidos para esta son 2 + 1R y se han equipado con rejas autolimpiables de 6 mm de paso. Los residuos sólidos se conducirán mediante un tornillo transportador-compactador hasta un contenedor cubierto de 4 m<sup>3</sup>, que recibe también los residuos procedentes del clasificador de arenas.

Desde el desbaste el agua a dos canales para desarenado y desengrasado. Como singularidad, se destaca que las grasas, tras su concentración en el desnatador, serán almacenadas en un depósito enterrado para evitar posibles molestias por olores.

Tras el pretratamiento, el agua es conducida mediante un canal que distribuye el caudal a cada uno de los reactores, para el control de este caudal se dispone de compuertas y sensores de nivel para regular el paso proporcional a cada reactor .

El tratamiento biológico se realizará mediante aireación prolongada, a través de cuatro reactores tipo orbital de 90 metros de longitud, 40 de ancho y 5 de profundidad. Se ha dispuesto una compuerta de reparto individual, para el respectivo aislamiento del

reactor.

La sedimentación de la materia floculada tendrá lugar en tres decantadores de 40 metros de diámetro y 3.50 de calado útil. Desde ahí, el agua será conducida hasta una cámara de desinfección mediante rayos UV, 6 módulos de 40 lámparas.

Con relación a la línea de fangos, los lodos son extraídos de los decantadores secundarios hacia un pozo, desde donde se recirculan hasta la cabecera del reactor o bien son purgados hasta el digestor. Se ha dispuesto el bombeo de fangos en tres cámaras individuales.

Para la recirculación ello, es necesario disponer un equipo de recirculación adicional, de forma que, en condiciones de operación normal, se tendrá una configuración de 1+1R.

Todos los depósitos cuentan con vaciado, los cuales se conducen por gravedad hasta el pozo de vaciados y desde ahí son bombeados a cabecera de planta. Cabe destacar que al pozo de vaciados también se vehiculará el agua procedente de: el drenaje profundo de recintos, los sobrenadantes de decantador y espesador, así como de las redes de saneamiento de edificios y espacios asociados.

### 6.3 **Normas de explotación.**

Se dirige a gestionar de forma adecuada todas las actividades técnicas y administrativas necesarias para la obtención de un efluente que cumpla con los requerimientos de la normativa vigente, así como para el correcto funcionamiento de todas las tareas desarrolladas en la evacuación de residuos, análisis del agua, mantenimiento y operación de los equipos. A continuación, se presentan varios aspectos generales y, posteriormente, se detallan otras particulares relacionadas con la puesta en marcha.

- EMAPAR se hará cargo de las obras e instalaciones construidas y se responsabilizará de su correcto funcionamiento, conservación y mantenimiento.
- El funcionamiento de las instalaciones deberá ser en continuo de modo que se obtenga una calidad del agua tratada según la legislación vigente.
- Se deberá garantizar la retirada, transporte y vertido autorizado de los residuos generados en los pozos de gruesos, rejas de desbaste, tamiz, desarenador y concentrador de grasas al menos tres veces por semana.
- Se deberá garantizar la retirada y transporte de los lodos generados por parte de un gestor autorizado hacia su disposición final.
- Se deberá planificar con al menos una semana la interrupción del funcionamiento de los procesos en la PTAR o los equipos de las estaciones de bombeo por causa de obras emergentes, labores de mantenimiento o cualquier otro motivo, de forma que no coincidan con el periodo de máxima actividad.
- La operación de las instalaciones se realizará siempre desde el punto de vista del mantenimiento preventivo.
- Se confeccionará y actualizará el programa de inspección y vigilancia de los equipos, con previsiones sobre la vida útil.
- Se contará con los repuestos necesarios para que, en caso de fallo, avería o consumo, el funcionamiento de la línea de procesos no se detenga.

- Se garantizará en todo momento un estado de lubricación en los elementos que lo requieran.
- Se tendrá un registro actualizado con la fecha de adquisición de cada equipo y de las modificaciones o reparaciones realizadas en él.
- Todos los elementos de las instalaciones (incluidos los edificios) se mantendrán en perfectas condiciones de operación, limpieza y estética.
- La jardinería exterior e interior de la PTAR debe estar siempre en adecuadas condiciones de limpieza; se efectuarán las reposiciones y replantaciones que sean necesarias.
- Los accesos a la infraestructura se deben conservar en buenas condiciones su plataforma, obras de fábrica y cunetas.
- La red de evacuación de pluviales deberá mantenerse en perfecto estado de operación, realizando las labores de limpieza pertinentes para facilitar el buen drenaje de las aguas.
- Se deberán realizar labores de inspección de elementos especiales tales como codos, válvulas o puntos de riego entre otros, con objeto de limpiar las obstrucciones por sedimentación y garantizar el buen funcionamiento hidráulico de los mismos.
- El cerramiento deberá mantenerse bien cuidado cumpliendo con su función delimitadora. Se deberán llevar a cabo las reparaciones necesarias en caso de falla o rotura de alguno de sus elementos.

#### 6.4 ***Normas para la puesta en marcha.***

La puesta en marcha de las instalaciones se realizará de manera progresiva. En la PTAR se utilizarán los diferentes by pass que aíslan cada uno de los procesos unitarios. De este modo, se ejecutarán las comprobaciones por fases: bombeos, pretratamiento, tratamiento biológico y desinfección. Las comprobaciones de operación relativas a la línea de fangos se realizarán según el ritmo de su producción.

A continuación, se detallan las principales tareas a ejecutar:

Comprobación de equipos electromecánicos. Previo al llenado se verificará el correcto funcionamiento de elementos mecánicos y eléctricos, accionamientos, sistemas de control y protecciones anticorrosivas. Asimismo, se comprobará que todos los elementos han sido instalados siguiendo las recomendaciones del fabricante (hojas técnicas, manuales e instrucciones).

- a. Se prestará especial atención a los desperfectos, roturas, grietas, oxidaciones, etc., que hagan necesaria la reparación o incluso la sustitución de los equipos o materiales que lo precisen. Las instalaciones se encontrarán perfectamente limpias para facilitar la realización de las pruebas de recepción y evitar la ocultación de defectos.
- b. La accesibilidad a los equipos, tanto lo que se refiere a sus condiciones de maniobra como el acceso a aquellos elementos que requieren un periódico mantenimiento, deberá ser adecuada sin elementos de por medio que interfieran en las maniobras.

