

3.5.1.2.Procedimiento:

Para la toma de datos, previamente se realizó el vestido con los implementos de protección personal, como son el mameluco, los guantes de jebe, las botas de jebe, la mascarilla, una vez finalizada se procedió a la verificación de los 10 frascos (08 frascos de plástico, 02 frasco de vidrio), los conservantes tanto el ácido sulfúrico, así como también el hielo y la nevera portátil; que no presenten fisuras o alguna clase de deterioro. Inmediatamente se fue al punto donde la red de alcantarillado ingresa a la planta de tratamiento para tomar las muestras. Los frascos usados para las pruebas de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, Sólidos Totales en Suspensión fueron empaquetadas en 3 frascos de plástico, estos frascos fueron llenados, para la muestra de aceites y grasas se vertió 2 gotas de ácido sulfúrico en el recipiente de plástico marrón y se procedió con el llenado de aguas residual. Para la prueba de coliformes totales se utilizó el frasco de vidrio en el cual se le añadió dos gotas de ácido sulfúrico, antes de echar la muestra de agua residual, estas muestras fueron del ingreso a la planta de Tratamiento. Una vez llenado el último frasco, estos fueron colocados dentro de la nevera portátil y se puso los paquetes de hielo encima y en sus lados, esto tiene la función de conservar la muestra sin alteraciones drásticas. Después se procedió ir al punto de salida para realizar el mismo procedimiento con los otros 5 frascos. Además, las muestras debían ser entregadas al laboratorio en una cadena de custodia en un plazo menor a las 24 horas. Este procedimiento de trabajo se realizó en la planta de Tratamiento de Huacoto, así como también en la planta de tratamiento de Saylla. Además, se tomaron los periodos de retención por estructuras en los sistemas de tratamiento de Saylla y Huacoto para la obtención de las muestras de salida.



Figura 24: Toma de muestras de la planta de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 25: Colocado de conservante en muestras en planta de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 26: Verificación de frascos en la planta de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 27: Toma de muestra de la planta de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.5.2. Medición de caudal:

3.5.2.1. Equipos:

- ✓ Balde de un galón
- ✓ Cinta métrica (wincha)
- ✓ Cronómetro
- ✓ Pelota de ping pong

3.5.2.2. Procedimiento:

Para la medición de caudal fue necesario la utilización de los implementos de seguridad como las mascarillas, y guantes quirúrgicos.

Para la medición de caudal en la planta de Huacoto, una vez colocado los implementos de seguridad se procedió a la utilización de un balde con capacidad de un galón, el cronómetro para la cuantificación del tiempo. El procedimiento estuvo basado en la división de un volumen conocido entre el tiempo en que el líquido alcanza dicho volumen; en este procedimiento fue colocado el balde en la tubería que ingresa a la planta de tratamiento y se iniciaba la medición del tiempo con el cronómetro, una vez alcanzado el volumen se paraba el cronómetro y era

anotado el tiempo de llenado del balde; una vez finalizado se procedió a la cuantificación del caudal de ingreso. La cuantificación del caudal de ingreso para esta planta de tratamiento fue en horas de mayor actividad, que comprende horas de la mañana, mediodía y noche, cuando los pobladores hacen mayor uso de esta, debido a que la planta de tratamiento trata aguas residuales de un centro poblado de clasificación rural.

Para la medición del caudal en la planta de Saylla, debido a que el volumen de salida de la planta es alto, se utilizó una pelota de pingpong, una cinta métrica y un cronómetro. El procedimiento estuvo basado en la multiplicación del área por la velocidad del fluido, esta prueba inició con la medición del área del canal de ingreso a la planta, para así determinar el área, así como también se puso marcas con respecto a la distancia horizontal de 2 metros, en el cual fue soltada la pelota de ping pong y se cuantifico el tiempo en que la pelota recorre la distancia de un metro. Para esta cuantificación del caudal de ingreso para esta planta de tratamiento fue también en horas de mayor actividad la cual fue en la mañana, mediodía, noche; cuando los pobladores hacen uso en actividades de comercio, industria o finalizan con sus actividades, y se produce mayor actividad de limpieza. Esta planta puede estar considerada dentro de una clasificación urbana.



Figura 28: Medición del caudal en la planta de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 29: Medición del caudal en la planta de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.5.3. Recolección de dimensiones de estructuras:

3.5.3.1. Equipos:

- ✓ Cinta métrica (wincha)
- ✓ Nivel de ingeniero
- ✓ Trípode y mira metálica.

3.5.3.2. Procedimiento:

Para la recolección de datos sobre las dimensiones de las estructuras, es necesario el uso de la wincha métrica y nivel de ingeniero. Los datos que fueron recolectados son de largo, ancho y profundidad de las estructuras de tratamiento, el cual se tomó con la wincha métrica. En cuanto a los niveles de cada estructura hidráulica existente y nivel de fondo, se utilizó el nivel de ingeniero tomando como punto de inicio el punto de ingreso del agua residual a la planta de tratamiento, se midió en cada vértice o quiebre del flujo normal del agua residual, así como también el ingreso y salida para cada estructura.

Este mismo procedimiento se utilizó para cada planta de tratamiento de agua residual.



Figura 30: Niveles de estructuras en la planta de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 31: Medición de longitudes en la planta de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 32: Niveles de estructuras en la planta de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 33: Medición de ancho de estructura en la planta de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como altura de referencia en el caso de la Planta de Tratamiento de Saylla fue 3132 m.s.n.m. y en el caso de Huacoto fue de 4003 m.s.n.m.

3.5.4. Recolección de datos metereológicos:

3.5.4.1. Equipos:

- ✓ Medidor de temperatura ambiente y fluido
- ✓ Guantes quirúrgicos

3.5.4.2. Procedimiento:

Para la recolección de datos fue necesario el uso de guantes quirúrgicos para evitar el contacto del agua residual con la piel. Inmediatamente después se usó el medidor de temperatura ambiente y de fluido en el punto de ingreso de agua residual a la planta de tratamiento y pusimos la punta del aparato dentro del agua residual y lo sumergimos a 0.10 metros de la superficie, esta tomó los datos de temperatura dentro del agua residual, mientras que el aparato en el exterior midió la temperatura ambiente en la planta la cual estaba tratando las aguas residuales. Este procedimiento se reprodujo tanto para la planta de tratamiento de aguas residuales de Huacoto y de Saylla en la margen derecha.

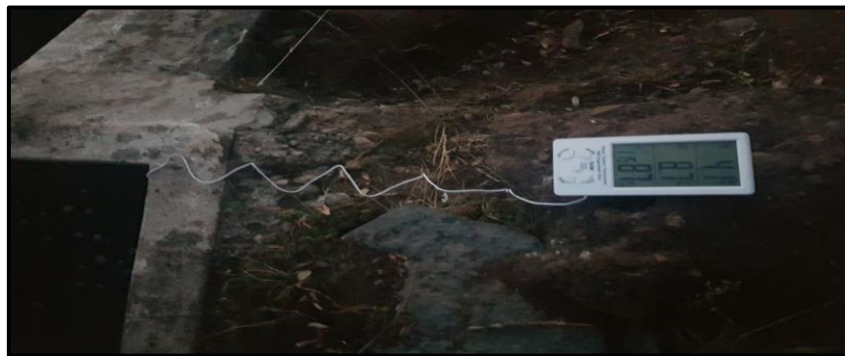


Figura 34: Medición de temperaturas en la planta de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 35: Medición de temperaturas en la planta de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.6. Procedimiento de análisis de datos:

3.6.1. Análisis de la calidad del agua residual pre y post tratamiento:

Las muestras obtenidas en campo, fueron transportadas adjuntando al laboratorio, Luis Pasteur de la ciudad de Cusco donde se obtuvieron los resultados tanto para el ingreso y salida de cada sistema de tratamiento:

3.6.1.1. Sistema de tratamiento de Huacoto:

Para el análisis de datos primero se obtuvieron las muestras mediante una cadena de custodia la cual fue tomada el día 19 de julio del 2018 a las horas indicadas en la siguiente tabla:



Tabla 15: Cadena de custodia de muestras del sistema de tratamiento de Huacoto

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUACOTO				
TESISTA:	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO		Fecha: 19/07/2018	
LUGAR:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			
MUESTRAS OBTENIDAS PARA:			LABORATORIO LUIS PASTEUR	
Código	Fecha de toma de muestra	Hora	Volumen (ml)	Tipo de muestra
Frasco de vidrio entrada 001	19/07/2018	13:50	1000	Análisis microbiológico
Frasco de polietileno entrada 001	19/07/2018	13:53	500	DBO ₅
Frasco de polietileno entrada 001	19/07/2018	13:55	250	DQO
Frasco de polietileno entrada 001	19/07/2018	13:57	1000	Sólidos en suspensión
Frasco de polietileno entrada 001	19/07/2018	13:58	250	Aceites y grasas
Frasco de vidrio salida 001	19/07/2018	14:00	1000	Análisis microbiológico
Frasco de polietileno salida 001	19/07/2018	14:03	500	DBO ₅
Frasco de polietileno salida 001	19/07/2018	14:05	250	DQO
Frasco de polietileno salida 001	19/07/2018	14:08	1000	Sólidos en suspensión
Frasco de polietileno salida 001	19/07/2018	14:10	250	Aceites y grasas

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Una vez entregadas las muestras se esperó por los resultados durante 7 días calendarios para los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16: Datos de los parámetros físico, químico, bacteriológico del sistema de Huacoto

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
UAC		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUACOTO					
TESISTA:	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO				
LUGAR:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
FECHA:	19/07/2018				
Fecha de toma de muestra	Ensayo (s)	Unidad	Resultado (s) Ingreso a Sistema	Resultado (s) Salida de Sistema	
19/07/2018	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	$2,2 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	
19/07/2018	DBO ₅	mg/L	28,96	25,98	
19/07/2018	DQO	mg/L	51,72	48,48	
19/07/2018	Sólidos totales en suspensión	mg/L	6,00	7,00	
19/07/2018	Aceites y grasas	mg/L	2,50	0,60	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De los resultados obtenidos calculamos la eficiencia según la ecuación 1 presentada dentro del marco teórico:

Para los coliformes fecales:

$$\eta = \frac{F_Z - F_A}{F_Z} \times 100$$
$$\eta = \frac{2,2 \times 10^5 - 2,2 \times 10^5}{2,2 \times 10^5} \times 100$$
$$\eta = 0\%$$

Para la demanda bioquímica de oxígeno:

$$\eta = \frac{28,96 - 25,98}{28,96} \times 100$$
$$\eta = 10,29\%$$

Para la demanda química de oxígeno:

$$\eta = \frac{51,72 - 48,48}{51,72} \times 100$$
$$\eta = 6,26\%$$

Para sólidos totales en suspensión:

$$\eta = \frac{6 - 7}{6} \times 100$$

$$\eta = -16.67\%$$

Para aceites y grasas:

$$\eta = \frac{2.50 - 0.60}{2.50} \times 100$$

$$\eta = 76.00\%$$

De los siguientes resultados se puede obtener la siguiente tabla:

Tabla 17: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento Huacoto.

Ensayo (s)	Unidad	Resultado (s) Ingreso a Sistema	Resultado (s) Salida de Sistema	Eficiencia
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2.20E+05	2.20E+05	0.00%
DBO ₅	mg/L	28.96	25.98	10.29%
DQO	mg/L	51.72	48.48	6.26%
Sólidos totales en suspensión	mg/L	6.00	7.00	-16.67%
Aceites y grasas	mg/L	2.50	0.60	76.00%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Del análisis de datos se puede apreciar que la eficiencia en la remoción de coliformes es nula, además que existe incremento a la salida de los sólidos totales suspendidos lo cual genera una eficiencia negativa, esto quiere decir que se incrementan los sólidos suspendidos; esto puede ser por el incremento de la población bacteriana que durante la prueba en laboratorio no lo discretiza como sólidos en suspensión o coloidales. No presenta erosión en la escalera de oxigenación, por lo cual este incremento no corresponde a material sedimentable proveniente de la estructura.

Según los parámetros medidos en comparación a los límites máximos permisibles la eficiencia es muy reducida a excepción de la remoción e aceites y grasas que supera el 75%.

3.6.1.2. Sistema de tratamiento de Saylla:



De igual manera primero se llevaron las muestras que fueron tomadas el día 24 de julio del 2018 en horas de la noche donde el uso de limpieza de utensilios y limpieza de locales comerciales, así como el uso doméstico del agua potable es mayor.

Tabla 18: Cadena de custodia de muestras del sistema de tratamiento de Saylla

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SAYLLA				
TESISTA:	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO		Fecha: 24/07/2018	
LUGAR:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			
MUESTRAS OBTENIDAS PARA:	LABORATORIO LUIS PASTEUR			
Código	Fecha de toma de muestra	Hora	Volumen (ml)	Tipo de muestra
Frasco de vidrio entrada 001	24/07/2018	19:00	1000	Análisis microbiológico
Frasco de polietileno entrada 001	24/07/2018	19:03	500	DBO ₅
Frasco de polietileno entrada 001	24/07/2018	19:05	250	DQO
Frasco de polietileno entrada 001	24/07/2018	19:08	1000	Sólidos en suspensión
Frasco de polietileno entrada 001	24/07/2018	19:11	250	Aceites y grasas
Frasco de vidrio salida 001	24/07/2018	21:10	1000	Análisis microbiológico
Frasco de polietileno salida 001	24/07/2018	21:12	500	DBO ₅
Frasco de polietileno salida 001	24/07/2018	21:15	250	DQO
Frasco de polietileno salida 001	24/07/2018	21:17	1000	Sólidos en suspensión
Frasco de polietileno salida 001	24/07/2018	21:20	250	Aceites y grasas

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Tabla 19: Datos de los parámetros físico, químico, bacteriológico del sistema de Saylla

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SAYLLA				
TESISTA:	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO			
LUGAR:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			
FECHA:	24/07/2018			
Fecha de toma de muestra	Ensayo (s)	Unidad	Resultado (s) Ingreso a Sistema	Resultado (s) Salida de Sistema
24/07/2018	Coliformes Totales	NMP/100 ml	5,4x10 ⁷	1,6x10 ⁷
24/07/2018	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2,2x10 ⁶	1,7x10 ⁶
24/07/2018	DBO ₅	mg/L	131.78	53.64
24/07/2018	DQO	mg/L	303.84	87.27
24/07/2018	Sólidos totales en suspensión	mg/L	109.50	33.85
24/07/2018	Aceites y grasas	mg/L	13.60	6.20

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Después de la obtención de los resultados seguimos con el cálculo de la eficiencia para cada parámetro según la fórmula 1, de la siguiente manera:

Para los coliformes totales:

$$\eta = \frac{F_Z - F_A}{F_Z} \times 100$$
$$\eta = \frac{5.4 \times 10^7 - 1.6 \times 10^7}{5.4 \times 10^7} \times 100$$
$$\eta = 70.37\%$$

Para los coliformes fecales:

$$\eta = \frac{2.2 \times 10^6 - 1.7 \times 10^6}{2.2 \times 10^6} \times 100$$
$$\eta = 22.73\%$$

Para la demanda bioquímica de oxígeno:

$$\eta = \frac{131.78 - 53.64}{131.78} \times 100$$
$$\eta = 59.30\%$$

Para la demanda química de oxígeno:

$$\eta = \frac{303.84 - 87.27}{303.84} \times 100$$

$$\eta = 71.28\%$$

Para sólidos totales en suspensión:

$$\eta = \frac{109.50 - 33.85}{109.50} \times 100$$
$$\eta = 69.09\%$$

Para aceites y grasas:

$$\eta = \frac{13.60 - 6.20}{13.60} \times 100$$
$$\eta = 54.41\%$$

De los resultados del cálculo de eficiencia se desprende la siguiente tabla:

Tabla 20: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento Saylla.

Ensayo (s)	Unidad	Resultado (s) Ingreso a Sistema	Resultado (s) Salida de Sistema	Eficiencia
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5.40E+07	1.60E+07	70.37%
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2.20E+06	1.70E+06	22.73%
DBO ₅	mg/L	131.78	53.64	59.30%
DQO	mg/L	303.84	87.27	71.28%
Sólidos totales en suspensión	mg/L	109.50	33.85	69.09%
Aceites y grasas	mg/L	13.60	6.20	54.41%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La eficiencia en la remoción de los parámetros establecidos dentro de los límites máximos permisibles supera al 50 % a excepción de los coliformes fecales que alcanza un 22.73%.

3.6.2. Análisis de variaciones de caudal:

Para el análisis de variaciones de caudal se escogió un día a elección del investigador, este se realizó durante el día de mayor actividad doméstica y comercial en el área de estudio. Los datos fueron obtenidos por muestreo simple para cada planta de tratamiento, y se seleccionó horas de la mañana, mediodía y noche.