- c. Se comprobará minuciosamente la pintura de todas las instalaciones (preparación de superficies, pintura de imprimación y pintura de acabado). Sus posibles defectos son básicos, ya que originan el envejecimiento prematuro de las obras y el mal funcionamiento de los mecanismos.
- d. Se verificará la instalación eléctrica, comprobando el rendimiento de las líneas de fuerza, transformador, motor, armario y puestas a tierra.
- e. Se analizará el correcto funcionamiento de los sistemas de medida, registro y alarma, lo cual incluye el funcionamiento de los cuadros de control generales de la instalación.
- f. Para todas las bombas de la PTAR y las EBAR, se medirá el caudal, intensidad, potencia absorbida, se comprobarán los accionamientos, instalaciones, el sistema de extracción y elevación, además se medirá los niveles de ruido.
- g. Se verificará la correcta ubicación de las válvulas, la estanqueidad del cierre y el sentido del flujo en las válvulas de retención.
- h. Con relación a los motores eléctricos, se realizarán ensayos en vacío, ensayos en cortocircuito, ensayo del aislamiento, ensayo de carga, la resistencia de las fases y medida del nivel de ruido.
- i. Se comprobará que los motores eléctricos asociados a variadores de frecuencia no trabajan por debajo de las revoluciones indicadas por los fabricantes.
- j. En el puente del decantador secundario, se comprobarán los accionamientos, la adaptabilidad de las rasquetas de superficie, la uniformidad del camino de rodadura y la velocidad de giro, el sistema de paro frente a obstáculos, se harán pruebas de carga con llenado parcial y total, se medirá el ruido y se comprobará el sistema de eliminación de sobrenadantes.
- k. Respecto al equipo de desinfección y grupo hidroneumático, se comprobará la estanqueidad de los elementos, los dispositivos de seguridad y los consumos eléctricos.
- l. Se verificará el correcto cierre y apertura de las compuertas, la estanqueidad que ofrecen las mismas y se realizarán las pruebas de presión oportunas.
- m. En los polipastos y cuchara bivalva se comprobará el funcionamiento en vacío y en carga.
- n. Se calibrarán los equipos de instrumentación (sensor de pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, potencial redox, concentración de sólidos, nitratos/amonio, DQO, nivel y caudalímetros electromagnéticos).
- o. Se realizarán las pruebas en las protecciones generales del sistema de alumbrado: sobreintensidad, máxima tensión, mínima tensión, diferenciales y circuito de protección.

Verificación de la línea piezométrica. Una vez se introduzca agua residual en la PTAR,

se verificará el comportamiento de la línea piezométrica según el caudal circulante por los diferentes procesos. En particular, se prestará especial atención sobre:

- a. Aliviaderos: se comprobará su funcionamiento de tal manera que éstos ocurran en las condiciones de caudal requeridos.
- b. Nivel sobre vertederos: se comprobará la efectividad del nivel sobre vertederos entre otras cosas para la eliminación de flotantes.
- c. Comprobación de ausencia de retornos de agua y entrada en carga de equipos.
- d. Acumulaciones de agua: se comprobará que no se produzca acumulación de agua en canales y otros elementos que deban operar en vacío en condiciones normales.

### 6.5 **Normas para gestión del proceso.**

Para controlar el proceso es necesario establecer, en primer lugar, un sistema de recogida y organización de la información relativa a los parámetros básicos de funcionamiento del proceso y del estado de las instalaciones de la planta. A continuación, se describen las normas relativas a los informes o actividades a ejecutar, posteriormente los protocolos para operar cada uno de los procesos unitarios.

#### 6.5.1 **Documentación y partes de explotación.**

- a. Parte de análisis. Se elaborará un parte diario de análisis básico que incluya: el caudal en todos los puntos aforados de la PTAR (pretratamiento, aliviadero biológico, efluente y línea de fangos); el pH, temperatura y conductividad del agua bruta; oxígeno, potencial redox y sedimentación a los 30 minutos en reactor y datos sobre la temperatura ambiente y estado meteorológico. Durante los seis primeros meses de explotación, cada 15 días se controlará la turbidez del efluente y el contenido en patógenos. Además, se determinará la DBO<sub>5</sub>, DQO y SS con muestreo compuesto durante al menos 10 horas en los siguientes puntos: afluente PTAR, afluente reactor, afluente decantador y efluente PTAR. Asimismo, se incluirá medida del Nitrógeno y Fósforo total en el afluente y efluente de la planta. En los fangos se determinará la sequedad y concentración de sólidos, siendo las pruebas hechas sobre muestras puntuales. Los partes deberán ser revisados por el Jefe de Planta; el número de análisis y su frecuencia se ejecutará a su criterio. Todos los partes de análisis diarios deberán constar en el Parte Mensual de Explotación. A partir de los 6 primeros meses, las analíticas mencionadas serán de 1 cada 3 meses.
- b. Parte de energía. Se elaborará con carácter diario y servirá para tener un registro de los gastos de energía producidos en la planta: lectura de contadores eléctricos, energía activa, punta, valle, llano, reactiva y maxímetro.
- c. Parte de salida de residuos. Los residuos sólidos deberán evacuarse como mínimo cada 2 días en invierno y cada 3 días en verano, debiendo contabilizarse el pesaje ya sea en propia planta o en destino. La frecuencia de

extracción de lodos será al menos semanal, en función de la producción en la PTAR.

- d. Parte de consumo de agua y reactivos. Deberá registrarse a diario el agua potable consumida en la PTAR y el agua reutilizada. Por otro lado, deberá controlarse el volumen de polielectrolito y otros reactivos.
- e. Parte de laboratorio. Según los registros de consumos de reactivos, se elaborará un parte semanal para su reposición.
- f. Parte de procesos. Se elaborará a diario y en él se registrarán los caudales tratados (medio, máximo y mínimo, estos dos últimos acompañados del momento del día en que se producen), funcionamiento del pretratamiento, funcionamiento del reactor (producción de costra en superficie y cualquier otro parámetro de interés), funcionamiento del decantador secundario (vertido de agua clarificada, formación de microalgas o macroalgas en superficie y sucesos de desnitrificación), funcionamiento del sistema UV.
- g. Parte de averías. Se elaborará cuando estas tengan lugar y de no producirse, se indicará en el Parte Mensual de Explotación. En este informe de averías se recogerá cualquier falla o incidencia, identificando el elemento afectado, la fecha, la posible causa, la fecha de corrección y procedimiento llevado a cabo, así como una propuesta para evitar este problema en adelante.
- h. Parte de explotación. Mensualmente se procederá a la elaboración de un informe sobre el desempeño de la planta, en el que se recogerán todos los partes diarios elaborados y mencionados anteriormente. Deberá quedar claro en ellos el registro de caudales y analíticas, los consumos energéticos, funcionamiento de los bombeos, relación de paradas en la PTAR, partes de salida de residuos, funcionamiento de los procesos e incidencias y averías. Los informes se presentarán en los 10 primeros días del mes siguiente.
- i. Informes especiales. Cualquier suceso esporádico que no tenga cabida en ninguno de los partes mencionados se recogerá en un informe especial sobre el mismo, por ejemplo, quejas de vecinos, intromisión en la planta o robos entre otros.
- j. Libro de averías, incidencias y reparaciones. Los partes de averías e incidencias se reflejarán en un libro dispuesto para este fin. En él se anotará y se llevará al corriente los distintos elementos de la instalación, recogiendo la identificación de los elementos afectados, descripción del incidente u operación, fechas de detección y resolución, procedimiento de resolución y propuestas para evitar problemas de explotación y mantenimiento en el futuro.
- k. Libro de órdenes. Para atender a cuantas órdenes dicte la Dirección Técnica de la Entidad, existirá a su disposición un libro de órdenes foliado, firmado y sellado por dicha Dirección, contra las cuales se podrá recurrir en caso de

disconformidad. El plazo máximo de entrega de los recursos será de 48 horas, sin perjuicio del carácter ejecutivo de la decisión adoptada por la Dirección.

- l. Libro de compras. Se tendrá un registro de los pedidos realizados, indicando la fecha de pedido, cantidad, costo incurrido, nombre del suministrador, fecha del suministro y lugar de almacenamiento en las instalaciones.
- m. Inventario. Con siete (7) días, contando desde la fecha de comienzo de los servicios, se procederá a redactar un Inventario de todos los materiales, aparatos, instrumentos, dispositivos, herramientas y repuestos que existan, así como los acopios de materiales para la explotación y mantenimiento del sistema. Este inventario deberá ser validado por la Dirección Técnica de la Entidad de Saneamiento, designándose un representante por parte de la Explotación que efectuará cuantas comprobaciones estime oportunas la Entidad para la verificación de las particularidades del funcionamiento de las instalaciones.
- n. Plan de lubricación. Dentro de los treinta (30) primeros días del plazo de vigencia de la explotación, se aportará un plan de lubricación adaptado a los diferentes elementos de la instalación, en el que se reflejará los tipos de lubricantes a emplear, la frecuencia de lubricación para cada elemento.

### 6.5.2 Operaciones en los procesos unitarios de las instalaciones.

A continuación, se tabula la frecuencia de realización de cada actividad y las funciones a realizar, para cada uno de los recintos o equipos existentes en las EBAR y PTAR.

Tabla 6.1: Operaciones de procesos unitarios

ELEMENTO	FRECUENCIA	ACTIVIDADES A REALIAR
Compuerta de ingreso	1 vez al día	Comprobación del funcionamiento electromecánico. Comprobación de amperímetros de cuadro eléctrico. Niveles de engrase. Verificar el parte de procesos .
Rejas desbaste y tamizado	1 vez al día	Inspección de la colmatación. Inspección electromecánica del funcionamiento. Retirada de sólidos. Cuidado de la limpieza y aspecto exterior. Inspección del adecuado programa de Funcionamiento. Nivel de engrase. Verificar el parte de procesos. Dar cuenta del llenado del contenedor de basuras.
Bombas	1 vez al día	Limpieza y aspecto cámara de válvulas. Comprobación del funcionamiento electromecánico. Comprobación de amperímetros de cuadro eléctrico. Niveles de engrase. Verificar el parte de procesos.
	1 vez al año	Limpieza cámara de bombeo.
Aliviadero y clasificador	1 vez al día	Inspección de la colmatación. Inspección electromecánica del funcionamiento. Retiro de sólidos.

de arena		Cuidado de la limpieza y aspecto exterior. Inspección de un adecuado funcionamiento. Nivel de engrase. Verificar el parte de procesos. Llenado del contenedor de basuras.
Compuertas reguladoras de caudal	1 vez al día	Inspección visual de las partes móviles. Control de colmatación por residuos.
Desarenador	1 vez al día	Comprobación del nivel de rebose. Comprobación de la separación de grasas. Funcionamiento tornillo elevación de arenas. Inspección electromecánica del funcionamiento. Verificar el parte de procesos. Llenado del contenedor de basuras.
Aireadores desarenado y depósito de retención	1 vez al día	Inspección visual de la distribución de aire y del flujo del agua.
Concentrador de grasas	1 vez al día	Inspección electromecánica del funcionamiento. Verificar el parte de procesos Llenado del depósito
Reactor biológico y digester de lodos	1 vez al día	Comprobación corrientes cortocircuito en flujo. Control de espumas y fangos flotantes. Control de bulking. Control de oxígeno. Limpieza y aspecto exterior. Inspección y funcionamiento. Verificar el parte de procesos.
Decantador secundario	1 vez al día	Limpieza de flotantes. Comprobar la existencia de levantamiento de fangos. Comprobar si hay desnitrificación. Comprobar el funcionamiento de las purgas. Verificar el parte de procesos.
Tanque recolector de lodos	1 vez cada 2 días	Control salida sobrenadantes. Medida del nivel de fango. Verificar el parte de procesos. Limpieza de la canaleta de recogida de sobrenadantes
Deshidratador de lodos y secadores solares	1 vez por semana	Supervisión del funcionamiento electromecánico. Limpieza y aspecto exterior. Limpieza de los equipos al finalizar la operación. Maniobra de válvulas. Toma de muestras. Supervisar el buen funcionamiento. Revisar la retirada de sólidos. Nivel de engrase. Verificar el parte de procesos.
Blowers	2 veces por semana	Limpieza de la máquina. Supervisión del funcionamiento electromecánico. Nivel de engrase. Comprobación de amperímetros de cuadro eléctrico. Comprobación válvulas y filtros

## 6.6 *Mantenimiento periódico de la PTAR.*

Las labores de mantenimiento y conservación de la PTAR es contar con el funcionamiento continuo de la instalación por períodos lo más largos de posibles, y de esta manera cumplir con el objetivo básico para el cual las instalaciones han sido construidas que son: tratar las aguas en las condiciones más próximas a las de diseño, en oposición contra el desgaste, envejecimiento y deterioro de los elementos, y en condiciones económicas tales que los costos sean mínimos.