3.6.2.1. Sistema de tratamiento de Huacoto:

Los datos para la obtención del caudal en la planta de tratamiento de aguas residuales correspondiente a Huacoto fue determinado mediante la relación de volumen por unidad de tiempo. Además, para escoger el valor de tiempo adecuado se utilizó la mediana de los datos

como medida estadística, la cual nos da el valor medio del grupo de datos, mas no el valor promedio; porque en el caso de analizar el caudal con el valor promedio, esto casi nunca representa el caudal real en una medición. Estos datos se cuantificaron obteniendo valores de caudal mínimos, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 21: Datos de la variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Huacoto



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUACOTO

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FECHA: 21/07/2018

Hora	Volumen (gln)	Volumen (lts)	Tiempo (seg)					CAUDAL (lt/seg)
			t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	
05:40 a.m.	1.00	3.79	30.10	29.45	30.32	29.55	30.25	0.1258
05:50 a.m.	1.00	3.79	32.21	32.18	32.18	33.05	33.10	0.1175
06:00 a.m.	1.00	3.79	33.10	34.20	33.42	29.10	33.12	0.1143
06:10 a.m.	1.00	3.79	34.10	32.33	33.02	32.42	32.16	0.1168
06:20 a.m.	1.00	3.79	30.18	30.62	30.45	32.05	30.93	0.1236
06:30 a.m.	1.00	3.79	29.85	29.15	31.02	29.20	30.03	0.1268
06:40 a.m.	1.00	3.79	28.48	28.55	28.35	27.12	28.01	0.1335
06:50 a.m.	1.00	3.79	28.41	28.37	28.36	28.19	28.76	0.1334
07:00 a.m.	1.00	3.79	28.40	28.35	28.64	28.60	27.99	0.1333
07:10 a.m.	1.00	3.79	29.12	28.12	28.17	28.40	28.63	0.1333
07:20 a.m.	1.00	3.79	28.13	29.03	28.19	28.42	28.76	0.1332
07:30 a.m.	1.00	3.79	27.79	28.36	28.67	28.05	28.13	0.1346
07:40 a.m.	1.00	3.79	28.06	28.13	27.87	29.01	28.11	0.1347
07:50 a.m.	1.00	3.79	28.10	28.35	28.44	28.02	28.23	0.1341
08:00 a.m.	1.00	3.79	28.49	29.30	28.77	28.64	28.94	0.1316
08:10 a.m.	1.00	3.79	29.40	29.09	29.38	29.14	29.49	0.1288
08:20 a.m.	1.00	3.79	29.45	29.32	29.40	29.63	30.14	0.1285
08:30 a.m.	1.00	3.79	30.11	29.78	29.84	29.91	29.02	0.1269
08:40 a.m.	1.00	3.79	29.91	30.24	29.83	29.97	29.41	0.1266
08:50 a.m.	1.00	3.79	30.16	30.49	30.19	30.28	30.61	0.1250
09:00 a.m.	1.00	3.79	30.28	30.63	30.56	31.10	30.42	0.1239



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUACOTO

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FECHA: 21/07/2018

Hora	Volumen (gln)	Volumen (lts)	Tiempo (seg)					CAUDAL (lt/seg)
			t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	
12:00 p.m.	1.00	3.79	30.24	30.75	31.05	30.67	30.33	0.1234
12:10 p.m.	1.00	3.79	31.49	31.66	31.42	31.89	31.26	0.1202
12:20 p.m.	1.00	3.79	32.05	31.40	31.63	31.48	32.03	0.1197
12:30 p.m.	1.00	3.79	32.15	31.25	31.66	31.47	31.94	0.1196
12:40 p.m.	1.00	3.79	31.85	31.96	31.73	31.76	31.49	0.1192
12:50 p.m.	1.00	3.79	32.41	32.26	32.94	33.03	32.64	0.1160
01:00 p.m.	1.00	3.79	32.80	33.39	33.15	33.15	32.28	0.1142
01:10 p.m.	1.00	3.79	31.20	33.13	32.30	32.18	33.10	0.1172
01:20 p.m.	1.00	3.79	31.21	30.57	29.79	32.25	32.62	0.1213
01:30 p.m.	1.00	3.79	31.52	30.42	30.43	31.39	32.62	0.1206
01:40 p.m.	1.00	3.79	33.67	32.47	33.78	33.04	33.64	0.1125
01:50 p.m.	1.00	3.79	34.15	34.34	32.71	34.51	35.10	0.1102
02:00 p.m.	1.00	3.79	34.36	34.25	34.90	34.60	34.88	0.1094
05:40 p.m.	1.00	3.79	34.70	34.42	34.11	34.04	34.82	0.1100
05:50 p.m.	1.00	3.79	34.60	34.27	34.22	34.25	33.94	0.1105
06:00 p.m.	1.00	3.79	33.91	34.77	34.22	34.90	35.40	0.1089
06:10 p.m.	1.00	3.79	34.83	35.77	35.29	35.78	35.51	0.1066
06:20 p.m.	1.00	3.79	38.07	36.31	39.14	37.85	38.05	0.0995
06:30 p.m.	1.00	3.79	33.79	33.49	33.36	33.93	32.52	0.1130
06:40 p.m.	1.00	3.79	35.40	36.41	35.20	35.66	35.95	0.1062
06:50 p.m.	1.00	3.79	37.55	38.21	38.35	37.38	38.42	0.0991
07:00 p.m.	1.00	3.79	37.27	38.47	37.50	37.20	33.08	0.1016
07:10 p.m.	1.00	3.79	35.12	34.14	35.90	35.67	35.96	0.1061
07:20 p.m.	1.00	3.79	32.70	33.02	32.35	31.15	32.50	0.1165
07:30 p.m.	1.00	3.79	33.29	32.91	35.46	32.48	35.37	0.1137
07:40 p.m.	1.00	3.79	32.19	33.42	33.18	33.49	33.64	0.1133



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUACOTO

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FECHA: 21/07/2018

Hora	Volumen (gln)	Volumen (lts)	Tiempo (seg)					CAUDAL (lt/seg)
			t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	
07:50 p.m.	1.00	3.79	34.59	34.15	33.75	33.96	33.94	0.1115
08:00 p.m.	1.00	3.79	33.18	33.64	33.87	33.93	31.49	0.1125

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La gráfica de la variación horaria del caudal que ingresa a la planta se muestra a continuación:

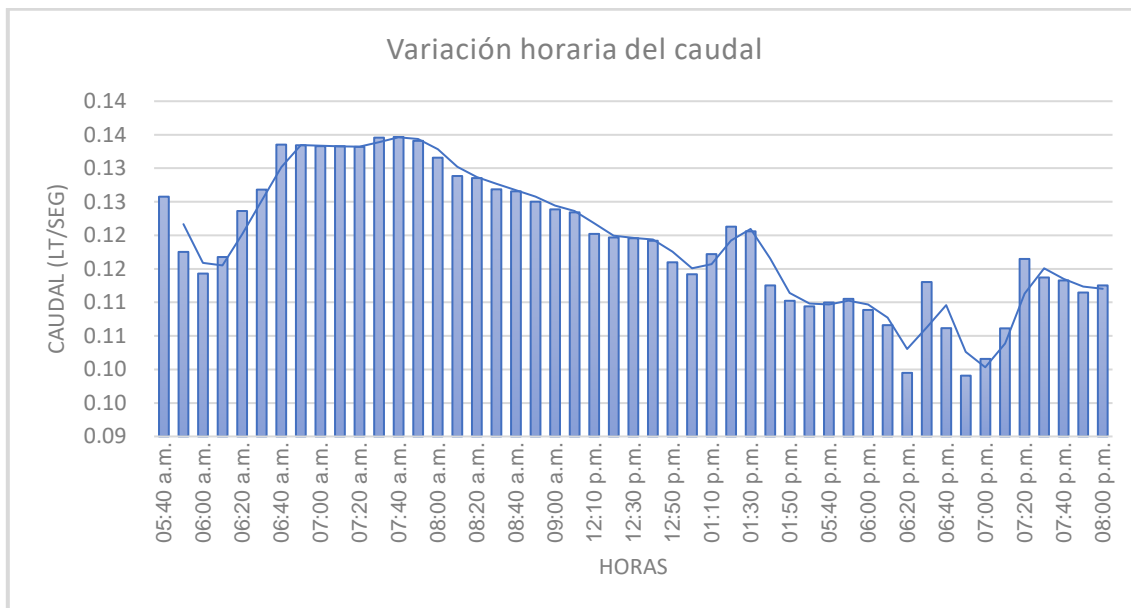


Figura 36: Curva de variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La determinación teórica del caudal generado para este año es necesaria para cuantificar si es correcta la estimación para su diseño hidráulico; este caudal debe estar cerca del obtenido durante las mediciones en campo. El procedimiento se detalla a continuación:

**Cálculo de caudal teórico de Huacoto:****a) Cálculo de población futura:**

Según el censo del INEI 2017, para la población de Huacoto:

Varones	:	95
Mujeres	:	106
Población 2017	:	201
Tasa de crecimiento	:	1.05%

Cálculo de la población futura en el 2018:

✓ Método Aritmético:

Ecuación 2: Población futura por método aritmético

$$P_f = P_0 + r(t - t_0)$$

Donde:

P_f	:	Población futura.
P_0	:	Población inicial.
r	:	Tasa de crecimiento poblacional
t	:	Tiempo final.
t_0	:	Tiempo inicial.

Entonces:

$$P_f = 201 + 0.0105(1)$$

$$P_f = 201.01 \text{ hab}$$

$$P_f = 201 \text{ hab}$$

✓ Método Geométrico:

Ecuación 3: Población futura por método geométrico

$$P_f = P_0(1 + r)^t$$

Donde:

P_f	:	Población futura.
P_0	:	Población inicial.
r	:	Tasa de crecimiento poblacional
t	:	Variación de tiempo final menos tiempo inicial.

Entonces:

$$P_f = 201(1 + 0.0105)^1$$

$$P_f = 203.11 \text{ hab}$$



$$P_f = 203 \text{ hab}$$

- ✓ Método Organización Mundial de la Salud:

Ecuación 4: Población futura por método de la OMS.

$$P_f = P_0 \left(\frac{100 + P}{100} \right)^t$$

Donde:

- P_f : Población futura.
 P_0 : Población inicial.
 P : Tasa de crecimiento poblacional
 t : Variación de tiempo final menos tiempo inicial.

Entonces:

$$P_f = 201 \left(\frac{100 + 1.05}{100} \right)^1$$

$$P_f = 203.11 \text{ hab}$$

$$P_f = 203 \text{ hab}$$

- ✓ Método de interés simple:

Ecuación 5: Población futura por método de interés simple

$$P_f = P_0 [1 + r(t - t_0)]$$

Donde:

- P_f : Población futura.
 P_0 : Población inicial.
 r : Tasa de crecimiento poblacional
 t : Tiempo final.
 t_0 : Tiempo inicial.

Entonces:

$$P_f = 201 [1 + 0.0105(1)]$$

$$P_f = 203.11 \text{ hab}$$

$$P_f = 203 \text{ hab}$$

Del cálculo se obtiene el siguiente cuadro:

Tabla 22: Resultados de cálculo de población futura.

Ecuación de cálculo	Población futura para el 2018
Método aritmético	201 habitantes
Método geométrico	203 habitantes
Método de la OMS	203 habitantes
Método de interés simple	203 habitantes

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

b) Cálculo de caudal mínimo, medio, pico:

Dentro de la norma técnica peruana para ser más preciso en la norma OS.100 consideraciones básicas de diseño e infraestructura sanitaria; indica que si no se comprueba la existencia de estudios de consumo y no se justificara su ejecución que para nuestro caso no es analizar la dotación para estos sectores; se considerará por lo menos para sistemas de conexiones domiciliarias de 180 l/hab/día en clima frío y de 220 l/hab/día en clima cálido templado y cálido. Por consiguiente, para el cálculo de caudal se usará la dotación de 180 l/hab/día y de la tabla 22 para una población futura de 203 habitantes.

- ✓ Se calcula el caudal promedio, con la siguiente ecuación:

Ecuación 6: Caudal Promedio

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{86400}$$

Entonces:

$$Q_p = \frac{203 \text{ hab} \times 180 \frac{\text{lt}}{\text{hab}} / \text{día}}{86400}$$

$$Q_p = 0.4229 \text{ lt/seg}$$

- a) Para calcular el caudal de agua residual por aporte doméstico se cuantificará a través del caudal máximo diario mediante la ecuación 7, luego será multiplicado por un coeficiente de retorno. Debido a que el caudal máximo diario es para una población menor a 20000 habitantes el coeficiente usado es de 1.8. Una vez obtenido el resultado del caudal máximo diario este debe ser multiplicado por un coeficiente de retorno que 0.80 a criterio del investigador; se pueden usar también valores entre 0.70 a 0.85, pero este valor teórico obtenido depende mucho del criterio del investigador.

Ecuación 7: Caudal de agua residual por aporte doméstico

$$Q_{dom} = (Q_P \times 1.8) \times C_r$$

$$Q_{dom} = 0.4229 \times 1.8 \times 0.80$$

$$Q_{dom} = 0.6089 \frac{lt}{seg}$$

- b) Para obtener el caudal total de agua residual que llegará a la planta de tratamiento para julio del 2018, se debe hacer la sumatoria del aporte doméstico y mediante el método áreas calcular el aporte de aguas residuales para el sector de la industria, comercial, institucional, conexiones erradas. Esta sumatoria se analiza mediante la ecuación 8 a continuación:

Ecuación 8: Caudal de medio de aguas residuales

$$Q_{md} = Q_{dom} + Q_{ind} + Q_{com} + Q_{ins}$$

Donde:

Q_{dom} : Caudal de aporte doméstico.

Q_{ind} : Caudal de aporte industrial.

Q_{com} : Caudal de aporte comercial.

Q_{ins} : Caudal de aporte institucional.

Nota: En el centro poblado de Huacoto no existe el sector industrial por ser una comunidad; por lo cual el aporte industrial es cero o nulo; al igual que por conexiones erradas o por aporte comercial. El centro poblado de Huacoto no cuenta con estas actividades.

Para el caso de aporte institucional se tomará como valor el área expresada en hectáreas de la escuela la cual es de 0.11 hectáreas, esto será multiplicado por 0.5 lt/seg/hec, este valor lo podemos obtener del libro denominado Modelación Hidrológica de caudales de aguas residuales en sistemas de alcantarillado de flujo decantado por Lozano Rivas. Mediante la ecuación 9 a continuación obtendremos el valor:

Ecuación 9: Caudal de aporte institucional.

$$Q_{ins} = 0.5 \times A_r$$

$$Q_{ins} = 0.5 \times 0.11$$

$$Q_{ins} = 0.055 \text{ lt/seg}$$

Entonces para el caudal medio de agua residual se usará la ecuación 8:

$$Q_{md} = 0.6089 + 0 + 0 + 0.055$$

$$Q_{md} = 0.6639 \text{ lt/seg}$$

- ✓ Ahora se procederá a calcular el caudal mínimo y caudal pico mediante la siguiente tabla de fórmulas:

Tabla 23: Fórmulas para caudal mínimo y caudal pico

TAMAÑO DE LA POBLACIÓN	CAUDAL MÍNIMO “Q _{MIN} ”	CAUDAL MÁXIMO “Q _P ”
Pequeña (<20,000 h-eq)	$0.30 \times Q_{md}$	$5 \times Q_{md}$
Mediana (20,000 a 60,000 h-eq)	$0.45 \times Q_{md}$	$3 \times Q_{md}$
Grande (>60,000 h-eq)	$0.60 \times Q_{md}$	$2 \times Q_{md}$
Cualquier tamaño de población	$Q_{md} \times \left(1.2 + \frac{2.6}{(Q_{md})^{0.25}}\right)$	

FUENTE: MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO DE FLUJO DECANTADO – LOZANO RIVAS

Para el caudal mínimo debido a que la población es menor a 20000 personas la expresión usada será:

$$Q_{min} = 0.30 \times Q_{md}$$

$$Q_{min} = 0.30 \times 0.6639$$

$$Q_{min} = 0.1992 \text{ lt/seg}$$

Y para el caudal punta o pico utilizaremos dos expresiones para población menor a 20000 personas y para cualquier población y tomar el valor más conservador:

$$Q_p = 5 \times Q_{md}$$

$$Q_p = 5 \times 0.6639$$

$$Q_p = 3.3195 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}$$

Según ecuación para cualquier tamaño de población:

$$Q_p = Q_{md} \times \left(1.2 + \frac{2.6}{(Q_{md})^{0.25}}\right)$$

$$Q_p = 0.6639 \times \left(1.2 + \frac{2.6}{(0.6639)^{0.25}}\right)$$

$$Q_p = 2.7090 \text{ lt/seg}$$

Como Caudal pico de diseño se tomará el valor de 3.32 lt/seg como dato conservador según criterio del investigador. Del análisis realizado se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 24: Resultados de cálculo teórico de caudal

Sistema de tratamiento	Caudal mínimo	Caudal medio	Caudal pico
Huacoto (lt/seg)	0.1992	0.6639	3.3195

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

3.6.2.2. Sistema de tratamiento de Saylla:

Mediante el procedimiento descrito anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados para la variación del caudal durante el transcurso del día de mayor actividad doméstica, industrial y comercial según el criterio del investigador; esto en horarios de la mañana, tarde y noche; en el distrito de Saylla. Los datos fueron procesados para el cálculo de caudal fue a través de velocidad multiplicada por área en el medidor Parshall; no se pudo hacer mediante la ecuación de Manning debido al material sedimentable que transporta el agua residual. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 25: Datos de la variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Saylla



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SAYLLA

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO

LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FECHA: 28/07/2018

Hora	Ancho (m)	Altura (m)	Area (m ²)	Distancia (m)	Tiempo (seg)					Velocidad (m/seg)	Caudal (m ³ /seg)
					t1	t2	t3	t4	t5		
06:00 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.18	66.46	66.94	66.79	66.39	0.030	0.0169
06:10 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.31	66.52	66.49	67.04	66.01	0.030	0.0169
06:20 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.24	66.32	66.49	66.47	66.76	0.030	0.0169
06:30 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.66	65.12	65.10	65.48	65.29	0.031	0.0172
06:40 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.94	65.52	65.13	65.78	65.09	0.031	0.0172
06:50 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.11	65.78	65.49	65.19	65.23	0.031	0.0172
07:00 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.66	65.03	65.46	65.31	65.12	0.031	0.0172
07:10 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.97	65.83	65.76	66.09	65.43	0.030	0.0171
07:20 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.02	66.05	66.35	66.11	66.14	0.030	0.0170
07:30 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.49	66.28	66.94	66.15	66.08	0.030	0.0170
07:40 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.68	66.34	66.86	66.73	66.03	0.030	0.0169
07:50 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	67.03	67.15	66.97	66.84	66.47	0.030	0.0168
08:00 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	67.35	67.59	66.98	67.15	67.43	0.030	0.0167
08:10 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	68.43	67.84	67.97	68.12	68.21	0.029	0.0165
08:20 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	68.86	68.51	68.49	68.34	68.27	0.029	0.0164
08:30 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	68.12	68.55	68.74	68.93	69.06	0.029	0.0164
08:40 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	69.16	68.88	69.31	69.07	69.46	0.029	0.0163