En el caso de la operación de mantenimiento, se refiere a la lucha contra las acciones destructoras que se derivan de la explotación (uso de los elementos) y en el caso de la operación de conservación, a las acciones destructoras de medio o clima.

En general los objetivos conjuntos que se persiguen con las actividades de mantenimiento y conservación son básicamente los siguientes:

- Limitar el envejecimiento del material, debido a su funcionamiento.
- Mejorar el estado del material, para su funcionamiento eficaz.
- Intervenir antes de que el costo de la reparación sea elevado.
- Eliminar o limitar los riesgos de averías en el material imprescindible para el proceso.
- Asegurar el buen estado de los servicios generales: agua, electricidad, etc.
- Disminuir el tiempo de parada por averías.
- Estandarizar al máximo todos los elementos.
- Asegurar una disminución de los costos.
- Permitir la ejecución de las reparaciones en las mejores condiciones.
- Regularizar los trabajos de mantenimiento.
- Evitar todo tipo de consumos exagerados.
- Suprimir las causas de accidentes.

### 6.6.1 *Tipos de labores de mantenimiento.*

Dentro del concepto de mantenimiento se contemplan, en líneas generales, cinco tipos: preventivo, predictivo, correctivo, modificativo y energético y medio ambiental.

**El mantenimiento preventivo**, es el llamado mantenimiento programado, con unos procedimientos perfectamente establecidos. El mantenimiento predictivo, es el que condiciona su intervención al aviso de los partes de inspección. El mantenimiento correctivo, es un mantenimiento de tipo puntual, sin unos procedimientos previos establecidos, pero sí, con una correcta práctica técnica. El mantenimiento modificativo, es el que va a la modificación de la causa no a la corrección puntual. El mantenimiento energético y medioambiental, es el que intenta reducir el consumo energético y la agresión medioambiental que se genera con el proceso.

### 6.6.2 *Mantenimiento preventivo.*

Los objetivos básicos que se persiguen con el mantenimiento preventivo son los siguientes:

- Reducir las reparaciones de emergencia, permitiendo la ejecución programada de las reparaciones en las mejores condiciones y en los momentos convenientes, lo que se redonda en una reducción de costos.
- Reducir las paradas no programadas (por avería), y su duración, limitando el envejecimiento del material y mejorando su estado.
- Disminuir posibles fallos (o bajos rendimientos en el proceso, asegurando en todo momento el buen funcionamiento de sistemas, equipos, elementos, servicios generales).
- Llevar la gestión de repuestos y almacenes, normalizando elementos, manteniendo sólo stocks necesarios, etc.
- Suprimir posibles causas de accidentes, señalando riesgos a la seguridad derivados del funcionamiento de equipos.
- Prolongar la vida útil de los equipos, reparándolos o adecuándolos, en una acción programada cuando sea necesario.
- El mantenimiento preventivo supondrá la ejecución repetida de actividades que sean de tipo genérico (a realizar sobre cualquier maquinaria o equipo) y de tipo específico (propias de cada equipo). Orientativamente se incluyen en los cuadros adjuntos las operaciones de revisión y mantenimiento principales que se considera debe englobar un Plan de Mantenimiento Preventivo.

Tabla 6.2: Plan de mantenimiento preventivo

TAREA	MECANICA	ELECTRICA	INSTRUMENT	OBRA	FRECUENCIA
Limpieza exterior de equipos	X				Diaria
Control de ruidos y vibraciones	X				Diaria
Control de nivel de aceites y grasas	X				Semanal
Lubricación	X				Semanal
Nivel de goteos	X				Semanal
Funcionamiento de boyas			X		Mensual
Tensado correas de transmisión	X				Mensual
Alineación platos acoplamiento	X				Mensual
Funcionamiento válvulas y compuertas	X				Mensual
Ajuste tornillería					Semestral
Estabilidad de bancadas		X			Anual
Comprobación automatismo de seguridad		X			Diaria
Consumos eléctricos		X			Diaria
Funcionamiento fin carreras		X			Semanal
Ventilación motores y cuadros eléctricos		X			Semanal
Comprobación de alarmas y paros de energía		X			Mensual
Funcionamiento puntos de luz		X			Semestral
Estanqueidad cajas de bornes de motores		X			Semestral

Control calentamiento de cables		X			Semestral
Comprobación aislamiento motores y líneas eléctricas		X			Anual
Comprobación tomas de tierra		X			Anual
Cambio de rodamientos, retenes, piñones y coronas	X				Mensual
Limpieza interior y exterior de cuadros		X			Mensual
Comprobación de conexiones y contactos		X			Mensual
Revisión de fusibles			X		Mensual
Repintado y reparación por defectos				X	Semestral

Como se mencionó anteriormente, los resultados de la inspección deben quedar en fichas en las que se identifique la tarea, el equipo, la operación realizada, la bitácora de averías y cambios y cualquier observación adicional necesaria.

### **6.6.3 Mantenimiento predictivo.**

Para poder detectar situaciones problemáticas antes de que se produzcan, es necesario inspeccionar sistemáticamente los elementos, con instrumentos específicos, de forma que se pueda predecir el fallo con precisión incluso para órganos de los equipos difícilmente accesibles.

Los resultados de las inspecciones deberán constar en fichas del mismo modo que se hizo para el mantenimiento preventivo, en las que se indique el detalle del control realizado:

- Inspección directa sin instrumento.
- Control de espesores y defectos del material con estroboscopio, líquidos penetrantes y fluorescentes.
- Medida de vibraciones y ruidos con ultrasonidos.
- Análisis de lubricantes con estetoscopio.