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SAYLLA

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO

LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FECHA: 28/07/2018

Hora	Ancho (m)	Altura (m)	Area (m ²)	Distancia (m)	Tiempo (seg)					Velocidad (m/seg)	Caudal (m ³ /seg)
					t1	t2	t3	t4	t5		
08:50 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	69.46	69.78	69.52	68.99	69.38	0.029	0.0162
09:00 a.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	70.76	70.51	70.16	70.98	70.46	0.028	0.0160
12:00 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	53.91	54.63	54.36	54.95	54.71	0.037	0.0206
12:10 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	54.05	53.89	53.76	54.11	53.48	0.037	0.0209
12:20 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	54.74	53.42	53.49	53.36	53.50	0.037	0.0210
12:30 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	54.31	54.36	54.69	54.74	53.33	0.037	0.0207
12:40 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	55.47	55.31	55.36	55.55	54.93	0.036	0.0203
12:50 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	55.31	55.17	55.53	55.39	54.58	0.036	0.0203
01:00 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	56.33	56.39	56.56	56.42	56.47	0.035	0.0199
01:10 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	56.44	56.74	55.87	56.47	56.15	0.035	0.0199
01:20 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	56.03	56.42	56.36	57.15	56.31	0.035	0.0200
01:30 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	57.36	57.61	57.39	58.26	57.63	0.035	0.0195
01:40 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	57.45	57.69	57.85	57.47	57.98	0.035	0.0195
01:50 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	57.33	57.82	57.47	57.39	58.15	0.035	0.0196
02:00 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	58.87	58.69	59.31	58.58	58.30	0.034	0.0192
05:30 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	64.39	64.68	64.28	65.42	65.18	0.031	0.0174
05:40 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	62.53	63.03	62.42	63.58	62.31	0.032	0.0180
05:50 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	63.55	64.66	63.33	63.31	63.36	0.032	0.0178
06:00 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	60.42	60.26	61.38	60.45	60.43	0.033	0.0186
06:10 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	61.26	61.39	62.47	61.46	61.58	0.033	0.0183
06:20 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	63.58	62.42	64.39	63.12	63.01	0.032	0.0178
06:30 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.33	64.39	63.47	63.22	64.15	0.031	0.0175
06:40 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.52	65.30	65.62	64.85	64.55	0.031	0.0172
06:50 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.39	65.74	65.30	65.78	65.42	0.030	0.0171
07:00 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.33	66.57	65.85	66.14	65.96	0.030	0.0170
07:10 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	66.66	65.58	65.39	65.14	66.22	0.030	0.0172
07:20 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	67.41	66.01	67.31	66.96	66.80	0.030	0.0168
07:30 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	68.52	68.41	68.63	69.16	69.33	0.029	0.0164



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SAYLLA

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FECHA: 28/07/2018

Hora	Ancho (m)	Altura (m)	Area (m ²)	Distancia (m)	Tiempo (seg)					Velocidad (m/seg)	Caudal (m3/seg)
					t1	t2	t3	t4	t5		
07:40 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	70.68	70.57	69.35	69.25	69.14	0.029	0.0162
07:50 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	65.32	64.36	65.47	65.38	65.33	0.031	0.0172
08:00 p.m.	0.45	1.25	0.56	2.00	63.41	64.55	63.93	64.41	64.84	0.031	0.0175

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Del cuadro anterior se puede obtener la siguiente gráfica de la variación horaria, en la cual se verifica la tendencia del caudal de ingreso al sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Saylla.

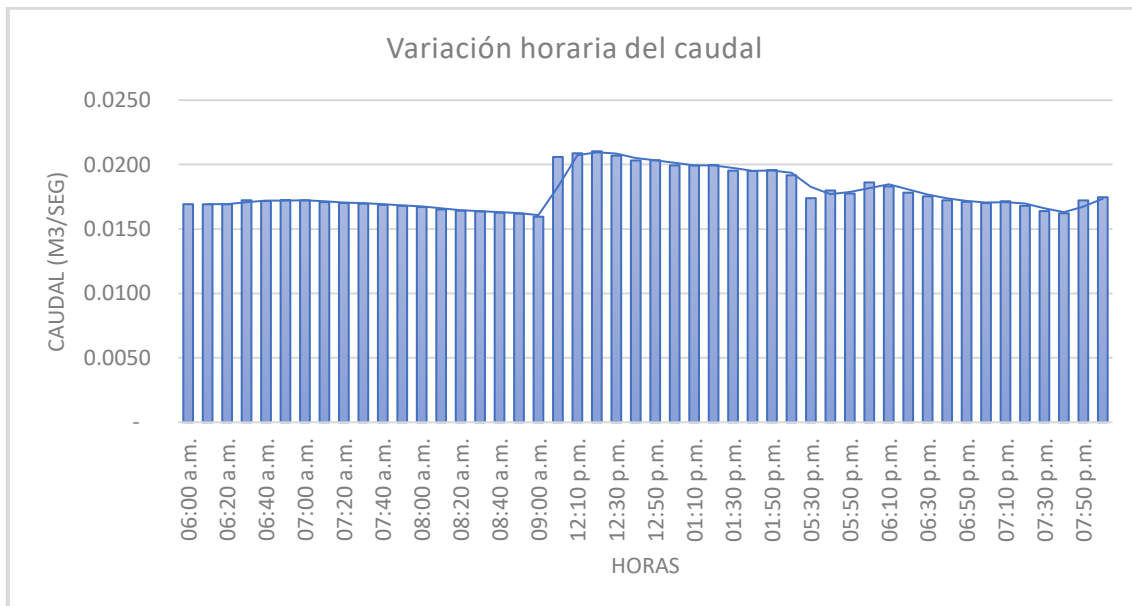


Figura 37: Curva de variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Saylla
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Cálculo de caudal teórico de Saylla:

a) Cálculo de población futura:

Para el cálculo de la población futura de Saylla necesitamos los siguientes datos:

Según INEI del 2017 para la población de Saylla que involucra la investigación son:



Población 2017: 2128 habitantes.

Tasa de crecimiento: 7.08%

- ✓ Método Aritmético, por ecuación 2:

$$P_f = P_0 + r(t - t_0)$$

Entonces:

$$P_f = 2128 + 0.0708(1)$$

$$P_f = 2128 \text{ hab}$$

- ✓ Método Geométrico, por ecuación 3:

$$P_f = P_0(1 + r)^t$$

Entonces:

$$P_f = 2128(1 + 0.0708)^1$$

$$P_f = 2279 \text{ hab}$$

- ✓ Método Organización Mundial de la Salud por ecuación 4:

$$P_f = P_0 \left(\frac{100 + P}{100} \right)^t$$

Entonces:

$$P_f = 2128 \left(\frac{100 + 7.08}{100} \right)^1$$

$$P_f = 2279 \text{ hab}$$

- ✓ Método de interés simple, por ecuación 5:

$$P_f = P_0[1 + r(t - t_0)]$$

Entonces:

$$P_f = 2128[1 + 0.0708(1)]$$

$$P_f = 2279 \text{ hab}$$

Del cálculo se obtiene el siguiente cuadro:

Tabla 26: Resultados de cálculo de población futura para Saylla.

Ecuación de cálculo	Población futura para el 2018
Método aritmético	2128 habitantes
Método geométrico	2279 habitantes
Método de la OMS	2279 habitantes

Ecuación de cálculo	Población futura para el 2018
Método de interés simple	2279 habitantes

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La población seleccionada para el cálculo será de 2279 habitantes.

b) Cálculo de caudal mínimo, medio, pico:

Dentro de la norma técnica peruana para ser más preciso en la norma OS.100 consideraciones básicas de diseño e infraestructura sanitaria; indica una dotación de 180 lt/hab/día para clima frío como es el caso, esto se justifica porque no existe un estudio de dotación ni información sobre esto.

- ✓ Se calcula el caudal promedio, con la ecuación 6:

$$Q_p = \frac{\text{Población} \times \text{Dotación}}{86400}$$

Entonces:

$$Q_p = \frac{2279 \text{ hab} \times 180 \frac{\text{lt}}{\text{hab}} / \text{día}}{86400}$$

$$Q_p = 4.7479 \text{ lt/seg}$$

- c) Para calcular el caudal de agua residual por aporte doméstico se cuantificará a través del caudal máximo diario mediante la ecuación 7, luego será multiplicado por un coeficiente de retorno. Debido a que el caudal máximo diario es para una población menor a 20000 habitantes el coeficiente usado es de 1.8. Una vez obtenido el resultado del caudal máximo diario este debe ser multiplicado por un coeficiente de retorno que 0.80 a criterio del investigador; se pueden usar también valores entre 0.70 a 0.85, pero este valor teórico obtenido depende mucho del criterio del investigador.

$$Q_{dom} = (Q_p \times 1.8) \times C_r$$

$$Q_{dom} = 4.7479 \times 1.8 \times 0.80$$

$$Q_{dom} = 6.8369 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}$$

- d) Para obtener el caudal total de agua residual que llegará a la planta de tratamiento para julio del 2018, se debe hacer la sumatoria del aporte doméstico y mediante el método áreas calcular el aporte de aguas residuales para el sector de la industria,



comercial, institucional, conexiones erradas. Esta sumatoria se analiza mediante la ecuación 8.

Nota: En el centro poblado de Saylla no existe el sector de la industria, esto debido a la cercanía a la ciudad del Cusco.

De la normatividad peruana y del libro Modelación Hidrológica de Caudales de Aguas Residuales en Sistemas de Alcantarillado de Flujo Decantado de Lozano Rivas, se pueden tomar los siguientes valores para aporte:

Coefficiente de retorno de aguas residuales de origen comercial : 0.50

Coefficiente de retorno de aguas residuales de origen institucional : 0.50

Coefficiente de retorno de aguas residuales de conexiones erradas : 0.20

Entonces los caudales son:

$$Q_{com} = \text{Caudal de aporte comercial} = 0.50 \times 4.70 = 2.350 \text{ lt/seg}$$

$$Q_{ins} = \text{Caudal de aporte institucional} = 0.50 \times 0.63 = 0.315 \text{ lt/seg}$$

$$Q_{ce} = \text{Caudal de aporte por conexiones erradas} = 0.20 \times 67.0 = 13.40$$

lt/seg.

Con los datos calculados podemos hacer uso de la ecuación 8, de la siguiente manera:

$$Q_{md} = 6.8369 + 0 + 2.350 + 0.315 + 13.40$$

$$Q_{md} = 22.9019 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}$$

- e) Ahora se procederá a calcular el caudal mínimo y caudal pico mediante la siguiente tabla de fórmulas 23:

Para el caudal mínimo debido a que la población es menor a 20000 personas la expresión usada será:

$$Q_{min} = 0.30 \times 22.9019$$

$$Q_{min} = 6.8706 \text{ lt/seg}$$

Finalmente, mediante las dos expresiones anteriormente usadas de la tabla 23 calculamos el caudal punta o pico:

Expresión 1:

$$Q_p = 5 \times 22.9019$$

$$Q_p = 114.5095 \text{ lt/seg}$$

Expresión 2:

$$Q_p = 22.9019 \times \left(1.2 + \frac{2.6}{(22.9019)^{0.25}} \right)$$

$$Q_p = 54.7016 \text{ lt/seg}$$

Como Caudal pico de diseño se tomará el valor de 54.70 lt/seg como dato conservador según criterio del investigador.

Del análisis realizado se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 27: Resultados de cálculo teórico de caudal

Sistema de tratamiento	Caudal mínimo	Caudal medio	Caudal pico
Huacoto (lt/seg)	6.87	22.90	54.70

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

3.6.3. Análisis de dimensionamiento de estructuras:

Uno de los análisis de suma importancia para la investigación, es la obtención de las medidas hidráulicas (interiores) de las estructuras que comprende cada sistema de tratamiento de aguas residuales, estos influyen en la eficiencia del tratamiento, debido a que estos son diseñados para reducir la carga contaminante en el agua residual y cumplir con los parámetros para su vertimiento en un cuerpo receptor según los límites máximos permisibles.

Las figuras que se muestran a continuación de las estructuras para cada sistema de tratamiento son referenciales, para mayor detalle las mismas se encuentran en los anexos de la presente investigación en formato de plano.

3.6.3.1. Sistema de tratamiento de Huacoto:

a) Toma de medidas hidráulicas:

En el caso del sistema de tratamiento de Huacoto, como se mencionó antes está compuesto por un canal con escalones, donde se producen saltos hidráulicos. Esto fue con la finalidad de oxigenar el agua residual y procurar durante el transcurso de su recorrido los parámetros de físicos, químicos y bacteriológicos disminuyan. En el siguiente cuadro se muestra la medición de cada sección del sistema.

Tabla 28: Dimensiones de estructuras del sistema de tratamiento de Huacoto.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN HUACOTO

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUACOTO

Tipo de Estructura	Cota	Cantidad	Ancho	Largo	Altura	Aberturas
Caja de regulación	4015.00	1.00	0.80	0.80	0.45	
Escalones tramo 1	4014.85	11.00	0.30	0.30	0.30	
Canal horizontal 1	4011.55	1.00	0.30	2.15	0.05	
Escalones tramo 2	4011.50	10.00	0.30	0.30	0.30	
Canal horizontal 2	4008.50	1.00	0.30	2.30	0.05	
Escalones tramo 3	4008.45	10.00	0.30	0.30	0.30	
Canal horizontal 3	4005.45	1.00	0.30	1.50	0.02	
Caída libre	4005.43	1.00	0.15	0.30	1.55	
Caja de recolección	4003.88	1.00	0.80	0.80	0.45	
Canal de salida	4003.73	1.00	0.30	4.30	0.05	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Después de la medición se puede desprender el siguiente gráfico que esquematiza el flujo de agua residual; para mayor detalle ver el anexo de planos; para el mejor entendimiento de su funcionamiento, el cual se muestra a continuación:

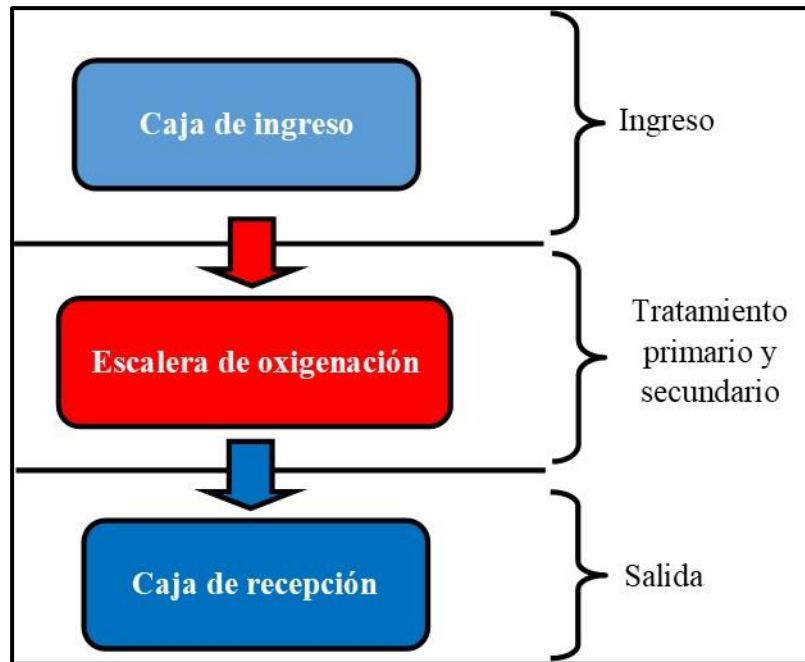


Figura 38: Croquis de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

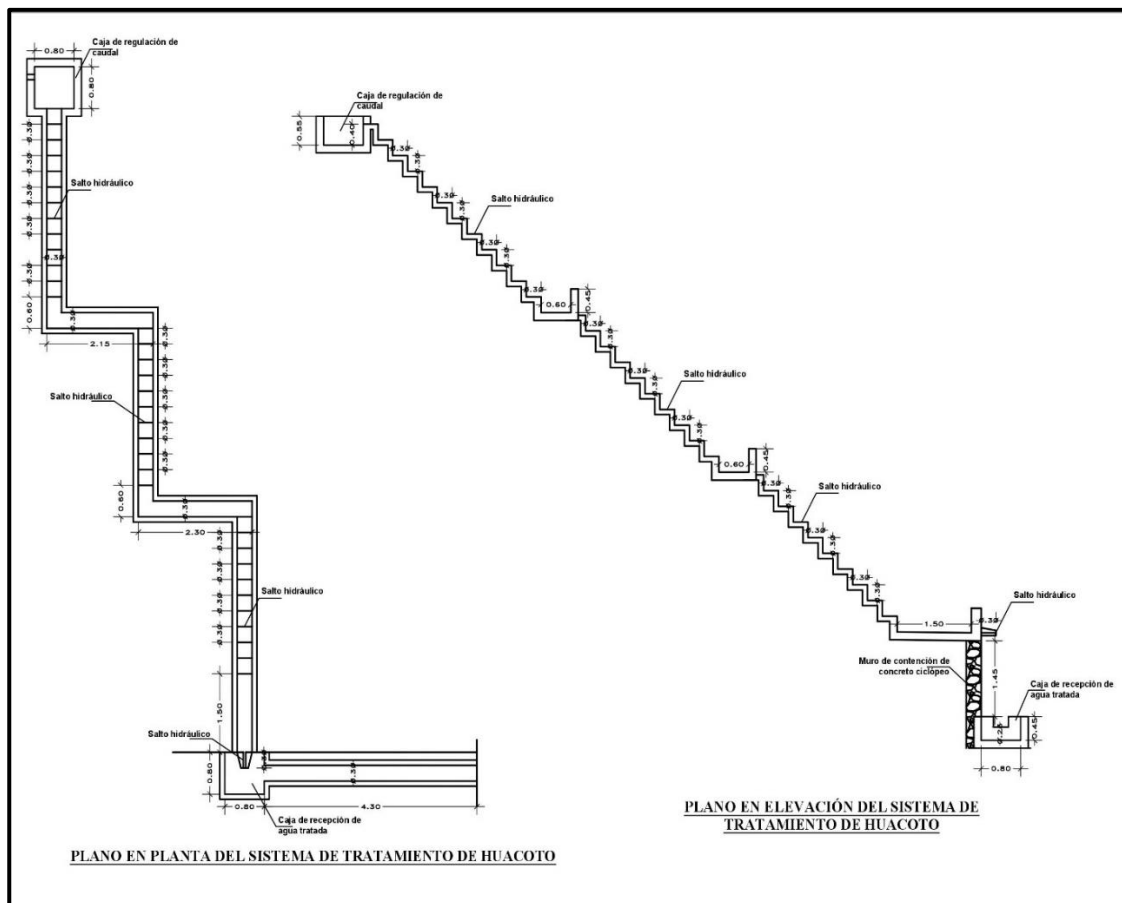


Figura 39: Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Este sistema, es del tipo experimental el cual fue planteado en la investigación “Tratamiento de aguas servidas con escaleras de oxigenación en pequeñas comunidades campesinas de la sierra peruana: caso de las comunidades Huaccoto y Kircas”, presentado por el magister Carlos Luna Loayza en julio del 2008. La misma que indica que la incorporación de oxígeno por escalón es de 0.60 mg de O₂ por litro.

Para mayor detalle de esta estructura se encuentra en los planos anexos a la presente investigación.

b) Cálculo hidráulico de incremento de oxígeno:

De la medición del número de escalones en el sistema de tratamiento realizado por la cantidad de incorporación de oxígeno por escalón de altura 0.20m, esto da como resultado la cantidad de oxígeno incorporado total, esto de la siguiente forma:

$$\text{Cantidad de oxígeno incorporado} = \# \text{ de escalones} \times 0.60 \text{mgO}_2/\text{litro}$$

$$\text{Cantidad de oxígeno incorporado} = \left(31 + \frac{1.55}{0.2}\right) \times \frac{0.60 \text{mgO}_2}{\text{litro}}$$

$$\text{Cantidad de oxígeno incorporado} = 23.25 \text{mgO}_2/\text{litro}$$

Por lo cual el oxígeno incorporado al sistema es de 23.25 mg de oxígeno por litro. Lo que indica que el oxígeno disuelto al ingreso no es suficiente para la auto purificación del agua residual, entonces la incorporación de oxígeno es necesaria para que sea óptima para el cuerpo receptor.

3.6.3.2. Sistema de tratamiento de Saylla:

En el caso del sistema de tratamiento de Saylla, está compuesta por 5 estructuras principales que se interconectan mediante tubería enterrada. Estas son:

- Cámara de rejillas y desarenador.
- Filtro anaerobio de flujo ascendente.
- Filtro biológico.
- Cámara de contacto de cloro.
- Lecho de secado de lodos.

a) Toma de medidas hidráulicas:

En el siguiente cuadro se muestran las dimensiones del sistema de tratamiento para cada estructura principal.

Tabla 29: Dimensiones de estructuras del sistema de tratamiento de Saylla.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SAYLLA****TESISTA:** Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO**LUGAR:** PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLAS

Tipo de Estructura	Cota	Cantidad	Diámetro interior	Ancho	Largo	Altura	Obser.
Buzón 1	3131.00	1.00	1.10				
Canal de ingreso	3131.28	1.00		0.45	3.30	1.50	
Sección trapezoidal 1	3131.28	2.00		1.00	0.75	1.20	
Desarenador	3131.28	1.00		1.00	3.00	1.25	
Canal	3130.98	1.00		0.45	0.60	1.30	
Sección trapezoidal 2	3130.78	2.00		0.95	0.50	0.90	
Canal de desvío	3130.78	1.00		0.40	1.35	0.90	
Sección de rejillas	3130.78	1.00		0.45	1.20	1.30	
Buzón 2	3130.78	1.00	1.10				
Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente 1	3129.66	1.00		8.00	13.40		Sellado
Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente 2	3129.72	1.00		7.95	13.30		Sellado
Filtros Biológicos	3129.39						
Canal de ingreso		2.00		0.15	8.00	0.30	
Camara de medio poroso 1		2.00		2.60	8.00	1.70	
Camara de medio poroso 2		2.00		2.85	8.00	1.60	
Viga		2.00		0.25	8.00	0.30	
Camara de cloración	3129.47	1.00		1.20	2.45	1.90	
muros interiores		6.00		0.05	0.95	1.00	
Lecho de secado de lodos	3131.95	1.00		8.35	12.90		Lodo obstruye medida de altura

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Después de la medición se puede desprender los siguientes gráficos que esquematiza el flujo de agua residual; para mayor detalle ver el anexo 06 de planos, para el mejor entendimiento de su funcionamiento, el cual se muestra a continuación:

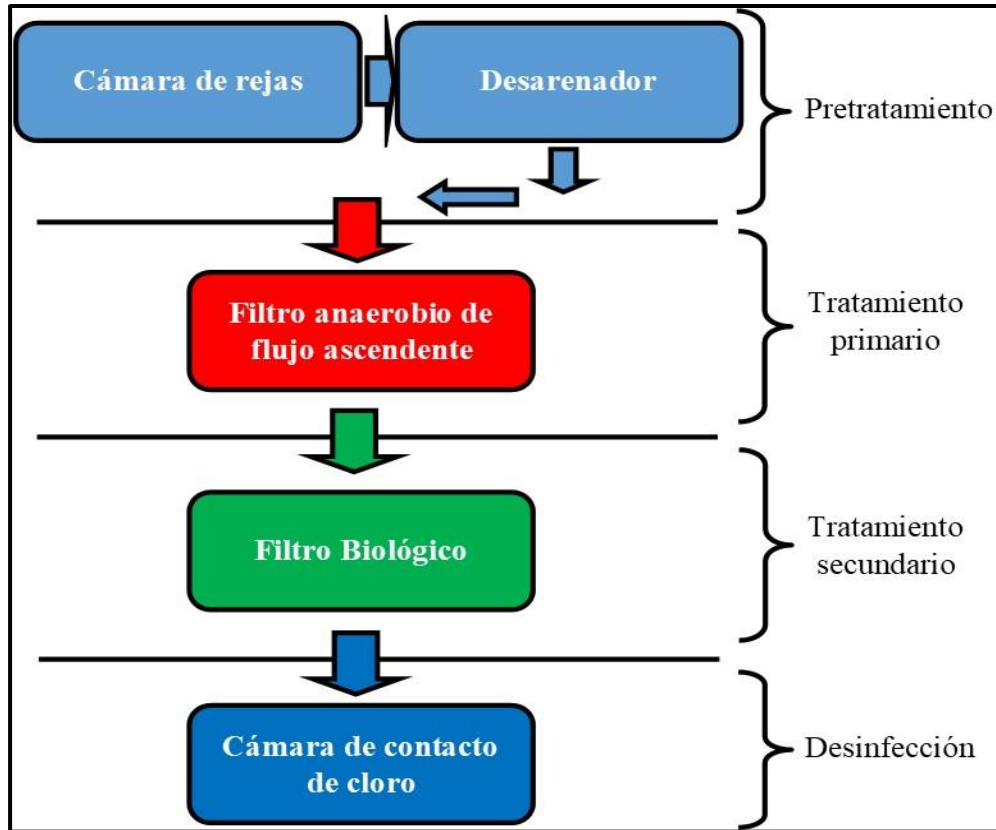


Figura 40: Croquis de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

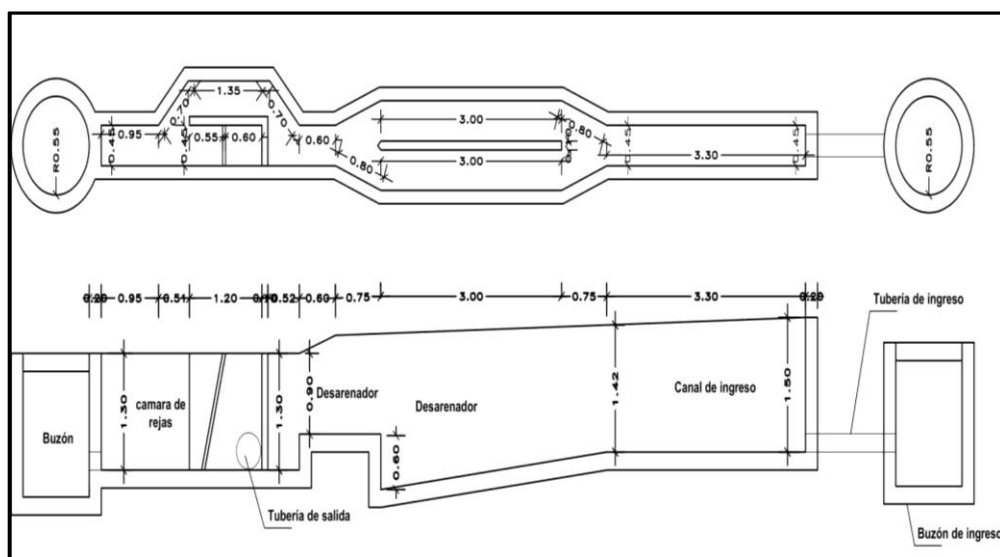


Figura 41: Diagrama del sistema de tratamiento primario de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 42: Diagrama del filtro anaerobio de flujo ascendente del sistema de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Actualmente los 02 Filtros Anaerobios de Flujo Invertido se encuentran sellados, motivo por el cual no se pudo verificar sus medidas interiores, además de que el contenido de gases es peligroso para la salud, por mostrar evidencia de no haber sido abierto durante bastante tiempo.

Las siguientes estructuras son para el tratamiento secundario y desinfección del sistema, cuyos diagramas se muestran a continuación:

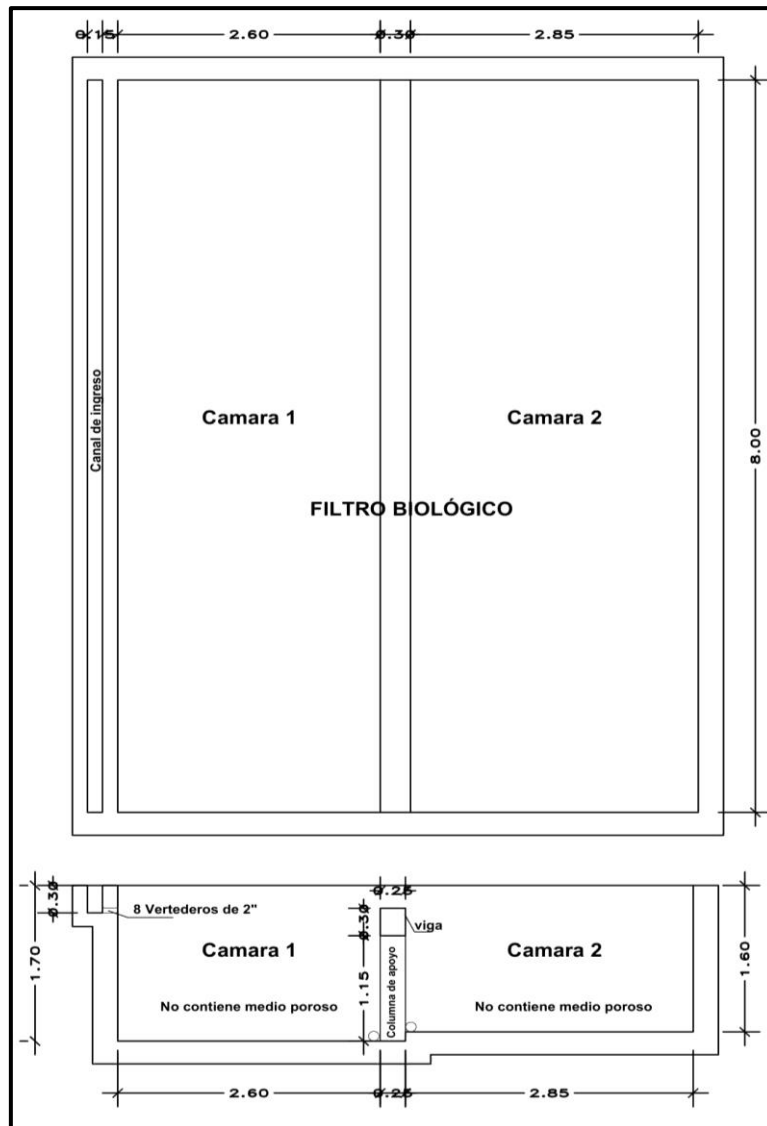


Figura 43: Diagrama del filtro biológico para el sistema de Saylla
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Dentro de los filtros biológicos, no se cuenta con un medio poroso donde precipite el agua residual para formar una película bacteriana que purifique biológicamente el agua residual.

Como para final, el sistema cuenta con un tratamiento terciario, que involucra una cámara de contacto de cloro la cual se muestra a continuación.

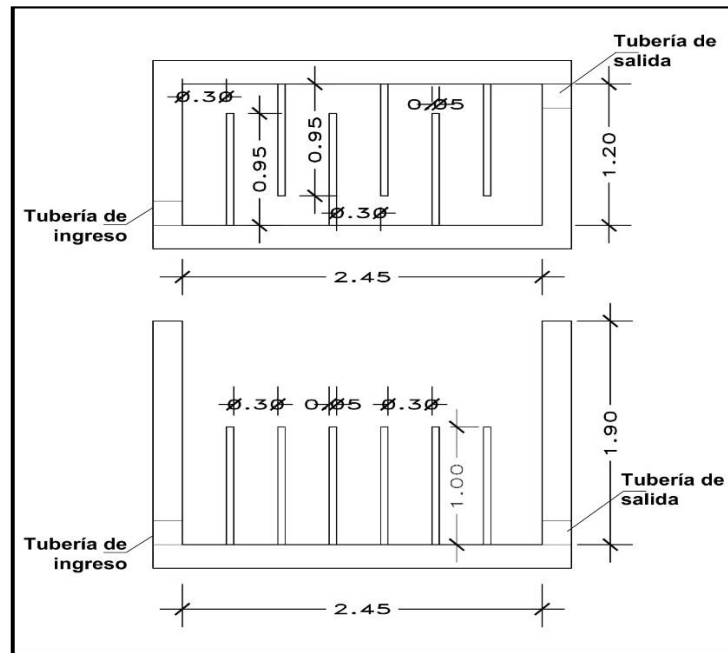


Figura 44: Diagrama de cámara de contacto de cloro para el sistema de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Actualmente el sistema cuenta con un tanque para cloro, pero este se encuentra vacío y no existe un contacto adecuado con este.

Las dimensiones de las estructuras se pueden apreciar a mayor dentro de los planos adjuntos dentro del ítem anexos.

b) Cálculo hidráulico del sistema de Saylla:

- ✓ Según la norma peruana OS 090 indica que las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas para un periodo de 20 a 30 años dependiendo de las estructuras que contemplen; en este caso será de 20 años; por consiguiente, procedemos al cálculo del caudal para el 2038 con los siguientes datos:

Mediante las ecuaciones 2,3,4 y 5; calculamos a población futura según los datos a continuación:

Datos:

T= 20 años

P₀=2128 hab.

R=7.08%

Método aritmético por ecuación 2:

$$P_{2038}=2128+0.0708(20)$$

$$P_{2038}=2129 \text{ hab.}$$

Método geométrico por ecuación 3:

$$P_{2038}=2128(1+0.0708)^{20}$$

$$P_{2038}=8359 \text{ hab.}$$

Método de la OMS por ecuación 4:

$$P_{2038}=2128((100+7.08)/100)^{20}$$

$$P_{2038}=8359 \text{ hab.}$$

Método de interés simple por ecuación 5:

$$P_{2038}=2128(1+0.0708(20))$$

$$P_{2038}=5141 \text{ hab.}$$

Del cálculo se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 30: Resultados de cálculo de población futura para 2038 en Saylla.

Ecuación de cálculo	Población futura para el 2038
Método aritmético	2129 habitantes
Método geométrico	8359 habitantes
Método de la OMS	8359 habitantes
Método de interés simple	5141 habitantes

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Según criterio del tesista se tomará como población futura de 5141 habitantes debido a ser un valor más conservador y probable de crecimiento poblacional, con este dato calculamos el caudal promedio de consumo mediante la ecuación N 6; con una dotación según la norma técnica OS 090 de 180 lt/hab/día por pertenecer a un clima frío:

$$Q_p = \frac{5141 \text{ hab} \times 180 \frac{\text{lt}}{\text{hab}}/\text{día}}{86400}$$

$$Q_p = 10.71 \text{ lt/seg}$$

Ahora procedemos a calcular el caudal de aporte domestico con la ecuación 7 y por el método de las áreas del caudal para aporte industrial, comercial, institucional, por conexiones erradas:



- Para caudal de aporte doméstico:

$$Q_{dom} = 10.71 \times 1.8 \times 0.80$$

$$Q_{dom} = 15.42 \text{ lt/seg}$$

- Para caudal de aporte industrial:

$$Q_{ind} = 0$$

Esto es considerado cero por que el distrito no tiene la capacidad y las áreas disponibles para el crecimiento del sector industrial en el poblado.