Al inicio de la explotación, un técnico especialista en mantenimiento determinará las máquinas que serán objeto de inspección, comprobándolas en funcionamiento normal y fijando los valores máximos admisibles de vibración determinados a partir de sus valores nominales.

### **6.6.4 Mantenimiento correctivo.**

Detectado el fallo, el mantenimiento correctivo busca solventar el problema sustituyendo o reparando aquellas piezas o elementos que comprometan el buen funcionamiento de los procesos.

La frecuencia de este mantenimiento dependerá de la calidad del mantenimiento preventivo realizado, cuya finalidad es evitar llegar a la falla, en el documento que

quedan registradas estas labores es en el parte de averías.

En caso de que la reparación requiera especialización o medios no disponibles se recurrirá al personal especializado. Es importante que el reflejo de los datos de estos dos partes conste en la ficha de equipos y en la ficha de actividades de forma que se realimente el Mantenimiento Preventivo.

#### **6.6.5 Mantenimiento modificativo.**

Es aquel que, realizado por personal altamente calificado, trata, mediante operaciones de cambios de diseño, mejoras, modificación de condiciones de uso, alargar la vida útil de los equipos, reducir las averías y anomalías.

Es conveniente analizar en cada caso las causas de las averías, proponiendo modificaciones en su uso o en su diseño para evitar averías futuras.

#### **6.6.6 Mantenimiento energético y medioambiental.**

Es el que trata, mediante operaciones de cambio de diseño y mejoras, optimizar el consumo energético y minimizar el impacto ambiental.

Las preocupaciones vigentes en torno a la escasez de recursos energéticos y a la protección medioambiental hacen necesario que se ponga un énfasis especial en las acciones de mantenimiento de este tipo.

#### **6.7 Características del personal de operación.**

Para la prestación del servicio de mantenimiento y explotación de la PTAR será necesario contar con el siguiente personal:

- a. **Jefe de planta o procesos.** Tendrá la formación de ingeniero técnico o similar, con experiencia mínima de 5 años en explotación de PTAR con aireación prolongada. Deberá acudir a la PTAR al menos una vez por semana, estando localizable en todo momento. Será el responsable directo del control del personal y de la operación, mantenimiento y conservación de la planta. Se estima necesaria una dedicación mínima de 5 horas a la semana.
- b. **Especialistas eléctrico y mecánico.** Será considerado como personal subcontratado a partir de una empresa especializada, no siendo por tanto parte del personal laboral de la planta.
- c. **Maestro especialista y Ayudante.** Será el responsable de mantener los equipos electromecánicos, teniendo formación especializada y experiencia mínima de 8 años. Deberán acudir a las instalaciones al menos una vez por

semana, estando localizable en todo momento. Se estima necesaria una dedicación mínima de 8 horas a la semana.

- d. **Operadores.** Encargado de las labores de operación de las instalaciones y de apoyar las tareas de mantenimiento de la planta. Se desarrollará el trabajo a jornada completa (12 horas al día, 7 días a la semana).
- e. **Albañiles y Ayudante.** Será el responsable de mantener las instalaciones interiores y exteriores de la PTAR, realizando labores de pintura, albañilería, cuidado de áreas verdes. Deberán acudir a las instalaciones al menos tres veces por semana, estando localizable en todo momento. Se estima necesaria una dedicación mínima de 8 horas a la semana

### 6.7.1 Personal base.

Tabla 6.3: Obligaciones del jefe de planta y operadores

EXPLOTACIÓN	MANTENIMIENTO
Asegurar el funcionamiento normal de las instalaciones de forma ininterrumpida mediante la distribución racional de los recursos técnicos y humanos.	Definir las directrices del mantenimiento integral óptimo
Establecer las bases operativas de los servicios de Laboratorio, Explotación, Mantenimiento y Conservación.	Establecer el equilibrio entre el Mantenimiento Preventivo y el Mantenimiento Correctivo
Establecer los límites operacionales en caso de situaciones especiales y adoptar las medidas correctoras en el proceso productivo en aquellas situaciones especiales que lo requieran.	Definir el equilibrio entre el mantenimiento Propio y Mantenimiento Externo
Modificar el proceso de tratamiento dentro de los límites establecidos para adecuarlo a las necesidades reales.	Elaboración del Plan de Actividades Semanal, Mensual y Anual, basándose en las necesidades demandadas por los fabricantes y a las propias que se deriven de la explotación, con distribución de estas para el Mantenimiento Interno y para el Mantenimiento Externo.
Preparar, acondicionar y dosificar los reactivos químicos, adecuándolos a las necesidades reales en cada momento.	Elaboración del Plan de Engrases, sobre la base de las necesidades demandadas por los fabricantes y las propias que se deriven de la explotación.
Realizar la tarea de medición de parámetros para controlar el proceso.	Control y Supervisión de los Servicios Externos contratados para efectuar Mantenimientos Preventivos Especiales
Mantener un servicio que garantice la seguridad del personal y de las instalaciones.	Estudio estadístico de las averías, con evaluación de los costos, tanto directos como indirectos.
Hacer cumplir la normativa de Seguridad y Salud, particularmente para aquellos trabajos especiales y puntuales.	Evaluar, ponderar y controlar las labores del Mantenimiento Energético y Ambiental que tienden a reducir los costos de energía globales o a reducir la contaminación sobre el entorno.

EXPLOTACIÓN	MANTENIMIENTO
Supervisar las labores de Seguridad y Salud en general.	Controlar y supervisar los servicios externos contratados para efectuar Mantenimiento Correctivo, Modificativo y Energético y Ambiental.
Supervisar y controlar las adquisiciones de materiales, o servicios exteriores, buscando su optimización	Controlar y supervisar que todas las operaciones se hicieran con la seguridad adecuada.
Comunicar y consultar con la Asistencia Técnica de La Empresa cualquier incidencia o situación anormal que se produzca fuera de los límites establecidos.	Controlar la utilidad y bondad de las operaciones del Mantenimiento Correctivo ejecutados
Emitir todo informe relativo a cualquier materia referente a las instalaciones, de manera periódica o puntual que requiera la propiedad	Evaluar, ponderar y controlar las labores del Mantenimiento Modificativo que tiendan a reducir los servicios, incrementando la disponibilidad de las instalaciones.
Definir, medir y controlar los parámetros del proceso productivo, elaborando una guía de actuaciones para corregir las derivaciones más comunes.	Verificar las operaciones del Mantenimiento de Engrase, comprobando su ejecución y periodicidad
Registrar las características de los parámetros que definen el proceso.	Controlar la calidad de las operaciones de Mantenimiento Preventivo ejecutadas
Enumerar el plan de control analítico básico necesario para el control de la explotación.	Controlar la calidad de las operaciones del Mantenimiento Preventivo ejecutados por los Servicios Externos.
Controlar la retirada de fangos.	Optimizar los equipos e instalaciones que componen la PTAR y las EBAR.
Detectar, estudiar y si es posible, eliminar los cuellos de botella de la instalación.	Modificaciones en el control eléctrico, tuberías y colectores.

Respecto al operador, sus responsabilidades se resumen en:

EXPLOTACIÓN	MANTENIMIENTO
Elaborar los partes de residuos, averías, energía y consumo de agua y reactivos y colaborar con el jefe de planta en el parte de procesos (lecturas diarias de caudal o conteo de horas de máquinas entre otros parámetros).	Elaboración y mantenimiento del fichero de equipos, engrases y operaciones de mantenimiento donde conste expresamente: Nombre del equipo, número de serie, fecha de la actividad, definición de la actividad, material fungible utilizado y tiempo utilizado (hora/hombre).
Retirar, manipular y disponer de los subproductos en perfectas condiciones higiénicas, evitando olores y contaminación.	Cambios periódicos de aceites a todas las máquinas de acuerdo con las instrucciones propias del fabricante en función de las horas previstas de funcionamiento.
Efectuar rondas periódicas de las instalaciones y equipos para detectar averías, manteniendo limpias las instalaciones e informando al oficial de las posibles incidencias.	Engrases de máquinas establecidos en los planes de engrase.
Ayudar en la conservación y mantenimiento en buen estado y correcto funcionamiento los diferentes equipos e instalaciones para asegurar unos rendimientos óptimos.	Reapriete de tornillos de anclaje y de elementos móviles y tensado de correas, comprobando su funcionamiento
Realizar tareas de limpieza, mangueros y barridos de las instalaciones, así como el riego de las zonas verdes.	Reposición y sustitución de materiales fungibles: Prensaestopas, juntas de estanqueidad, rodamientos, retenes, rodillos, bandas de cintas, etc.
Elaboración de un parte diario de operaciones	Comprobación de la estanqueidad de

realizadas en el que se incluirán las lecturas de los elementos de control de la planta, y las incidencias ocurridas.	equipos, tuberías y depósitos.
---	--------------------------------

Las tareas del oficial electromecánico se enfocarán al mantenimiento preventivo de los equipos, guiando al operario en las tareas diarias a realizar para la consecución de tal fin.

Los especialistas por su parte deberán efectuar las siguientes tareas:

- Desarrollar la campaña analítica para poder efectuar un seguimiento adecuado a situaciones puntuales y especiales.
- Ejecutar los análisis de acuerdo con la normativa vigente y a los métodos estándar.
- Elaborar los informes de laboratorio.
- Gestionar la base de datos de parámetros obtenidos.

### **6.7.2 Personal adicional.**

En alguna ocasión podría necesitarse personal especializado en la materia para resolver situaciones puntuales, a modo de asistencia técnica de la explotación. Para ello se contempla un especialista en explotación de PTAR, con formación superior y experiencia de al menos 15 años. Se estima que en la puesta en marcha pueda ser necesaria la presencia de una persona de estas características durante al menos cinco días (25 horas). Posteriormente, se considerará que sean necesarias un total de 200 horas de consulta al año.

## **7 COSTOS POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

El estudio se hará para un período típico de 25 años, euros constantes del primer año, diferenciando entre dos tipos de costos de explotación: costos fijos y costos variables. Se considerarán los costos asociados a todas las infraestructuras objeto del proyecto: PTAR, bombeos y colectores.

Para hacer el estudio económico, se tomará como caudal a considerar (para el cálculo de costos variables) el caudal nominal medio de diseño de la PTAR y las EBAR. Para las conducciones, se considerarán sólo costos fijos de mantenimiento (y por tanto independientes del caudal nominal de diseño). Al final del estudio económico, se muestra un resumen con el costo global, así como otro en forma de tabla en el que se detalla, año a año, lo siguiente:

- a. Costos fijos anuales
- b. Costos variables anuales (considerando el caudal medio nominal)
- c. Costo total anual (considerando el caudal medio nominal)
- d. Costos fijos unitarios (por m<sup>3</sup> de agua tratada y transportada)
- e. Costos variables unitarios (por m<sup>3</sup> de agua tratada y transportada)

- f. Costo total unitario (por m<sup>3</sup> de agua tratada y transportada)

### 7.1 **Determinación de los costos fijos.**

Tienen concepto de gastos fijos aquellos que son independientes del caudal tratado y que se producen sin distinción de que la planta esté en funcionamiento o parada.

#### 7.1.1 **Naturaleza y relación de costos fijos a considerar.**

Los costos fijos se dividen en:

- Gastos de personal
- Gastos de mantenimiento y limpieza
- Control de proceso (analíticas)
- Energía eléctrica (término fijo de potencia)
- Gastos generales y varios (incluyen seguros, tributos obligatorios, prevención de riesgos laborales y otros)

Los gastos de personal son aquellos imputables al costo que genera la retribución en toda su extensión (Nómina, Seguros Sociales y otros beneficios) del personal necesario para la gestión de la planta, es decir operarios, jefes de planta, oficiales o delegados, ya sea a tiempo parcial o total.