- Para caudal de aporte comercial:

$$Q_{com} = 0.50 \times 4.70$$

$$Q_{com} = 2.35 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}$$

- Para caudal de aporte institucional:

$$Q_{ins} = 0.50 \times 0.63$$

$$Q_{ins} = 0.315 \text{ lt/seg}$$

- Para caudal por conexiones erradas:

$$Q_{con} = 0.20 \times 67.00$$

$$Q_{con} = 13.40 \text{ lt/seg}$$

Mediante la ecuación 8 obtenemos el caudal medio de agua residual para el año 2038:

$$Q_{md} = 15.42 + 0 + 2.35 + 0.315 + 13.40$$

$$Q_{md} = 31.49 \text{ lt/seg}$$

Luego obtendremos de este paso los caudales mínimos, máximo; necesarios para el análisis de dimensionamiento:

Caudal mínimo:

$$Q_{min} = 0.3 \times 31.49 \text{ lt/seg}$$

$$Q_{min} = 9.45 \text{ lt/seg}$$

Caudal máximo:

$$Q_{max} = 31.49 \times \left(1.2 + \frac{2.6}{(31.49)^{0.25}} \right)$$

$$Q_{max} = 72.35 \text{ lt/seg}$$

Del cálculo realizado se obtienen los siguientes datos:

Tabla 31: Resultados de cálculo teórico de caudal

Sistema de tratamiento	Caudal mínimo	Caudal medio	Caudal pico
Saylla (lt/seg) 2038	9.45	31.49	72.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

✓ **Cámara de rejillas:**

Datos:

Q	=	0.072 m ³ /seg	Caudal máximo 2038
b	=	2.54 cm	separación entre barras
w	=	0.6 cm	ancho de barras
α	=	60°	ángulo de inclinación de las rejillas
V	=	0.60 m/seg.	según NTP OS 090 para velocidad de flujo
b _l	=	0.15 m	borde libre actual.
La	=	0.60 m	largo de canal existente.
Ba	=	0.45 m	ancho de canal existente.
Ha	=	1.15 m	altura de canal existente.
Ha	=	0.90 m	altura de canal de ingreso existente.
β	=	2.42	para caras rectangulares según factor de forma.
n	=	0.014	coeficiente de Manning para concreto.

**Calculando:**

Calculamos primero la pérdida de carga mediante la ecuación de Kirschmer:

Ecuación 10: Pérdida de carga por Kirschmer.

$$H = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{V^2}{2g}\right) \sin \alpha$$

Donde:

- β : factor de forma de barras.
- w : ancho de barras.
- b : separación entre barras.
- V : velocidad de flujo.
- g : aceleración de la gravedad.
- α : ángulo de inclinación de rejilla,

Entonces:

$$H = 2.42 \left(\frac{0.6}{2.54}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0.6^2}{2 \times 9.8}\right) \sin 60^\circ$$

$$H = 0.0056 \text{ m}$$

La pérdida de carga es 5.6 mm; esta no afectará en el diseño de la cámara de rejillas.

Ahora calculamos el área de la zona de reja mediante la ecuación del caudal:

Ecuación 11: Cálculo de área mediante caudal.

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

Donde:

- A : Área (m^2)
- Q : Caudal (m^3/seg)
- V : Velocidad (m/seg)

Entonces:

$$A = \frac{0.072}{0.60}$$

$$A = 0.12 \text{ m}^2$$

Tomando en cuenta el ancho existente de la estructura actual, obtenemos lo siguiente:



$$H_{calculado} = \frac{0.12}{0.45}$$

$$H_{calculado} = 0.27 \text{ m} \equiv 0.30 \text{ m}$$

Ahora sumamos el borde libre a la altura calculada haciendo un total de 0.42 m y por métodos constructivos lo redondeamos a 0.45 m para que sea geoméricamente rectangular. Procedemos a calcular la longitud de la reja mediante la fórmula de seno del ángulo:

Ecuación 12: Cálculo de longitud de reja.

$$L = \frac{H_{calculado}}{\sin \alpha}$$

Donde:

L : longitud de reja (m)
H_{calculado} : altura calculada (m)
 α : ángulo de inclinación.

Entonces:

$$L = \frac{0.45}{\sin 60^\circ}$$

$$L = 0.52 \text{ m} \equiv 0.55 \text{ m}$$

Ahora para calcular la pendiente de la cámara de rejas procedemos a calcular el radio hidráulico mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 13: Cálculo de radio hidráulico

$$R = \frac{B_a y}{B_a + 2y}$$

Donde:

y : tirante (m)
R : radio hidráulico (m)

Entonces:

$$R = \frac{0.45 \times 0.27}{0.45 + 2 \times 0.27}$$

$$R = 0.12 \text{ m}$$



Ahora por la fórmula de Manning calculamos la pendiente:

Ecuación 14: Fórmula de Manning

$$S = \left(\frac{V \times n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

Donde:

n	:	coeficiente de Manning
R	:	radio hidráulico (m)
S	:	pendiente (m/m)

Entonces:

$$S = \left(\frac{0.6 \times 0.014}{0.12^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$
$$S = 0.001$$

✓ **Desarenador:**

Datos:

Q	=	0.072 m ³ /seg	Caudal máximo 2038.
t	=	16° C	temperatura del fluido.
G	=	85%	grado de remoción.
D	=	0.2 mm	diámetro de partícula a remover.
g	=	1	grado de desarenador.
Ba/La	=	1/3	relación ancho/largo.
La	=	3.00 m	largo de desarenador.
Ba	=	1.00 m	ancho de desarenador.
Ha	=	1.25 m	altura de desarenador.
bl	=	0.25 m	borde libre.
n	=	0.014	coeficiente de Manning para concreto.
δ_m	=	9.99x10 ⁻⁴ kg/cm ³	densidad de fluido según temperatura del fluido.
δ_p	=	16x10 ⁻⁴ kg/cm ³	densidad de la partícula de arena.
μ	=	0.00001109 kg/cm.s	viscosidad dinámica según temperatura del fluido.
d	=	0.02 cm	diámetro de partícula de arena.

**Calculando:**

Cálculo de la velocidad de sedimentación mediante la ley de Stokes:

Ecuación 15: Ley de Stokes

$$v_s = \frac{g \times d^2 (\delta_p - \delta_m)}{18\mu}$$

Donde:

v_s : Velocidad de precipitación.

g : Aceleración de la gravedad.

d : Diámetro de partícula.

δ_p : Densidad de la partícula.

δ_m : Densidad del fluido o medio

μ : Viscosidad dinámica

Entonces:

$$v_s = \frac{981 \times 0.02^2 (16e^{-4} - 9.99e^{-4})}{18 \times 0.00001109}$$
$$v_s = 1.18 \text{ cm/seg}$$

De acuerdo a la norma OS 090 indica que la velocidad a la que se debe mantener el fluido este entre 0.3 m/seg y una tolerancia del 20%.

Ahora calculamos el tiempo de precipitación mediante:

Ecuación 16: Tiempo de precipitación

$$t_p = \frac{H_a - b_l}{v_s}$$

Donde:

T_p : Tiempo de precipitación.

H_a : Altura de desarenador actual o sugerida.

v_s : Velocidad de precipitación.

b_l : Borde libre

Entonces:

$$t_p = \frac{125 - 25}{1.18}$$
$$t_p = 84.75 \text{ seg}$$



Para un grado de remoción de 85% el número de Hazen es 4. Por consiguiente, para el periodo de retención hidráulica será:

Ecuación 17: Periodo de retención

$$\theta = N_h \times t_p$$

Donde:

- θ : Periodo de retención.
 t_p : Tiempo de precipitación
 N_h : Número de Hazen

Entonces:

$$\theta = 4 \times 84.75$$

$$\theta = 339 \text{ seg}$$

Para determinar el volumen del desarenador:

Ecuación 18: Volumen de desarenador

$$V = \theta \times Q$$

Donde:

- V : Volumen del desarenador.
 θ : Periodo de retención.
 Q : Caudal

Entonces:

$$V = 339 \times 0.072$$

$$V = 24.41 \text{ m}^3$$

Tomando en consideración la altura de la estructura existente se calcula el área del sedimentador:

$$A = \frac{V}{H_a - b_l} = \frac{24.41}{1.25 - 0.25}$$
$$A = 24.41 \text{ m}^2$$

Si: $B/L = 1/3$; entonces:

$$A = B \times L = 3B^2$$



Entonces:

$$24.41 = 3B^2$$

$$B = 2.85 \text{ m.}$$

Por consiguiente:

$$L = 3B = 3 \times 2.85$$

$$L = 8.55 \text{ m}$$

✓ Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente:

Actualmente los Filtros anaerobios de flujo ascendente se encuentran sellados, motivo por el cual se calculará teóricamente pero no se podrá corroborar.

Datos:

Q_m	=	0.032 m ³ /seg	2764.80 m ³ /día	Caudal medio 2038.
S_0	=	0.1318 kg/m ³	DBO en el afluente en Kg de DBO/m ³ .	
b	=	0.25 m	altura de borde libre.	
L_a	=	13.30 m	largo de filtro anaerobio de flujo ascendente.	
B_a	=	7.95 m	ancho de filtro anaerobio de flujo ascendente.	
H_a	=	-- m	no se tiene por estar sellada.	
CHS	=	12 m ³ /m ² d	Carga hidráulica superficial según recomendaciones del Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Comisión Nacional del Agua México.	
COV	=	0.50 kg de DBO ₅ /m ³ d	Carga orgánica volumétrica según recomendaciones del Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Comisión Nacional del Agua México.	

Calculando:

Primero calculamos el área superficial del filtro mediante la ecuación de carga hidráulica superficial:

Ecuación 19: Carga hidráulica superficial

$$A = \frac{Q_m}{CHS}$$

Donde:

CHS : Carga hidráulica superficial

Q_m : Caudal medio



A : Área

Entonces:

$$A = \frac{2764.80}{12}$$
$$A = 230.40 \text{ m}^2$$

Teniendo el área superficial tomamos una relación de 1:2 de B/L, entonces el largo es 2 veces el ancho o base, por consiguiente:

$$A = B \times L = 2B^2$$
$$230.40 = 2B^2$$
$$B = 10.73 \text{ m} \equiv 10.75 \text{ m}$$

Por consiguiente:

$$L = 2B = 2 \times 10.73$$
$$L = 21.46 \text{ m} \equiv 21.50 \text{ m}$$

Calculamos el volumen del lecho filtrante:

Ecuación 20: Volumen de lecho filtrante.

$$V = \frac{Q_m \times S_0}{COV}$$

Donde:

V : Volumen de lecho filtrante.

COV : Carga orgánica volumétrica.

S₀ : DBO en el afluente en Kg de DBO/m³

Q_m : Caudal medio

Entonces:

$$V = \frac{2764.80 \times 0.1318}{0.50}$$
$$V = 728.80 \text{ m}^3$$



Calculamos la altura del lecho filtrante:

Ecuación 21: Altura de lecho filtrante.

$$h_m = \frac{V}{A}$$

Donde:

- h_m : altura de lecho filtrante
 V : Volumen de lecho filtrante.
 A : área superficial.

Entonces:

$$h_m = \frac{728.80}{230.40}$$
$$h_m = 3.16 \text{ m} \equiv 3.20 \text{ m}$$

Seguimos con el cálculo de la altura total del filtro.

$$H = h_m + b + d$$

Donde:

- H : altura total del filtro.
 h_m : altura de lecho filtrante
 b : altura de borde libre
 d : altura debajo del dren (se recomienda entre 0.75 m a 1 m)

Entonces:

$$H = 3.20 + 0.25 + 0.75$$
$$H = 4.20 \text{ m}$$

Con este dato podemos calcular el volumen total del filtro:

Ecuación 22: Volumen total del filtro.

$$V_t = A \times H$$

Donde:

- V_t : Volumen total del filtro.
 H : Altura total del filtro.
 A : área superficial.



Entonces:

$$V_t = 230.40 \times 4.20$$

$$V_t = 967.68 \text{ m}^3$$

Cálculo del tiempo de residencia hidráulica:

Ecuación 23: Tiempo de residencia hidráulica.

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

Donde:

TRH : Tiempo de residencia hidráulica.

V : Volumen lecho filtrante.

A : Área total del filtro.

Entonces:

$$TRH = \frac{728.80}{2764.80}$$

$$TRH = 0.2635 \text{ días} = 6 \text{ horas } 20 \text{ min}$$

Finalmente calculamos la estimación de la eficiencia del filtro anaerobio.

Ecuación 24: Eficiencia de un filtro anaerobio.

$$E = 100[1 - 0.87(TRH^{-0.5})]$$

Donde:

E : Eficiencia de un filtro anaerobio.

TRH : Tiempo de residencia hidráulica.

Entonces:

$$E = 100[1 - 0.87(0.2635^{-0.5})]$$

$$E = 65.39\%$$

✓ Filtro Biológico:

Datos:

$Q_m = 0.032 \text{ m}^3/\text{seg}$ $2764.80 \text{ m}^3/\text{día}$ Caudal medio 2038.

$S_0 = 0.132 \text{ kg/m}^3$ DBO en el afluente en Kg de DBO/m³.

$S_f = 0.054 \text{ kg/m}^3$ DBO en el afluente en Kg de DBO/m³.

$b = 0.25 \text{ m}$ altura de borde libre.



La	=	8.00 m	largo de filtro biológico.
Ba	=	5.20 m	ancho de filtro biológico.
Ha	=	1.70 m	altura de filtro biológico.
t	=	16.90 °C	temperatura de fluido.
R	=	2	Existe una recirculación en dos filtros.
K	=	2.21 (m.d) ^{-0.5}	constante de tratabilidad para aguas residuales domésticas, tomado del libro Tratamiento de aguas residuales de Jairo Alberto Romero Rojas.
n	=	0.5	Coefficiente de medio de soporte (piedra porosa), tomado del libro Tratamiento de aguas residuales de Jairo Alberto Romero Rojas.

Calculando:

El cálculo se realizará a través del modelo de German. Para ello mediante la ecuación 1 calculamos la eficiencia:

$$E = \frac{0.132 - 0.054}{0.132} = 0.59$$

Cálculo de la carga orgánica del efluente:

Ecuación 25: Carga orgánica del afluente.

$$w = S_0 \times Q_m$$

Donde:

w	:	Carga orgánica de afluente.
S ₀	:	DBO del afluente.
Q _m	:	Caudal medio.

Entonces:

$$w = 0.132 \times 2764.80$$
$$w = 364.95 \text{ kg DBO/dia}$$

Ahora calculamos el factor de recirculación mediante las ecuaciones del NRC (National Research Council):

Ecuación 26: Factor de recirculación.

$$F_1 = \frac{1 + R_1}{(1 + 0.1R_1)^2}$$



Donde:

- R : Relación de recirculación.
F : Factor de recirculación del filtro en la 1 etapa.

Entonces:

$$F_1 = \frac{1 + 2}{(1 + 0.1 \times 2)^2} = 2.08$$

Ahora calculamos el volumen del filtro percolador de la siguiente forma:

Ecuación 27: Volumen de filtro percolador

$$V_1 = \frac{w_1}{F_1} \left[\frac{0.443E_1}{1 - E_1} \right]^2$$

Donde:

- V : Volumen del filtro percolador.
w : Carga orgánica de afluente.
E : Eficiencia del filtro.
F : Factor de recirculación del filtro en la 1 etapa.

Entonces:

$$V_1 = \frac{364.95}{2.08} \left[\frac{0.443 \times 0.59}{1 - 0.59} \right]^2$$
$$V_1 = 71.30 \text{ m}^3$$

Tomando en cuenta la altura de filtro existente que es de 1.70 m entonces el área y los lados de la estructura será:

$$A = \frac{V_1}{H_a} = \frac{71.30}{1.70} = 41.94 \text{ m}^2$$

Por consiguiente, si el largo del filtro es 1.5 veces el ancho tenemos:

$$A = 1.5B^2$$
$$41.94 = 1.5B^2 \rightarrow B = 5.28 \cong 5.30 \text{ m}$$
$$L = 1.5B \rightarrow L = 7.95 \text{ m}$$



Si tomamos en cuenta que la eficiencia en los dos filtros es la misma entonces los dos tanques de filtros percoladores tienen las mismas dimensiones.

✓ **Cámara de contacto con cloro:**

Datos:

Q_m	=	0.032 m ³ /seg	Caudal medio 2038.
\emptyset	=	30 min	1800 segundos periodo de retención hidráulica, según norma técnica peruana OS 090
L_a	=	2.45 m	longitud actual de cámara de contacto de cloro.
A_a	=	1.20 m	ancho actual de cámara de contacto de cloro.
H_a	=	1.90 m	altura actual de cámara de contacto de cloro.
A/L	=	1/2	Según norma técnica peruana OS 090.

Calculando:

Mediante la ecuación N° 18, calculamos el volumen total de la estructura, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}V &= \emptyset \times Q_m \\V &= 1800 \times 0.032 \\V &= 57.60 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Ahora tomando la altura de la estructura existente, podremos obtener el área superficial, largo y ancho del cámara de contacto con cloro.

$$A = \frac{V}{H_a} = \frac{57.60}{1.90} = 30.32 \text{ m}^2$$

Por consiguiente:

$$\begin{aligned}A &= 2B^2 \\30.32 &= 2B^2 \rightarrow B = 3.89 \text{ m} \equiv 3.90 \text{ m}\end{aligned}$$

Entonces:

$$L = 2B = 2 \times 3.90 = 7.80 \text{ m}$$

La distancia de recorrido será igual a:

$$D = \frac{L}{\# \text{ de paneles}} = \frac{7.80}{7} = 1.11 \equiv 1.15 \text{ m en cada panel}$$

3.6.4. Análisis de datos meteorológicos:

Para el análisis de datos meteorológicos fue netamente referido a la temperatura del agua residual con la que llega a cada sistema de tratamiento y a la temperatura ambiente en las zonas de investigación. Este parámetro es necesario para la determinación de los periodos de retención en cada estructura.

3.6.4.1. Sistema de tratamiento de Huacoto:

En el caso del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto se verificó durante el transcurso de un día, este procedimiento se realizó al mismo tiempo que la medición de caudal. En la siguiente tabla se muestra la temperatura del agua residual y de la temperatura ambiente durante intervalos de 10 minutos.

Tabla 32: Datos de medición de temperatura en el sistema de tratamiento de Huacoto.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



DATOS METEREOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUACOTO

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO

Fecha: 21/07/2018

LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUACOTO

Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
05:40 a.m.	8.20	4.60
05:50 a.m.	8.30	4.70
06:00 a.m.	8.30	4.80
06:10 a.m.	8.40	4.90
06:20 a.m.	8.50	5.00
06:30 a.m.	8.50	5.00
06:40 a.m.	8.60	5.10
06:50 a.m.	8.60	5.20
07:00 a.m.	8.60	5.40



**DATOS METEREOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
 RESIDUALES DE HUACOTO**

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO

Fecha: 21/07/2018

LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUACOTO

Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
07:10 a.m.	8.70	6.00
07:20 a.m.	8.70	6.20
07:30 a.m.	8.80	6.40
07:40 a.m.	8.80	7.10
07:50 a.m.	8.90	7.40
08:00 a.m.	8.90	7.90
08:10 a.m.	8.90	8.30
08:20 a.m.	9.00	8.80
08:30 a.m.	9.10	9.10
08:40 a.m.	9.20	9.90
08:50 a.m.	9.30	10.00
09:00 a.m.	9.30	10.20
12:00 p.m.	9.90	16.80
12:10 p.m.	9.90	16.40
12:20 p.m.	9.80	15.80
12:30 p.m.	9.70	15.30
12:40 p.m.	9.60	15.10
12:50 p.m.	9.60	13.90
01:00 p.m.	9.50	12.70
01:10 p.m.	9.50	10.80
01:20 p.m.	9.30	13.80
01:30 p.m.	9.20	13.50
01:40 p.m.	9.30	14.00
01:50 p.m.	9.20	15.40
02:00 p.m.	9.30	15.50
05:40 p.m.	8.80	12.40
05:50 p.m.	8.80	10.60



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



DATOS METEREOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUACOTO

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO **Fecha:** 21/07/2018
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUACOTO

Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
06:00 p.m.	8.80	8.30
06:10 p.m.	8.70	7.40
06:20 p.m.	8.70	6.00
06:30 p.m.	8.60	5.60
06:40 p.m.	8.70	4.90
06:50 p.m.	8.70	4.50
07:00 p.m.	8.60	3.90
07:10 p.m.	8.60	3.40
07:20 p.m.	8.70	2.80
07:30 p.m.	8.60	2.30
07:40 p.m.	8.60	2.20
07:50 p.m.	8.50	2.00
08:00 p.m.	8.50	1.90

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la cual podemos desprender la siguiente grafica de variación de temperatura.

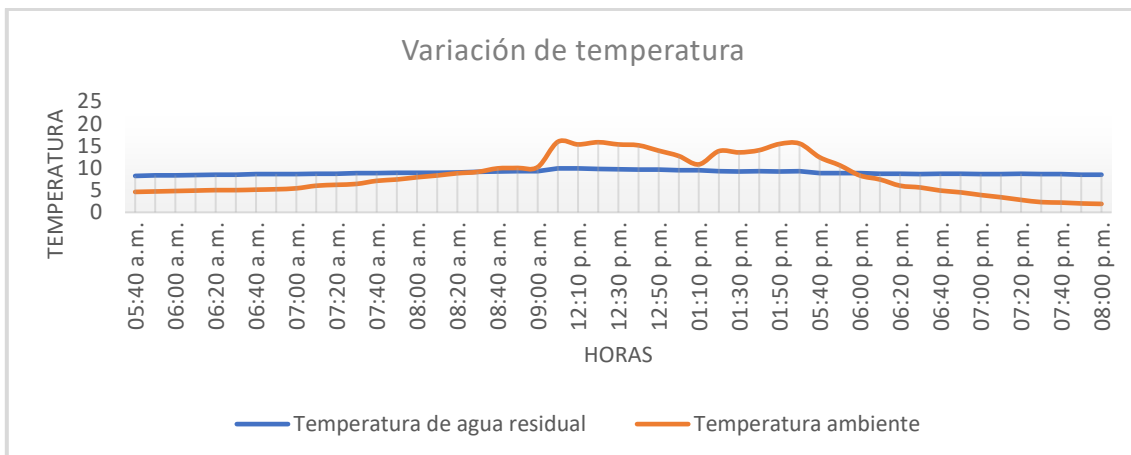


Figura 45: Variación de temperatura ambiente y flujo de agua residual del sistema de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.6.4.2. Sistema de tratamiento de Saylla:

Para el Sistema de tratamiento de aguas residuales en Saylla, se procedió de igual manera, la obtención de la variación de temperatura, para la obtención de datos se tomó como punto de partida el canal de ingreso al sistema, el mismo día donde se tomaron las medidas de la variación de caudales. Además de utilizar el equipo debido a la variación de la altura con respecto al nivel del mar se verificó una tendencia superior con respecto al otro sistema de tratamiento de Huacoto. Los datos obtenidos se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 33: Datos de medición de temperatura en el sistema de tratamiento de Saylla.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



DATOS METEREOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLA

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO **Fecha:** 28/07/2018
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLA

Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
05:40 a.m.	16.10	12.65
05:50 a.m.	16.10	12.60
06:00 a.m.	16.20	12.80
06:10 a.m.	16.20	13.00
06:20 a.m.	16.20	13.05
06:30 a.m.	16.20	13.10
06:40 a.m.	16.20	13.40
06:50 a.m.	16.20	14.41
07:00 a.m.	16.30	14.40
07:10 a.m.	16.30	16.10
07:20 a.m.	16.40	17.70
07:30 a.m.	16.30	17.70
07:40 a.m.	16.30	17.80
07:50 a.m.	16.30	17.80
08:00 a.m.	16.40	17.80
08:10 a.m.	16.40	17.90
08:20 a.m.	16.40	17.90



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



DATOS METEOROLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLA

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO

Fecha: 28/07/2018

LUGAR:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLA

Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
08:30 a.m.	16.50	17.90
08:40 a.m.	16.50	18.00
08:50 a.m.	16.50	18.10
09:00 a.m.	16.50	18.10
12:00 p.m.	16.60	21.20
12:10 p.m.	16.70	21.30
12:20 p.m.	16.70	21.50
12:30 p.m.	16.70	21.70
12:40 p.m.	16.80	21.80
12:50 p.m.	16.90	22.00
01:00 p.m.	16.90	22.20
01:10 p.m.	16.90	22.00
01:20 p.m.	16.80	21.80
01:30 p.m.	16.70	21.60
01:40 p.m.	16.70	21.50
01:50 p.m.	16.60	21.40
02:00 p.m.	16.60	21.10
05:40 p.m.	16.10	12.20
05:50 p.m.	16.20	12.10
06:00 p.m.	16.20	11.90
06:10 p.m.	16.20	11.80
06:20 p.m.	16.20	11.70
06:30 p.m.	16.10	11.50
06:40 p.m.	16.10	11.30
06:50 p.m.	16.00	11.20
07:00 p.m.	16.00	11.10
07:10 p.m.	16.00	10.70



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



DATOS METEREOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLA

TESISTA: Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO **Fecha:** 28/07/2018
LUGAR: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAYLLA

Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
07:20 p.m.	16.00	10.50
07:30 p.m.	16.00	10.50
07:40 p.m.	16.00	10.50
07:50 p.m.	15.90	10.20
08:00 p.m.	15.90	10.10

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De los datos obtenidos en el proceso de recolección podemos obtener la siguiente gráfica de la variación de la temperatura.

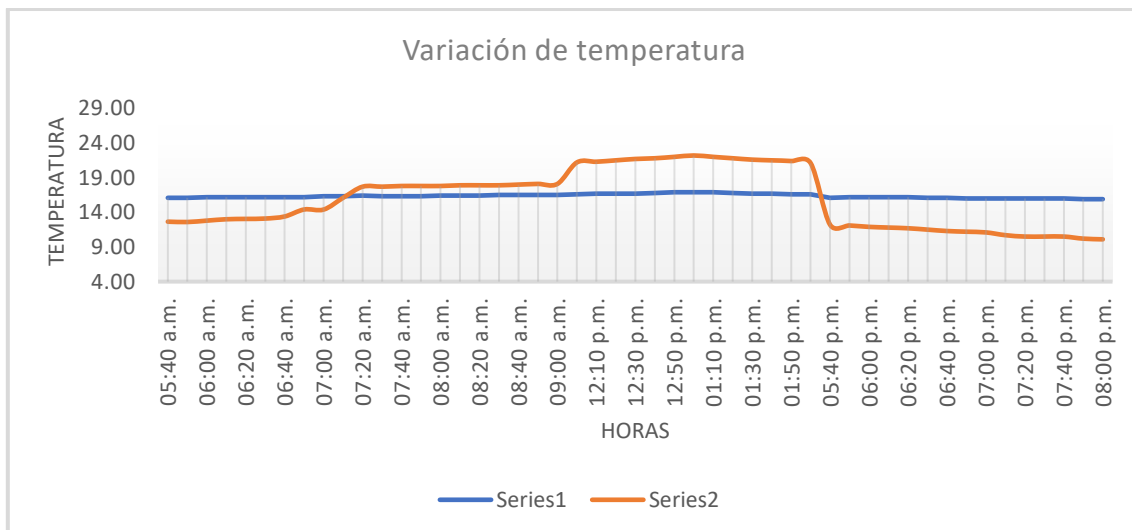


Figura 46: Variación de temperatura ambiente y flujo de agua residual del sistema de tratamiento de Saylla

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Con estos datos se finalizó con el procedimiento de obtención de datos para cada tipo de análisis, lo cual servirá como la corroboración de la Hipótesis tanto general como específicas.

4. Capítulo IV: Resultados:

4.1. Eficiencia física, química y bacteriológica de los sistemas de Tratamiento:

4.1.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla:

Los datos a continuación dan a conocer los parámetros obtenidos de las muestras del sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla, tanto de entrada y salida, así como su eficiencia de remoción la cual es comparada con los límites máximos permisibles según el MINAM; la eficiencia de remoción es comparada con la eficiencia de remoción según la norma técnica peruana OS 090 para un sistema por filtros biológicos.

Tabla 34: Eficiencia de remoción real y teórica para el sistema de tratamiento de Saylla.

Ensayo (s)	Unidad	Ingreso o PTAR	Salida PTAR	LMP-MINAM	Cumplimiento	Eficiencia	OS 090 (filtros biológicos)
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5,4x10 ⁷	1,6x10 ⁷		no es admisible para vertimiento	70.37%	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2,2x10 ⁶	1,7x10 ⁶	10,000.00	no es admisible para vertimiento	22.73%	
DBO ₅	mg/L	131.78	53.64	100.00	si cumple	59.30%	50% a 90%
DQO	mg/L	303.84	87.27	200.00	si cumple	71.28%	
Sólidos totales en suspensión	mg/L	109.50	33.85	150.00	si cumple	69.09%	70% a 90%
Aceites y grasas	mg/L	13.60	6.20	20.00	si cumple	54.41%	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En el cuadro se aprecia que la calidad del efluente no cumple con los límites máximos permisibles según MINAM, tampoco la remoción de sólidos suspendidos en el sistema no alcanza la remoción teórica según norma OS 090.

De los resultados obtenidos se encuentran los parámetros bacteriológicos que corresponde a los coliformes totales y coliformes fecales, mientras que los parámetros químicos son La DBO₅ y la DQO, y dentro de los parámetros físicos se encuentran los sólidos totales en suspensión, aceites y grasas; el parámetro físico la temperatura fue medida independientemente y se encuentra en el ítem 4.4; esto es de acuerdo marco teórico de la tesis.

4.1.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto:

Los datos a continuación dan a conocer los parámetros obtenidos de las muestras del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto, tanto de entrada y salida, así como su eficiencia de remoción la cual es comparada con los límites máximos permisibles según el MINAM; la eficiencia de remoción es comparada con la eficiencia de remoción según la norma técnica peruana OS 090 para un sistema por sedimentación por ser la más básica encontrada dentro de la norma:

Tabla 35: Eficiencia de remoción real y teórica para el sistema de tratamiento de Huacoto.

Ensayo (s)	Unidad	Ingreso o PTAR	Salida PTAR	LMP- MINAM	Cumplimiento	Eficiencia	OS 090 (sedimentación)
Coliformes Fecales	NMP/10 0 ml	2,2x10 ⁵	2,2x10 ⁵	10,000.00	no es admisible para vertimiento	0.00%	
DBO ₅	mg/L	28.96	25.98	100.00	si cumple	10.29%	25% a 30%
DQO	mg/L	51.72	48.48	200.00	si cumple	6.26%	
Sólidos totales en suspensión	mg/L	6.00	7.00	150.00	si cumple	-16.67%	40% a 70%
Aceites y grasas	mg/L	2.50	0.60	20.00	si cumple	76.00%	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El cuadro indica que no existe remoción de coliformes fecales por lo tanto no cumple con los límites máximos permisibles del MINAM; así como también no alcanza la remoción mínima requerida por la norma técnica peruana OS 090 para una estructura básica.

De los resultados obtenidos se encuentran los parámetros bacteriológicos que corresponde a los coliformes totales y coliformes fecales, mientras que los parámetros químicos son La DBO₅ y la DQO, y dentro de los parámetros físicos se encuentran los sólidos totales en suspensión, aceites y grasas; el parámetro físico la temperatura fue medida independientemente y se encuentra en el ítem 4.4; esto es de acuerdo marco teórico de la tesis.

4.2. Eficiencia de la capacidad de tratamiento de caudales:

4.2.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla:

Los resultados obtenidos para caudal medio, caudal máximo y caudal mínimo resultan del análisis estadístico de obtener la mediana, valor mínimo y máximo de la tabla donde se aforo el caudal para el sistema de tratamiento de Saylla, este es comparado con el teórico calculado en base de la población para el mismo año y los parámetros de la norma técnica peruana OS 100. El siguiente cuadro muestra la variación:

Tabla 36: Caudal real y teórico calculado para el sistema de tratamiento de Saylla.

Caudal medido en el sistema de tratamiento			Caudal teórico calculado para el sistema de tratamiento		
Caudal Mínimo	Caudal Medio	Caudal Máximo	Caudal Mínimo	Caudal Medio	Caudal Máximo
15.96 lt/seg	17.23 lt/seg	21.03 lt/seg	6.87 lt/seg	22.90 lt/seg	54.70 lt/seg

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para mayor comprensión estos datos serán expresados en la siguiente figura:

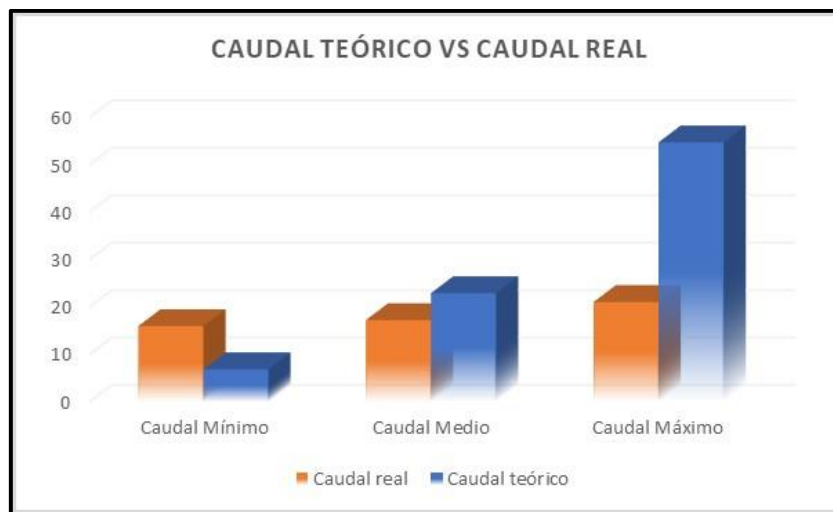


Figura 47: Comparación de caudal real con el caudal teórico calculado.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Del gráfico se aprecia que el caudal máximo calculado y el caudal mínimo; difieren mucho de los datos reales; pero el caudal medio aforado se acerca al caudal medio calculado, lo cual indica que se ajusta al diseño.

4.2.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto:

Los resultados para caudal medio, caudal máximo y caudal mínimo en el sistema de tratamiento de Huacoto; se obtuvieron mediante el análisis estadístico de los datos de campo como es el uso de mediana, máximo valor y mínimo valor, el cual será comparado con el caudal teórico producido durante el mismo año y los parámetros de la norma técnica peruana OS 100. El siguiente cuadro muestra la variación:

Tabla 37: Caudal real y teórico calculado para el sistema de tratamiento de Huacoto.