En los gastos de mantenimiento y conservación se incluyen los costos derivados de las actuaciones necesarias para el correcto funcionamiento de las instalaciones:

- a. Conservación de la obra civil: obras necesarias para la protección y limpieza de la PTAR y los colectores (limpieza de conducciones, protecciones anticorrosión, mantenimiento de firmes, estanqueidad de tuberías, etc).
- b. Conservación de equipos e instrumentación (revisión de funcionamiento, mantenimiento y repuestos):
  - Mecanismos de elevación (cuchara bivalva, bombas, soplantes y centrífuga).
  - Compuertas manuales y motorizadas.
  - Mecanismos en pretratamiento: reja de desbaste, tamiz aliviadero, tornillo de extracción de arenas, inyección de aire y vaciado de grasas
  - Mecanismos de agitación o aceleración de corriente
  - Bombas de vaciados, recirculación, purga y fangos deshidratados
  - Grupo de presión y dosificador hipoclorito
  - Dosificación de reactivos
  - Equipo preparador de polielectrolito
  - Centrífuga
  - Caudalímetro y medidores de nivel por ultrasonidos.
  - Ventiladores y elementos de la instalación de desodorización
  - Medidores de pH, temperatura, conductividad, DQO, oxígeno disuelto, potencial redox, amonio, nitratos y concentración de sólidos.
  - Instalaciones eléctricas de alumbrado y fuerza, cuadros eléctricos y variadores de frecuencia.

- Estado de funcionamiento y respuesta de los automátas
  - c. Conservación de jardinería y mantenimiento de la planta:
- Limpieza de restos en rejillas y desarenado.
- Limpieza de instalaciones (oficina, aseo, laboratorio, taller, almacén e instalación general).
- Eliminación de flotantes en los tanques.
- Jardinería: control de riego, abonado, herbicidas, cortas, podas y sustitución de plantas en caso necesario.

Se considera que los costos anuales de mantenimiento de los equipos electromecánicos aproximadamente un 0,5% de su presupuesto de ejecución material; o en su defecto de la recomendación de los fabricantes, que se detalla en la tabla 7.3. Los costos de mantenimiento de obra civil suelen situarse en el entorno del 0,2%; o lo detallado en la tabla 7.2.

Los gastos de proceso son los derivados del control de parámetros físico-químicos y biológicos, no incluyéndose las labores de registro de pH, caudal, temperatura, DQO y conductividad en agua bruta, oxígeno disuelto, potencial redox y V30 en reactor, así como concentración de sólidos en fangos, pues se determinan con la instrumentación general de la planta. Tampoco la sedimentabilidad del fango pues se incluye en las labores diarias del operario. Así pues, estos gastos son los correspondientes a:

- Control de vertido: DBO5, DQO, SS, nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrógeno total, Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y fósforo en afluente a planta, afluente a reactor y decantador, y efluente de planta, así como coliformes y turbiedad en efluente.
- Control del proceso: sequedad de fangos.

Las muestras correspondientes a los ensayos de agua serán compuestas en al menos 10 horas. Cada muestra compuesta procederá de la mezcla de un mínimo de ocho simples extraídas en períodos distribuidos uniformemente. Las muestras correspondientes a los ensayos y análisis de fangos serán simples.

La frecuencia de los análisis durante los seis primeros meses será quincenal y se realizarán sobre los 4 puntos de muestro indicados anteriormente. Posteriormente será 1 cada 3 meses. Si en algún año 4 muestras resultaran no conformes con los parámetros establecidos por la legislación ambiental, al año siguiente se tendrían que hacer analíticas 1 vez al mes y, en caso contrario, se realizaría 1 analítica cada 3 meses.

El gasto fijo en electricidad se refiere al término fijo de potencia, y se computa en función de los equipos a instalar y su gasto energético. En las tablas siguientes se adjunta una relación de los motores con las potencias instaladas asociadas y las potencias absorbidas y demandadas según las especificaciones suministradas por los fabricantes. Asimismo, se incluye el consumo energético correspondiente a las horas estimadas de funcionamiento medio de cada uno de los equipos instalados.

La tabla 7.1 presenta los costos que se generan por consumo de energía eléctrica, suponiendo que la PTAR inicie su operación en el año 2023.

Tabla 7.1: Costos por consumo de energía eléctrica

COSTO DE CONSUMO DE ENERGIA DE LOS EQUIPOS													
AÑO	AIREADOR REACTOR	AIREADOR DIGESTOR	PRETRAT	FILTROS UV	BOMBAS 01	BOMBAS 02	BOMBAS 03	BOMBAS 04	DESHID	CLARFIC	SECADOR SOLAR	OTROS EQUIPOS	C. TOTAL (USD)
2023	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2024	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2025	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2026	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2027	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2028	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2029	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2030	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2031	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2032	1.345,66	218,29	29,61	65,31	55,36	12,10	8,06	1,15	11,73	15,21	36,82	20,48	664.221
2033	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	15,21	36,82	20,48	799.946
2034	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	15,21	36,82	20,48	799.946
2035	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	15,21	36,82	20,48	799.946
2036	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	15,21	36,82	20,48	799.946
2037	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	18,59	45,69	20,48	804.417
2038	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	18,59	45,69	20,48	804.417
2039	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	18,59	45,69	20,48	804.417
2040	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	18,59	45,69	20,48	804.417
2041	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	18,59	45,69	20,48	804.417
2042	1.642,82	267,17	35,59	65,31	68,35	14,69	9,80	1,29	14,10	18,59	45,69	20,48	804.417

La tabla 7.2 presenta los costos del personal de operación y mantenimiento requerido para el normal funcionamiento del sistema de tratamiento.

Tabla 7.2: Costos del personal de operación y mantenimiento

<b>COSTO DE PERSONAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>				
<b>EQUIPO</b>	<b>UNIDAD (u)</b>	<b>TIEMPO (mes)</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Ingeniero o Químico Jefe de Planta	1,00	12,00	2.000,00	24.000,00
Ingeniero Eléctrico	1,00	3,00	1.800,00	5.400,00
Ingeniero Mecánico	1,00	3,00	1.800,00	5.400,00
Operador de planta	3,00	12,00	1.500,00	54.000,00
Maestro especialista	3,00	3,00	650,00	5.850,00
Ayudante de especialista	3,00	3,00	570,00	5.130,00
Albañil	3,00	3,00	570,00	5.130,00
Ayudante de albañil	3,00	3,00	560,00	5.040,00
Chofer	1,00	12,00	820,00	9.840,00
Guardia	2,00	12,00	560,00	13.440,00
<b>COSTO ANUAL DE PERSONAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>				<b>133.230,00</b>
<b>COSTO DIARIO DE PERSONAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>				<b>365,01</b>

La tabla 7.3 presenta los costos del mantenimiento requerido para los diferentes equipos que serán instalados en la PTR.

Tabla 7.3: Costos del mantenimiento de equipos

<b>COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>				
<b>EQUIPO</b>	<b>UNIDAD (u)</b>	<b>No./AÑO (u)</b>	<b>COSTO</b>	
			<b>UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Motores pretratamiento (3 a 5 HP)	23,00	1,00	200,00	4.600,00
Motores clarificador (3 a 5 HP)	3,00	1,00	200,00	600,00
Mantenimiento de motores de 50 HP	28,00	2,00	500,00	28.000,00
Mantenimiento de bombas de 30 HP	6,00	2,00	350,00	4.200,00
Mantenimiento de bombas de 5 HP	12,00	2,00	150,00	3.600,00
Equipos de rayos UV	6,00	2,00	1.000,00	12.000,00
Deshidratador de lodos RO S3	1,00	1,00	10.500,00	10.500,00
Polimero para deshidratador	1,00	1,00	220.168,00	220.168,00
Areas externas	1,00	2,00	3.500,00	7.000,00
Edificaciones y laboratorios	1,00	2,00	3.500,00	7.000,00
Tableros eléctricos	20,00	2,00	450,00	18.000,00
Vehículo para transporte de personal	1,00	12,00	385,00	4.620,00
Herramientas para mantenimiento	4,00	1,00	750,00	3.000,00
<b>COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO AÑO 2033-2042</b>				<b>323.288,00</b>
<b>COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO AÑO 2023-2032</b>				<b>215.525,00</b>

Debido a que los equipos son nuevos de fábrica, los primeros 5 años necesitan mantenimiento mínimo, razón por la cual se estable que el costo del mantenimiento de la primera etapa, es decir el periodo 2023-2032, será las 2/3 partes del costo total, que es de 323.288.

La tabla 7.4 presenta el costo total por efectos de operación y mantenimiento, en cambio la tabla 7.5 presenta el valor de la tarifa marginal financiera propuesta por m<sup>3</sup> de agua tratada.

Tabla 7.4: Total de costos anuales

TOTAL COSTOS ANUALES				
AÑO	ENERGÍA (USD/AÑO)	MANO DE OBRA (USD/AÑO)	MANTENIMIENTO (USD/AÑO)	TOTAL (USD/AÑO)
2023	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2024	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2025	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2026	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2027	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2028	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2029	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2030	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2031	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2032	664.220,83	133.230	215.525	1.012.975,83
2033	799.946,08	133.230	323.288	1.256.464,08
2034	799.946,08	133.230	323.288	1.256.464,08
2035	799.946,08	133.230	323.288	1.256.464,08
2036	799.946,08	133.230	323.288	1.256.464,08
2037	804.417,33	133.230	323.288	1.260.935,33
2038	804.417,33	133.230	323.288	1.260.935,33
2039	804.417,33	133.230	323.288	1.260.935,33
2040	804.417,33	133.230	323.288	1.260.935,33
2041	804.417,33	133.230	323.288	1.260.935,33
2042	804.417,33	133.230	323.288	1.260.935,33

Tabla 7.5: Tarifa marginal financiera

<b>ESTIMACION DE TARIFA MARGINALE FINANCIERA</b>					
<b>AÑOS</b>	<b>INVERSION</b>	<b>GASTOS OPERATIVOS</b>	<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>VOL. ANUAL AGUA (miles m3)</b>	<b>PREDIOS</b>
2.022					
2.023	7.333.333	1.012.976	8.346.309	12.513.485	51.508
2.024	7.333.333	1.012.976	8.346.309	12.725.091	52.379
2.025	7.333.333	1.012.976	8.346.309	12.943.005	53.275
2.026		1.012.976	1.012.976	13.905.168	57.237
2.027		1.012.976	1.012.976	14.150.203	58.245
2.028	650.000	1.012.976	1.662.976	14.385.146	59.212
2.029		1.012.976	1.012.976	14.629.866	60.219
2.030		1.012.976	1.012.976	14.875.847	61.231
2.031		1.012.976	1.012.976	15.145.479	62.341
2.032		1.012.976	1.012.976	15.384.838	63.327
2.033	650.000	1.256.464	1.906.464	15.656.678	64.446
2.034		1.256.464	1.256.464	15.832.018	65.168
2.035		1.256.464	1.256.464	16.127.195	66.383
2.036		1.256.464	1.256.464	16.374.753	67.402
2.037		1.260.935	1.260.935	16.621.049	68.415
2.038	650.000	1.260.935	1.910.935	16.861.353	69.404
2.039		1.260.935	1.260.935	17.096.927	70.374
2.040		1.260.935	1.260.935	17.331.555	71.340
2.041		1.260.935	1.260.935	17.566.498	72.307
2.042		1.260.935	1.260.935	17.802.072	73.277
<b>VP 6%</b>	<b>20.658.594</b>	<b>12.629.174</b>	<b>33.287.768</b>	<b>170.615.163</b>	<b>702.282</b>
TARIFA m3 (Operación y mantenimiento)					<b>0,074</b>
CONTRIBUCIÓN DE MEJORAS USD año					<b>29,42</b>
CONTRIBUCIÓN DE MEJORAS USD mes					<b>2,45</b>
<b>SIMULACION PARA 15 AÑOS</b>					
<b>VP 6%</b>	<b>20.658.594</b>	<b>12.629.174</b>	<b>33.287.768</b>	<b>170.615.163</b>	<b>577.087</b>
TARIFA m3 (Operación y mantenimiento)					<b>0,074</b>
CONTRIBUCIÓN DE MEJORAS USD año					<b>35,80</b>
CONTRIBUCIÓN DE MEJORAS USD mes					<b>2,98</b>
<b>Incidencia en el ingreso familiar promedio</b>					
a)	<b>4,30</b>	DOLARES POR 25 m3			
b)	500	INGRESO PROMEDIO MENSUAL			
c)	0,86%	a / b			

Fuente: Presupuestos de inversión abril de 2022

Grupo consultor : Análisis Institucional/Proyecciones demográficas

Elaboración: EQUIPO CONSULTOR