Caudal de diseño para el 2008	Caudal medido en el sistema de tratamiento			Caudal teórico calculado para el sistema de tratamiento		
	Caudal Mínimo	Caudal Medio	Caudal Máximo	Caudal Mínimo	Caudal Medio	Caudal Máximo
0.23 lt/seg	0.09 lt/seg	0.12 lt/seg	0.14 lt/seg	0.20 lt/seg	0.66 lt/seg	3.32 lt/seg

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para mayor comprensión estos datos serán expresados en la siguiente figura:

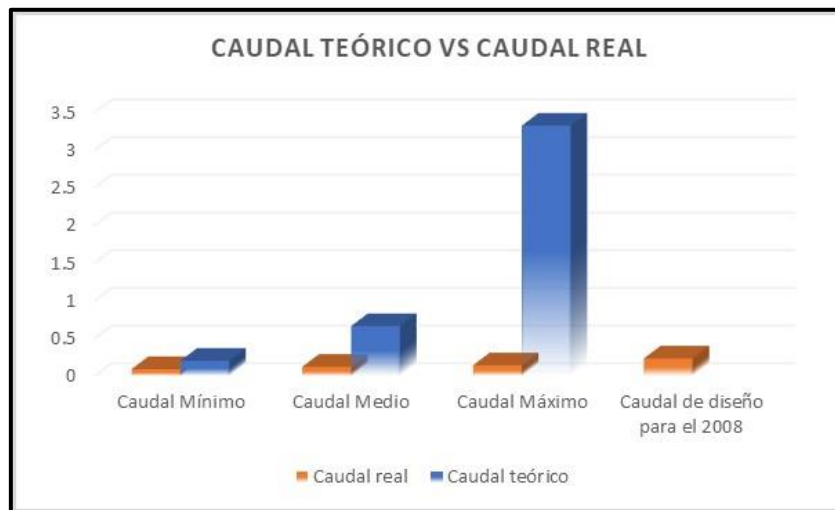


Figura 48: Comparación de caudal real con el caudal teórico calculado.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la imagen se puede apreciar que el caudal mínimo aforado es superior al calculado, el caudal medio se mantiene cercano, pero el caudal máximo aforado es 23 veces menor que el calculado. Por consiguiente, para un posible diseño se tomará el caudal medio por una variación mínima entre el aforado y el teórico. Las fórmulas de estimación no se adecuan para un sector rural.

4.3. Eficiencia hidráulica según dimensionamiento de estructuras de tratamiento:

4.3.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla:

Para el sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla se han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 38: Dimensión real de estructuras y calculada

Estructura	Actual			Calculado		
	Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
Cámara de rejas	0.60	0.45	1.30	0.55	0.45	0.50
Desarenador	3.00	1.00	1.25	8.55	2.85	1.25
Filtro anaerobio de flujo ascendente	13.40	8.00	No se tiene por estar sellado	21.50	10.75	4.20
Filtro biológico	8.00	5.45	1.70	7.95	5.30	1.95
Cámara de cloración	2.45	1.20	1.90	7.80	3.90	2.05

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para el análisis de las estructuras se usaron medidas y relación de ancho y largo de las existentes debido para una adecuada comparación, mediante otros métodos presentados dentro de la investigación.

4.3.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto:

El sistema de tratamiento de aguas residuales en el centro poblado de Huacoto tiene la finalidad de incorporar aire y tratar el agua, el oxígeno disuelto total incorporado es de 23.25 mgO₂/litro. Esto produce que haya mayor actividad bacteriológica, incrementando los sólidos suspendidos totales. Esto indica que la eficiencia de este sistema es para parámetros físicos, químicos más no eliminación bacteriológica y necesita estructura para remediar este déficit.

4.4. Eficiencia para la retención de lodos en los sistemas de tratamiento:

4.4.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla:

Durante el tratamiento de aguas residuales por la oxidación de la materia orgánica se generan lodos, los cuales deben ser dispuestos en estructuras de digestión de lodos, lechos de secado y

posterior eliminación. Para ello es necesario conocer las temperaturas del fluido y así según la norma OS.090 determinar el tiempo de digestión de los mismos.

A continuación, se muestra un cuadro donde se determina la temperatura máximas, mínimas y medias de la temperatura ambiente, del fluido y la temperatura de acuerdo a la Norma Técnica Peruana para una adecuada digestión de lodos.

Tabla 39: Temperaturas obtenida y las establecidas por la NTP OS.090 para el Sistema de Tratamiento de Saylla.

Temperatura	Real		Norma Técnica	
	Ambiente °C	Fluido °C	OS.090 °C	Tiempo de retención
Máxima	22.20	16.90	25	55 días
Media	16.10	16.30	15	
Mínima	10.10	15.90	5	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se puede apreciar que la variación de temperatura del fluido no ha variado drásticamente durante todo el día de muestreo. Según el análisis el fluido se encuentra a una temperatura de 15 a 20 °C, lo cual indica un tiempo de digestión de lodos de 55 días. Además, por más que la temperatura ambiente se incremente o disminuya drásticamente la del fluido no; esta misma se encuentra dentro del valor mínimo de tratamiento según norma.

El término usado para referirse al agua residual para este cuadro es como fluido.

4.4.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto:

De igual manera se verifica la temperatura variación de la temperatura ambiente, fluido con respecto a la NTP OS.090, para el sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto, en el siguiente cuadro:

Tabla 40: Temperaturas obtenida y las establecidas por la NTP OS.090 para el Sistema de Tratamiento de Huacoto.

Temperatura	Real		Norma Técnica	
	Ambiente °C	Fluido °C	OS.090 °C	Tiempo de digestión
Máxima	16.80	9.90	25	76 días
Media	7.40	8.80	15	
Mínima	1.90	8.20	5	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Del cuadro se puede apreciar que se incrementó el tiempo de digestión de lodos debido a la temperatura del fluido del sistema de Huacoto con respecto a Saylla. El sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto no cuenta con una cámara de digestión de lodos o lecho de secado, esto genera una interrogante con que se va a hacer con el lodo producido. Esto genera una deficiencia en este sistema, porque en los resultados anteriores se demuestra que se está produciendo un trabajo de oxidación incrementando el valor de los sólidos suspendidos a la salida del sistema de tratamiento.

El término usado para referirse al agua residual para este cuadro es como fluido.



5. Capítulo V: Discusión:

¿Por qué la eficiencia en la remoción de los coliformes totales y fecales es muy baja en los actuales sistemas de tratamiento de aguas residuales?

Para el caso del sistema de tratamiento de Saylla, esto se debe a que la población bacteriana no es la suficiente para eliminar o alimentarse de los coliformes que contiene el agua residual, debido a que las condiciones para su reproducción de la misma no es la más óptima, ya que necesita elevadas cantidades de oxígeno para realizar dicha labor. Esto se muestra más en la etapa de tratamiento secundario del sistema. Además, que el tratamiento en este sistema se basa en un sistema aerobio, pero se encontró estructuras selladas.

Lo mismo ocurre en el caso del sistema de tratamiento de Huacoto, con la diferencia que esta se basa en la oxigenación en cada salto hidráulico que se da durante el flujo de agua residual, debido a la altura a la que se encuentra este sistema de tratamiento se encuentra menos oxígeno en el ambiente el cual se incorpora al tratamiento, pero no es el suficiente para la eliminación de los coliformes fecales. En este caso la utilización de una cámara de contacto de cloro disminuiría en gran medida los índices de coliformes fecales.

En la investigación solo se cuantificó los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos; para ser comparados con los límites máximos permisibles de la normatividad para determinar su eficiencia; pero estos datos dan lugar a posibles nuevas investigaciones donde se puede determinar si el proceso de oxigenación de aguas residuales a alturas superiores de los 4000 m.s.n.m. como es el caso de Huacoto.

La investigación citada anteriormente para el sistema de tratamiento de Huacoto indica que el tiempo de retención es de 3 horas, el cual ha demostrado a la fecha de obtención de datos que no es el suficiente para su tratamiento, por lo cual sería necesario alargar el periodo de retención. En el sistema de tratamiento de Saylla el periodo de retención en las estructuras primarias es de 6 horas y en el filtro de anaerobio debe ser de 12 horas, en los filtros biológicos es de 6 horas, pero aun así no pueden disminuir la carga de coliformes, por lo cual el flujo en cada estructura debería prolongarse hasta la cámara de contacto de cloro, donde los índices de coliformes deberían estar por debajo de los límites máximos permisibles según la normatividad peruana.

¿Qué demuestra la variación del caudal de ingreso real con el calculado en los actuales sistemas de tratamiento?

Para los sistemas de tratamiento de Saylla y Huacoto, los caudales medidos (mínimos, máximos y medios); la variación no es muy drástica durante el día, lo cual indica que el uso del recurso



de agua potable es constante. Pero el análisis del caudal calculado indica que las mismas se alejan de la actual realidad. Esto es originado por dos motivos: el uso de agua potable en el sistema de tratamiento de Saylla, es continuo por la actividad comercial a la cual se dedica (restaurants, quintas); donde el uso de agua se da durante todo el proceso de preparado de alimentos. En el sistema de tratamiento de Huacoto se origina por que el uso del agua es mínimo, ya que durante la mayor parte del día la población se encuentra en labores de pastoreo y el preparado de alimentos, así como la limpieza no se da de manera frecuente.

El caudal de diseño para el 2008 para el sistema de tratamiento de Huacoto es de 0.23 lt/seg el cual está por encima del real a la fecha, y no se conoce el caudal de diseño del sistema de tratamiento Saylla por problemas legales que tiene; en el caso de Saylla el flujo se volvió superficial y el periodo de retención no se está cumpliendo, esto se asevera con la calidad del agua residual de salida. En el caso de Huacoto el caudal no ha sufrido un incremento notable, debido a la baja tasa de crecimiento poblacional.

Esto puede originar una posible investigación de los métodos de cuantificación de caudal pueden aplicarse a nuestra realidad.

Porque actualmente los caudales medidos y calculados difieren mucho lo cual genera la reducción de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para cada sistema.

¿Cuáles son los problemas que puede generar un deficiente diseño hidráulico de los sistemas de tratamiento?

Un deficiente dimensionamiento, además de generar gastos innecesarios en el proceso de construcción, en la investigación nos enfocamos a la eficiencia de diseño hidráulico, donde se puede desprender que:

En el sistema de tratamiento de Saylla, no se ha realizado una correcta caracterización del agua residual, por consiguiente esto produce la construcción de estructuras inadecuadas para el sistema de tratamiento; en todo sistema de tratamiento la primera estructura de ingreso es una cámara de rejas, con la finalidad de eliminar material de diámetro superior a 1", para luego pasar a un desarenador o sedimentador según exija el tipo de agua residual; en ambos casos se necesita un diámetro específico de partícula, el cual debe precipitarse en un periodo de tiempo determinado, al contener material de diámetro más grande este puede generar turbulencia durante el flujo lo cual evita que las partículas más finas decanten. Los Filtros anaerobios de flujo ascendente son estructuras de tratamiento primario y secundario, cuya finalidad es la extracción de lodos, remoción de partículas y reducir en un 70% la demanda bioquímica de oxígeno; el cual amerita otro tipo de requerimientos, además de que el tipo de agua residual



contiene grasas, y este sistema no contiene una cámara de eliminación de grasas, en el filtro anaerobio, en la parte superior genera una costra de grasas. Este sistema además cuenta con un filtro biológico que no contiene un medio poroso donde se adhiera la película bacteriana para la eliminación de los coliformes, por eso el tratamiento de coliformes en este sistema es deficiente, este mismo parámetro puede ser controlado con la cámara de cloración, pero también no cuenta con la inyección o sistema de adición de cloro, por lo cual el sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla no trata de manera eficiente, enviando una gran cantidad de coliformes al cuerpo receptor.

En el caso del sistema de tratamiento de Huacoto, solo cuenta con una escalera de oxigenación, donde los parámetros físicos y químicos están por debajo de los límites máximos permisibles, pero en el tema bacteriológico este tipo de sistema no lo trata, este tipo de sistema necesita la incorporación de un tratamiento secundario donde se eliminan los coliformes fecales. Debido a que el DBO es bajo, este tipo de sistemas necesitan tratamientos básicos como filtros biológicos, o lagunas de oxidación si se contará con terrenos para la construcción del mismo ya que por ser una zona fría y menor oxígeno, este necesita mayor tiempo de retención. Este sistema puede ser catalogado como deficiente, debido a que envía al cuerpo receptor grandes cantidades de coliformes fecales.

En ninguno de los casos se ha verificado estructuras auxiliares o de emergencia, para el desvío de excedentes o para el mantenimiento de las estructuras, por lo cual cada sistema es deficiente, debido a que la normatividad indica que cuando se den estos procesos de limpieza y mantenimiento o de emergencia las estructuras deben seguir funcionando para no interrumpir el proceso de tratamiento de aguas residuales.

¿Qué problemas puede ocasionar la variación de temperatura del fluido y del ambiente en los sistemas de tratamiento?

En ambos sistemas de tratamiento de aguas residuales se puede observar que la variación de temperatura ambiente ocasiona la prolongación de los periodos de retención del agua residual en cada sistema de tratamiento. Además, que en el sistema de tratamiento de Huacoto las variaciones de temperatura del fluido son de 15 grados aproximadamente, mientras que el agua residual se mantiene casi constante, la variación de dicha temperatura afecta drásticamente a las bacterias, evitando que estas consuman a los coliformes. En el caso del sistema de tratamiento de Saylla la variación de temperatura ambiente no varía en más de 12 grados.

De la investigación podemos dar luz a una posible investigación, que intentaría cuantificar y evaluar la eficiencia de la escalera de oxigenación en diferentes pisos altitudinales.



¿Qué beneficios generan la correcta operación y mantenimiento en la eficiencia de tratamiento?

En el sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto no existe protocolos de operación ni registro de mantenimiento por parte de la JASS de Huacoto que administra dicho sistema. De igual manera en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla tampoco se encuentran protocolos de operación y mantenimiento del sistema por parte de la Municipalidad Distrital de Saylla la cual está a cargo, uno de los valores alarmante es de coliformes totales que están muy por encima de los límites máximos permisibles establecidos por MINAM. Pero este factor es clave durante el proceso de tratamiento, debido a que la eliminación de material no biológico, estos sistemas no cuentan con un proceso mecanizado para la limpieza o eliminación de la materia orgánica e inorgánica, por esto se puede obstruir los conductos de flujo, deteriorar las estructuras. Según la norma técnica peruana OS 090 este plan de operación y mantenimiento es obligatorio.



Glosario de términos

Adsorción, Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

Absorción, Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

Acidez, La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidroxilo hasta un pH de neutralización.

Aeración, Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascada, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Aeración mecánica, Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.

Aireación prolongada, Una modificación del tratamiento con lodos activados que facilita la mineralización del lodo en el tanque de aeración.

Afluente, Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

Agua residual, Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

Agua residual doméstica, Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Anaerobio, Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

Análisis, El examen de una sustancia para identificar sus componentes.

Bacterias, Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

Bases de diseño, Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coniformes fecales y nutrientes.

Biodegradación, Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

Biopelícula, Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.



BY-PASS, Conjunto de elementos utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia, de mantenimiento o de operación.

Carga de diseño, Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico que se usa para dimensionar un proceso de tratamiento.

Carga superficial, Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

Caudal pico, Caudal máximo en un intervalo dado.

Caudal máximo horario, Caudal a la hora de máxima descarga.

Caudal medio, Promedio de los caudales diarios en un periodo determinado.

Certificación, Programa de la entidad de control para acreditar la capacidad del personal de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento.

Clarificación, Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración, Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores.

Coagulación, Aglomeración de partículas coloidales ($<0.001\text{mm}$) y dispersas ($0.001^a 0.01\text{ mm}$) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

Coagulante, Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

Coliformes, Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$, en 24 horas, se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

Criba gruesa, Artefacto generalmente de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm) para remover sólidos flotantes de gran tamaño.

Criba media, Estructura de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4 cm) para remover sólidos flotantes y en suspensión; generalmente se emplea en el tratamiento preliminar.

Demanda bioquímica de oxígeno, Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Demanda química de oxígeno, Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.



Depuración de aguas residuales, Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Desarenadores, Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.

Desecho industrial, Desecho originado en la manufactura de un producto específico.

Deshidratación de lodos, Proceso de remoción del agua contenida en los lodos.

Desinfección, La destrucción de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante.

Difusor, Placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

Digestión, Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

Digestión aerobia, Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia, Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno.

Distribuidor rotativo, Dispositivo móvil que gira alrededor de un eje central y está compuesto por brazos horizontales con orificios que descargan el agua residual sobre un filtro biológico. La acción de descarga de los orificios produce el movimiento rotativo.

Eficiencia del tratamiento, Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.

Efluente final, Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Emisor, Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta un punto de disposición final.

Examen bacteriológico, Análisis para determinar y cuantificar el número de bacterias en las aguas residuales.

Filtro biológico, Sinónimo de “filtro percolador”, “lecho bacteriano de contacto” o “biofiltro”.

Grado de tratamiento, Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reuso.

Impacto ambiental, Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

Interceptor, Canal o tubería que recibe el caudal de aguas residuales de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento.



Lecho de secado, Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

Lodo activado, Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.

Lodo activado de excesos, Parte del lodo activado que se retira del proceso de tratamiento de las aguas residuales para su disposición posterior (vg. Espesamiento, digestión o secado).

Manejo de aguas residuales, Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

Medio filtrante, Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificar, tratamiento o acondicionamiento.

Muestreo, Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

Obras de llegada, Dispositivos de la planta de tratamiento inmediatamente después del emisor y antes de los procesos de tratamiento.

Oxígeno disuelto, Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido.

Parasito, Organismo protozoario o nematodo que habitando en el ser humano puede causar enfermedades.

Periodo de retención nominal, Relación entre el volumen y el caudal efluente.

pH, Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Planta de tratamiento, Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

Planta piloto, Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

Población equivalente, La población estimada al relacionar la carga de un parámetro (generalmente DBO, sólidos en suspensión) con el correspondiente aporte per cápita (g DBO/(hab.d) o g SS/(hab.d)).

Pretratamiento, Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

Proceso biológico, Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización.

Proceso de lodos activados, Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla (licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.



PTAR, planta de tratamiento de aguas residuales.

Reactor anaerobio de flujo ascendente, Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula en forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la estabilización parcial de la materia orgánica. El desecho fluye del proceso por la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto.

Requisito de oxígeno, Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.

Sedimentación primaria, Remoción de material sedimentable presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

Sedimentación secundaria, Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

Sistema combinado, Sistema de alcantarillado que recibe aguas de lluvias y aguas residuales de origen doméstico o industrial.

Sistema individual de tratamiento, Sistema de tratamiento para una vivienda o un número reducido de viviendas.

Sólidos activos, Parte de los sólidos en suspensión volátiles que representan a los microorganismos.

Tratamiento avanzado, Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

Remoción de sólidos en suspensión (microcribado, clarificación química, filtración, etc.)

Remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc.).

Remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, precipitación química, etc.)

Remoción de nutrientes (nitrificación-denitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc.).

Tratamiento anaerobio, Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento biológico, Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Tratamiento convencional, Proceso de tratamiento bien conocido y utilizado en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario y frecuentemente se incluyen la desinfección mediante cloración. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.



Tratamiento conjunto, Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en la misma planta.

Tratamiento de lodos, Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

Tratamiento en el terreno, Aplicación sobre el terreno de las aguas residuales parcialmente tratadas con el fin de alcanzar un tratamiento adicional.

Tratamiento primario, Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la material coloidal y disuelta.

Tratamiento químico, Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc.

Tratamiento secundario, Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.



6. Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones:

- ✓ **Conclusión N° 1:** De la Hipótesis general se llegó a la conclusión que los sistemas de tratamiento de aguas residuales del C.P. de Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla no han alcanzado la eficiencia requerida según la normatividad peruana, para ser precisos en las normas OS 090 y OS 100, tanto en la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos; caudales de tratamiento; dimensionado de estructuras de tratamiento y los aspectos meteorológicos las cuales se corroboran en el capítulo 4, donde también se corroboran las sub Hipótesis.

- ✓ **Conclusión N° 2:** De la Hipótesis 1 se llegó a la conclusión que la calidad del efluente si afecta en la eficiencia de tratamiento, según la normatividad peruana, para ser más específico la norma técnica peruana OS 090, que indica una eficiencia de remoción del parámetro químico (DBO) y del parámetro físico (sólidos suspendidos) del efluente. En el caso del sistema de tratamiento de Saylla que está basado en filtros percoladores la eficiencia de remoción de DBO según norma es el 50% y la eficiencia según la investigación es de 59.30% por lo cual, si cumple; pero para la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos según norma es de 70% y de la investigación se obtuvo un 69.09%, lo que indica que no alcanza el valor mínimo. En el sistema de tratamiento de Huacoto cuya tecnología está basada en la oxigenación y es del tipo experimental, se tomó la eficiencia de remoción mínima que debe alcanzar un sistema de tratamiento según la misma normativa; en este caso la eficiencia de remoción de DBO exigida es de 25% y en la investigación se obtuvo como resultado 10.29% lo que indica que no cumple y la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos propuestos en la norma es de 40% y la obtenida en la investigación fue un valor negativo de -16.67%; este valor negativo indica que la actividad bacteriana es mayor debido a la oxigenación que se da durante el proceso lo que demuestra un elevad valor en el efluente con respecto al valor de ingreso al sistema. El parámetro bacteriológico del efluente no cumple con los límites máximos permisibles según el decreto supremo N° 003-2010 MINAM en la cuál indica que el vertimiento en un cuerpo receptor no debe superar 10000 NMP/100 mL. En el caso del sistema de Saylla el valor alcanzado es de 1700000 la cual supera; y en el caso del sistema de Huacoto es de 220000. En ambos sistemas no cumple con lo requerido en el decreto supremo para vertimiento; además de contaminar el cuerpo receptor.



- ✓ **Conclusión N° 3:** De la Hipótesis 2 se llegó a la conclusión que el caudal de ingreso si afecta en la capacidad de tratamiento de aguas residuales; debido a la siguiente relación: a mayor caudal de ingreso mayor debe ser la actividad bacteriana para el consumo de la materia orgánica. Además, si el caudal de ingreso supera a la capacidad del sistema de tratamiento esta puede obstruir o dañar el proceso de tratamiento de forma irreversible. Del análisis se obtuvo que para el sistema de tratamiento de Saylla el caudal medio medido es de 17.23 lt/seg; mientras que el caudal medio calculado fue de 22.90 lt/seg y el caudal máximo medido fue de 21.03 lt/seg mientras que el calculado fue de 54.70 lt/seg; este dato demuestra que para el mismo año este sistema debe tener la capacidad de tratar un caudal ingreso mayor al actual sin sufrir daño y mantener la calidad de vertimiento en el cuerpo receptor. Para el sistema de tratamiento de Huacoto el caudal medio medido fue de 0.12 lt/seg mientras que el calculado fue de 0.66 lt/seg; además que el caudal máximo medido fue de 0.14 lt/seg y el calculado fue de 3.32 lt/seg; de igual manera demuestra que el sistema puede tratar un mayor caudal comparado al real que se cuantifico. Además, para este análisis teórico se uso la norma técnica peruana OS 090 y OS 100 para el cálculo; lo cual no es un valor certero a criterio del investigador debido a que generaliza valores de cálculo que muchas veces no pueden ser aplicables en la realidad de cada zona.

- ✓ **Conclusión N° 4:** De la Hipótesis 3 se llegó a la conclusión que los tipos de estructuras existentes si inciden en la eficiencia de tratamiento de cada sistema, porque cada estructura existente cumple con la remoción de un parámetro determinado y el tipo de proceso que se dará cuando el flujo de agua residual pase a través de las mismas. Para el sistema de tratamiento de Saylla que cuenta con una cámara de rejillas cuya profundidad medida es de 1.30 m. y la calculada es de 0.50 m; se evidencia un sobredimensionamiento de la estructura generando más costos durante la construcción y menor eficiencia en la remoción de material grueso por la acumulación de este material en la rejilla evitando el flujo de agua residual y produciendo un proceso anaerobio pasado los 1.20 m. de profundidad; luego el flujo de agua residual deberá al desarenador cuyas dimensiones son de 3 m de largo por 1 m de ancho mientras que el calculado es de 8.55m de largo por 2.85 m de ancho; esto indica que la precipitación de la arena dentro de la cámara no va a ser la más eficiente por el corto recorrido del flujo en esta cámara; pero para la sedimentación de las partículas más finas debieron ser retenidas en el filtro anaerobio de flujo ascendente cuyas medidas son de 13.40 m. de largo por 8 m.



de ancho mientras que el calculado es de 21.50 m. de largo por 10.75 m de ancho y una profundidad de 4.20 m que en comparación la estructura actual es muy pequeña para cumplir su propósito incluso recirculando en la segunda cámara construida; para el tratamiento secundario o biológico el agua residual pasa por un filtro biológico cuya profundidad de lecho filtrante es de 1.70 m, mientras que la calculada es de 1.95 m, esto indica que el agua residual debe atravesar una mayor altura de filtro para que las bacterias se adhieran al material filtrante pero dentro de la estructura no se encuentra ningún material que cumpla este proceso ya sea piedra porosa o celdas plásticas, debido a esta ausencia el agua residual atraviesa esta estructura sin cumplir con ninguna eficiencia de remoción; finalmente el flujo ingresará a una cámara de contacto de cloro cuyas medidas son de 2.45 m de largo por 1.20 m de ancho mientras que la calculada es de 7.80 m de largo por 3.90 m de ancho, esto indica que no cumple con la distancia de recorrido necesario para un adecuado contacto de cloro, además esta estructura no cuenta con un sistema que inyecte cloro para la disminución de los coliformes. Para este sistema se evidencia el sobredimensionamiento en algunas estructuras y en otras no alcanza las dimensiones calculadas con las cuales deberían trabajar, por lo que no alcanza la eficiencia necesaria para el tratamiento de aguas residuales. En el caso del sistema de tratamiento de Huacoto se pretende alcanzar la mayor eficiencia en la incorporación de oxígeno para la reducción de la materia orgánica mediante las bacterias que según la investigación se alcanza 23.25 mgO₂/litro; este sistema incrementa los sólidos suspendidos por el incremento de la población bacteriana, pero este tipo de sistema necesita una estructura que se encargue de la reducción de los coliformes fecales.

En ambos sistemas no se cuenta con estructuras paralelas para ininterrumpir el tratamiento de aguas residuales mientras se realiza el mantenimiento o limpieza de las estructuras principales.

- ✓ **Conclusión N° 5:** De la Hipótesis 4 se llegó a la conclusión que los aspectos meteorológicos si afecta en la eficiencia de tratamiento en cada sistema, esto se puede verificar en la norma técnica peruana OS 090 que indica que la temperatura del fluido condiciona el periodo de retención del agua residual en cada estructura de tratamiento. Para el sistema de tratamiento de Saylla la temperatura media del fluido es 16.30 °C la cual condiciona en el dimensionamiento de filtro anaerobio de flujo ascendente y el



filtro biológico; porque el metabolismo de la población bacteriana es más lento a menor temperatura y los procesos de nitrificación se anulan; además, el periodo de retención de lodos es de aproximadamente de 55 días por la temperatura media del fluido. En el sistema de tratamiento de Huacoto la temperatura del fluido es de 8.80 °C prolongando el periodo de retención de lodos a 76 días. En ambos casos la temperatura ambiente también determina la eficiencia en el tratamiento secundario o biológico, porque genera una disminución o incremento de la temperatura superficial del fluido produciendo cambios bruscos en la vida bacteriana. Cuando la temperatura del fluido no supera los 25 °C y no menor de los 20 °C se alcanza la mayor eficiencia en el tratamiento evitando la construcción de estructuras más grandes para el almacenamiento, así como también mejor calidad en el efluente.

6.2. Recomendaciones:

✓ **Recomendación N° 1:**

Como primera recomendación por parte del tesista es medir una vez al año los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos; cuya medición deberá ser realizada en el caso de Huacoto por la JASS de Huacoto, con apoyo a la Municipalidad Distrital de San Jerónimo y para el caso del sistema de tratamiento de Saylla este deberá realizarlo la Municipalidad Distrital de Saylla; esto con la finalidad de evidenciar y tomar acciones correctivas para un adecuado vertimiento en el cuerpo receptor del agua tratada que este por debajo de los límites máximos permisibles.

✓ **Recomendación N° 2:**

Para evitar daños y reducción de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en los sistemas de Huacoto y Saylla; se deberá cuantificar semestralmente el caudal de ingreso y salida mediante los procedimientos utilizados en la investigación o de manera sistematizada mediante sensores; porque si el caudal de ingreso supera al de diseño de los sistemas este deberá ser derivado directamente al cuerpo receptor para conservar la población bacteriana, no sobrepasar los volúmenes de tratamiento y preservar los periodos de retención; debido a la propiedad de autodepuración del agua por la dispersión de organismos y sólidos suspendidos, esto se da generalmente por precipitación pluvial y conexiones erradas en el sistema de transporte. Esta medición



deberá estar a cargo de la JASS por el sistema de Huacoto y de la Municipalidad Distrital de Saylla para el sistema de Saylla.

✓ **Recomendación N° 3:**

Se recomienda la construcción de estructuras de pretratamiento según cálculo hidráulico adjunto en anexos para el sistema de tratamiento de Saylla, tomando en cuenta los datos obtenidos durante la investigación para una correcta caracterización del agua residual además que las estructuras cuenten con un sistema doble, para realizar la limpieza, operación y mantenimiento de cámaras sin interrumpir el flujo de agua residual y su tratamiento en las otras sin afectar la calidad de vertimiento del efluente en el cuerpo receptor, según exige la norma técnica peruana OS 090. Además de reducir la profundidad de las estructuras debido a los procesos anaerobios que se generan en el fondo reduciendo la eficiencia de tratamiento. El cálculo hidráulico también considera a las estructuras existentes como cámaras de apoyo paralelas para reducir la carga contaminante y de emergencia por ello se recomienda no demoler las estructuras existentes, como es el caso del desarenador, filtro biológico, cámara de contacto de cloro. Además, se debe colocar un lecho plástico filtrante ampliando el área de contacto con la población bacteriana; en el caso de la cámara de contacto de cloro se deberá construir una estructura de inyección de cloro al flujo que garantice la eficiencia y la calidad del efluente.

En el caso del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto es necesario incorporar una cámara de contacto de cloro para reducir los coliformes fecales del agua residual además de un sedimentador secundario para remover los sólidos suspendidos. De igual manera construir cámaras dobles paralelas para operaciones de limpieza y mantenimiento.

Dentro del anexo 3 se adjunta una propuesta del cálculo hidráulico para el tratamiento de aguas residuales propuesta por el investigador para incrementar la eficiencia de remoción de los mismos.



✓ **Recomendación N° 4:**

Se recomienda la medición constante del fluido y del ambiente para evitar caídas precipitadas de temperatura que matan o inhiban los procesos biológicos de purificación del agua residual. En el caso del sistema de Saylla se recomienda considerar el incremento artificial de temperatura del fluido mediante calderas de ser necesario; esto lo deberá realizar el personal de la Municipalidad Distrital de Saylla. Para el sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto por encontrarse a una altura superior a los 4000 m.s.n.m. se recomienda evaluar el proceso con temperaturas por debajo de los 5°C y así incrementar el tiempo de retención en el sistema; en este caso deberá ser realizado por la JASS de Huacoto.

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Saylla construir un sistema separativo para aguas pluviales paralelo a los colectores de aguas residuales, debido a que el incremento por precipitaciones pluviales del caudal daña los sistemas de tratamiento.

✓ **Recomendación N° 5:**

Se recomienda la capacitación de personal para la operación y mantenimiento periódico en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de manera segura; con la finalidad de limpiar o eliminar material grueso, material fino, arenas, cambio de lecho filtrante, dosificación de pastillas de cloro en las cámaras de contacto de cloro, remoción de lodos deshidratados. Esto podría ser realizado por la Universidad Andina del Cusco, Autoridad Nacional del Agua, Ministerio del Ambiente; o por la Municipalidad Distrital de Saylla y San Jerónimo.

Una correcta operación optimiza la eficiencia de las estructuras en el tratamiento; y un correcto mantenimiento evita el deterioro de las estructuras de tratamiento.



Bibliografía

- Alianza por el Agua. (Sin fecha). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Centroamérica.
- Antón, A., & Lizaso, J. (2010). Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas. En Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. MADRID.
- Arce Velasquez, A. L., Calderón Mólgora, C. G., & Tomasini Ortiz, A. C. (Sin fecha). Serie Autodidacta de Medición de la Calidad del Agua. *Fundamentos Técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales*.
- Bermeo Castillo, L. E. (2011). *Estudio del cosechado de cultivos de Microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado*. Cádiz: Universidad Técnica Particular de Loja.
- CAPRE, ANDESAPA, OPS/CEPIS,GTZ. (Agosto de 1988). *Determinación del Grado de Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Hoja Técnica M 755*.
- Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. (Noviembre de 1996). Cloruros Totales en el Agua de Abastecimiento. Mexico: Instituto Politécnico.
- Cooperativa de Texas Extensión. (2001). *Sistemas Individuales para el Tratamiento de Aguas Negras*.
- Curt Fernández, J., & Dolores, M. (2014). *Métodos Analíticos para Aguas Residuales*.
- DIGESA. (Sin fecha). GESTA AGUA. *Parámetros Organolépticos*.
- Fondo Nacional del Ambiente. (2010). *Oportunidades De Mejoras Ambientales Por El Tratamiento De Aguas Residuales En El Perú*.
- Gómez Agudelo, M. (sin fecha). *Apoyo Ambiental BLIGOO*. Obtenido de <http://apoyoambiental.bligoo.com.co/media/users/19/973332/files/225766/CaracteristicasAgua.pdf>
- HC Ingenieros. (marzo de 2014). *Manual de Operación, Mantenimeinto y Control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Medellín, Colombia.
- Mezquita, A. (sin fecha). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales a Base de Enzimas y Bacterias*.
- Milacron Mexicana Sales S.A. (2004). *¿Porqué es importante el oxígeno disuelto?* Queretaro.
- Pedraza, P. A. (2009). Tesis: *Planta de tratamiento de aguas residuales para regadío en la UNMSM*.



- Rojas, R. (2002). Conferencia Eliminación de Microorganismos por Diversos Procesos de Tratamiento. *Gestión Integral del Tratamiento de Aguas Residuales*.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá.
- Sambrosio, E. (sin fecha). *Demanda Bioquímica de Oxígeno*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.
- Secretaría de Economía. (Sin fecha). *CONAGUA*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-072-SCFI-2001.pdf>
- SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las PTAR en el ámbito de operación de las EPS de Saneamiento*. Lima.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., Schertenlieb, R., & Zurbrugg, C. (2018). *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. Dübendorf, Suiza: Departamento de Saneamiento, Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo.
- Velázquez Monroy, M., & Ordorica Vargas, M. Á. (1982). *Ácidos, Bases, pH y Soluciones Reguladoras*.



Anexos: