

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de posgrados

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas de Gestión Ambiental

Tema: Dimensionamiento de una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo en Salache - Latacunga

Autor: Vásconez Basantes, Franklin Patricio

Director: Pino Vallejo, Marco Vinicio

Sangolquí

2020

INTRODUCCIÓN

En la parroquia Eloy Alfaro perteneciente al cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi se encuentra Salache con una población de aproximadamente 3250 personas. El agua para consumo la obtienen de los pozos Agustín 1, Agustín 2 y Agustín Leandro, estos acuíferos se ubican en el sector denominado San Agustín. El agua una vez captada es almacenada en tanques reservorios y distribuida sin un previo tratamiento. Realizados los respectivos análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, se ha determinado que el agua contiene niveles altos de sulfatos, alcalinidad y dureza, de acuerdo a la norma INEN 1108.

Para lo cual, se propone un modelo de tratamiento por filtración lenta y desinfección con cloro, validado mediante la utilización de un filtro que representa una sección del diseño, para potabilizar el agua y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Análisis de laboratorio en mayo de 2019 de los pozos de San Agustín

INEN 1108

Análisis físico
químico del
agua

Sulfatos: <200
mg/l

450 mg Ca CO₃/l

Alcalinidad:
<500 mg CaCO₃/l

520 mg/l

Dureza: <500
mg CaCO₃/l

583 mg CaCO₃/l

Problemas a la salud

Sulfatos

Problemas
gastrointestinales

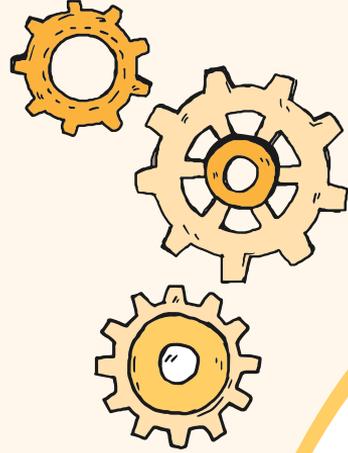
Diarrea (laxante)

Alcalinidad
y Dureza

Problemas
inflamatorios de
la piel

Dermatitis
Atópica

Objetivo General



Dimensionar una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo de Salache - Latacunga.

Objetivos específicos

01

Determinar la calidad del agua de abastecimiento de la comunidad de Salache, mediante análisis de laboratorio, para identificar los parámetros que se encuentren fuera de los límites permisibles estipulados en la norma ecuatoriana NTE INEN 1108



02

Experimentar con lechos filtrantes la remoción de los parámetros que se encuentran fuera de norma, mediante la utilización de un filtro experimental, para determinar el proceso de tratamiento en la planta potabilizadora.

Objetivos específicos

03

Proyectar las fases y el dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua potable para la comunidad de Salache, considerando los parámetros físicos y químicos del agua de captación, para cumplir con los límites permisibles en la norma ecuatoriana para agua de consumo humano.



04

Determinar el costo de la planta potabilizadora, considerando parámetros de construcción y operación, para que sea sostenible en el tiempo.

EXPERIMENTACIÓN

DIAGNÓSTICO



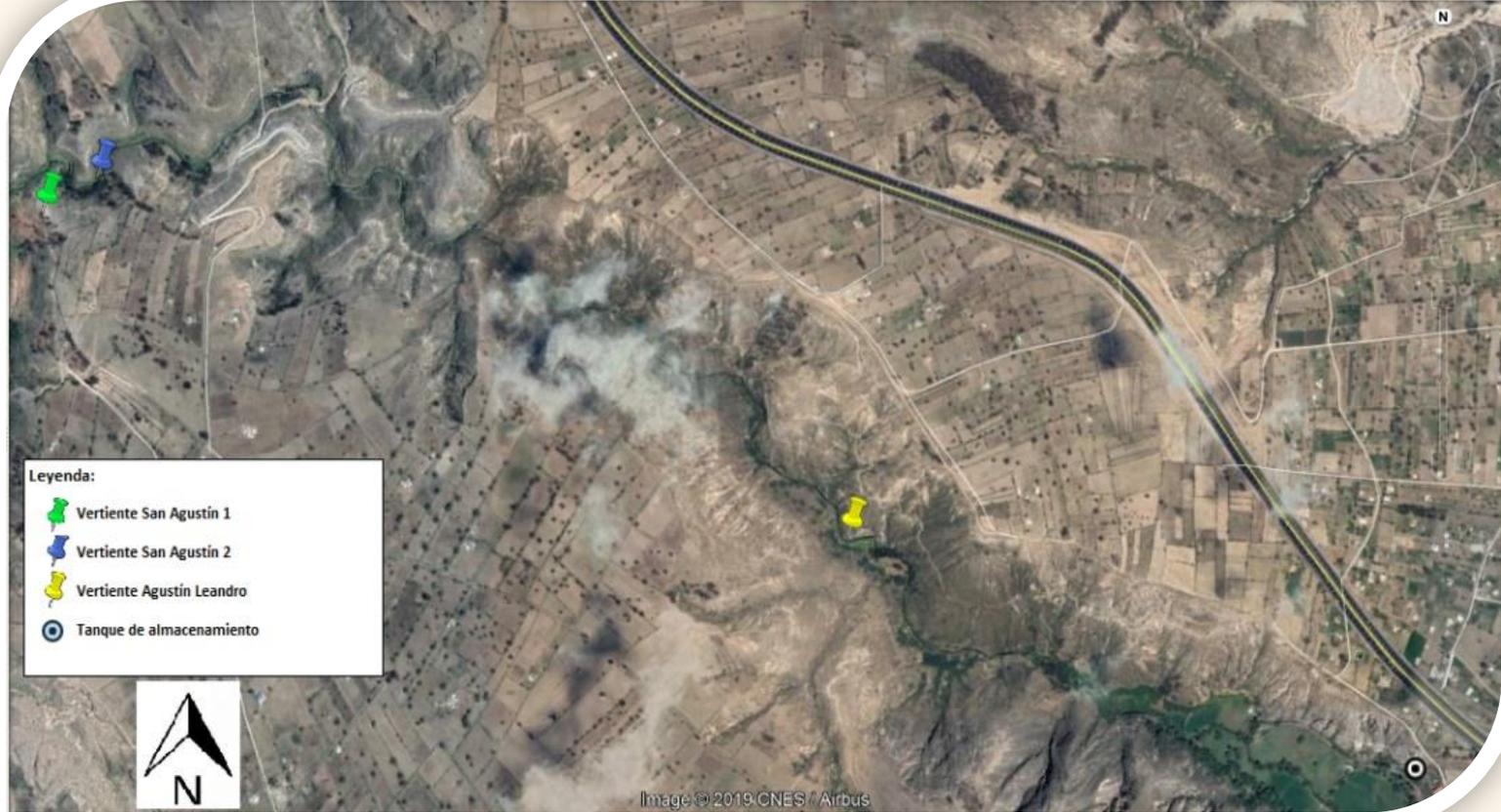
Abastecimiento de agua de las vertientes San Agustín 1 ($0^{\circ}58'47.96''S$, $78^{\circ}39'2.26''O$), San Agustín 2 ($0^{\circ}58'45.62''S$, $78^{\circ}38'58.36''O$) y San Agustín Leandro ($0^{\circ}59'10.56''S$, $78^{\circ}38'3.78''O$)

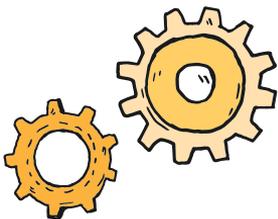
El agua de consumo no cuenta con ningún tipo de tratamiento.

Se receipta en cajas de manantial, los cuales fluyen directamente a tanques de almacenamiento para su posterior distribución.

Se descarta la contaminación del agua en las cajas de manantial.







ANÁLISIS DE LABORATORIO (AGUA SIN TRATAMIENTO)



INEN 1108

Análisis de laboratorio

Sulfatos: <200 mg/l

Alcalinidad: <500
mg CaCO₃/l

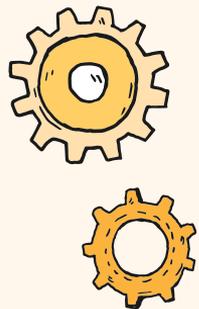
Dureza: <500 mg
CaCO₃/l

450 mg/l

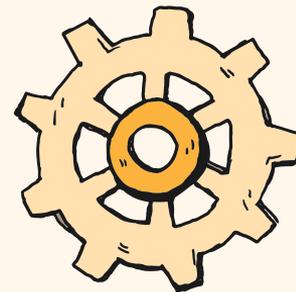
520 mg CaCO₃/l

583 mg CaCO₃/l





DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL CAUDAL DE LAS VERTIENTES



Vertiente San Agustín 1

Datos de volumen y tiempo para cálculo de Caudal de San Agustín 1

Volumen (l)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)
1	0,51	0,615s
1	0,46	
1	0,65	
1	0,71	
1	0,65	
1	0,69	
1	0,61	
1	0,59	
1	0,69	
1	0,59	

Por lo tanto, el caudal de San Agustín 1 es:

$$Q_{s1} = \frac{1 \text{ l}}{0,615 \text{ s}}$$

$$Q_{s1} = 1,62 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Vertiente San Agustín 2

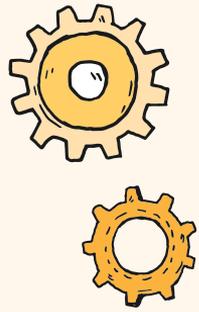
Datos de volumen y tiempo para cálculo de Caudal de San Agustín 2

Volumen (l)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)
1	0,82	0,62
1	0,55	
1	0,55	
1	0,48	
1	0,53	
1	0,63	
1	0,64	
1	0,48	
1	0,86	
1	0,89	

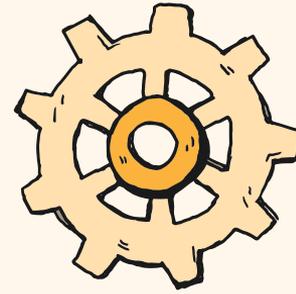
Por lo tanto, el caudal de San Agustín 2 es:

$$Q_{s2} = \frac{1 \text{ l}}{0,62 \text{ s}}$$

$$Q_{s2} = 1,61 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL CAUDAL DE LAS VERTIENTES



Vertiente San Agustín Leandro

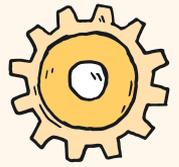
Datos de volumen y tiempo para cálculo de Caudal de San Agustín Leandro

Volumen (l)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)
10	1,67	
10	1,29	
10	1,29	
10	1,31	
10	1,32	0,62
10	1,20	
10	1,25	
10	1,11	
10	1,05	
10	1,12	

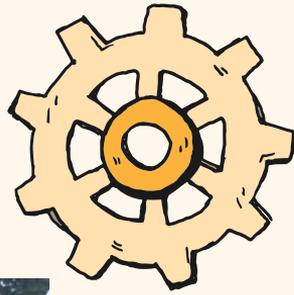
Por lo tanto, el caudal de San Agustín Leandro es:

$$Q_{s2} = \frac{10 \text{ l}}{1,26 \text{ s}}$$

$$Q_{s2} = 7,93 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

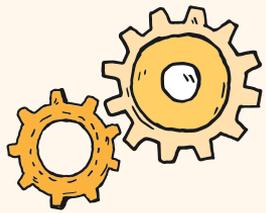


EXPERIMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO POR FILTRACIÓN

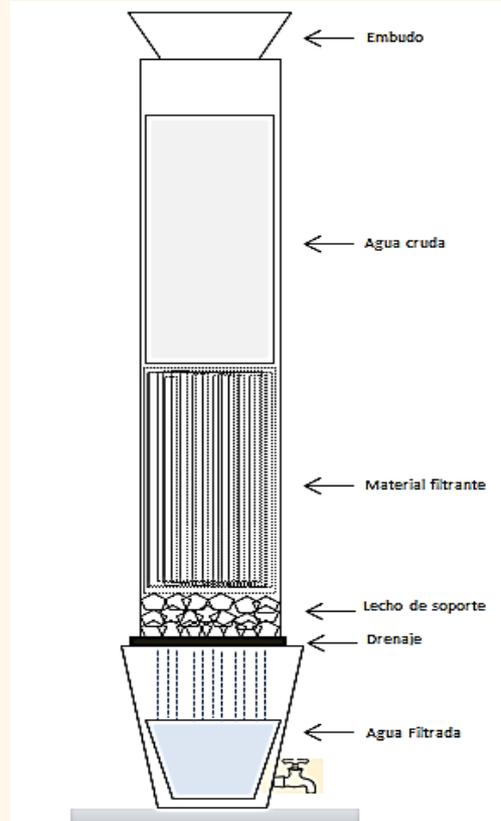
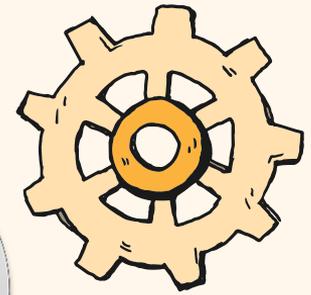


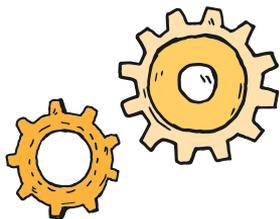
Para la experimentación se construyó un filtro descendente, que representa una sección transversal del filtro a escala real. A través del cual se realizó el tratamiento del agua con la utilización de lechos filtrantes como arena, zeolita y resina catiónica. Y posteriormente el análisis de laboratorio de los parámetros fuera del límite permisible.





EXPERIMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO POR FILTRACIÓN





ANÁLISIS DE LABORATORIO (AGUA CON TRATAMIENTO)



Análisis de laboratorio con tratamiento de arena

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	PROM	LMP
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	270	330	330	340	340	322	<500
Dureza	mgCaCO ₃ /L	290	240	220	222	225	239,4	500
Sulfatos	mg/L	230	280	290	310	315	285	200

Análisis de laboratorio con tratamiento de zeólita

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	PROM	LMP
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	250	250	280	280	280	268	<500
Dureza	mgCaCO ₃ /L	240	257	274	257	257	257	500
Sulfatos	mg/L	290	310	350	328	320	319,6	200

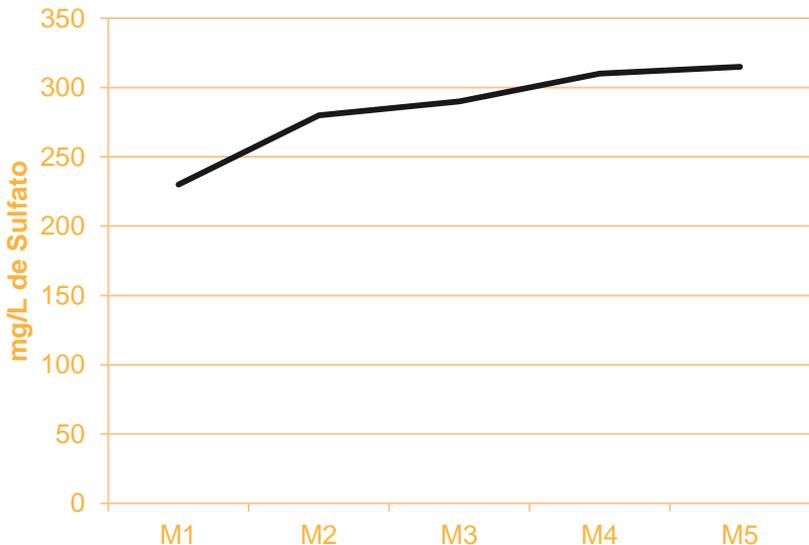
Análisis de laboratorio con tratamiento de resina catiónica

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	PROM	LMP
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	150	150	148	200	198	169,2	<500
Dureza	mgCaCO ₃ /L	125	125	120	180	180	146	500
Sulfatos	mg/L	101	98	98	120	120	107,4	200





ANÁLISIS DE RESULTADOS



Tratamiento con Arena



Tratamiento con Zeolita

Por lo tanto, al existir el descenso del parámetro sulfato en el tratamiento con zeolita, se decidió repetir el tratamiento en el lecho filtrante citado, pero con una toma de muestra luego de 4 semanas con flujo de agua constante.



RESULTADOS DEL TRATAMIENTO CON ZEOLITA DURANTE 4 SEMANAS



Agua sin
Tratamiento

- Sulfatos: 450 mg/l

Agua con
Tratamiento

- 212 mg/l



¿POR QUÉ SE ACEPTA EL TRATAMIENTO CON ZEOLITA?



ECONOMÍA

- Propuesta más económica durante su operación

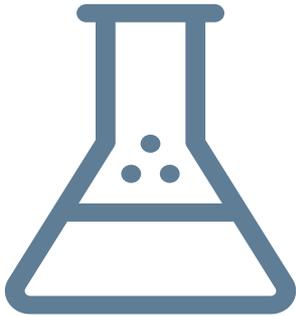
SALUD

- Según Raymond, L. (2002), el límite permisible puede no superar los 250mg/l para no producir efectos en la salud.

ACTUALIZACIÓN INEN

- Abril de 2020, el parámetro de sulfato se elimina

FASES DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA



Captación



Aducción



Regulación



Filtración



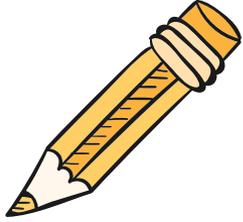
Desinfección



Almacenamiento



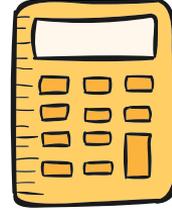
DISEÑO



CÁLCULO DE LA
POBLACIÓN
FUTURA



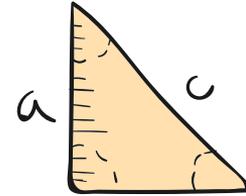
DETERMINACIÓN
DEL CONSUMO
DIARIO DE AGUA
POR PERSONA



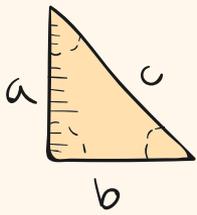
CÁLCULO DEL
CONSUMO DIARIO
DE LA COMUNIDAD



CÁLCULO DEL CAUDAL
DE TRATAMIENTO



CÁLCULO DEL CAUDAL DE
CAPTACIÓN

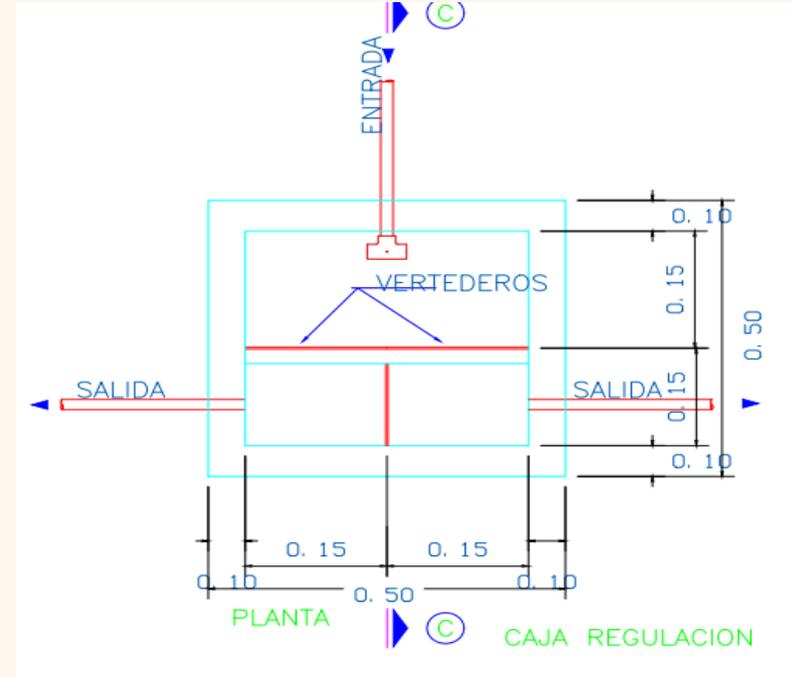


DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE REGULACIÓN

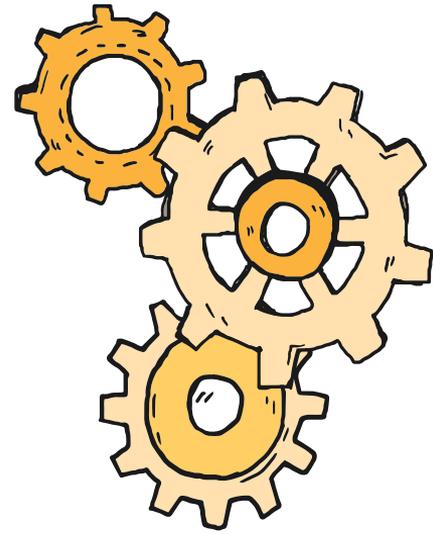
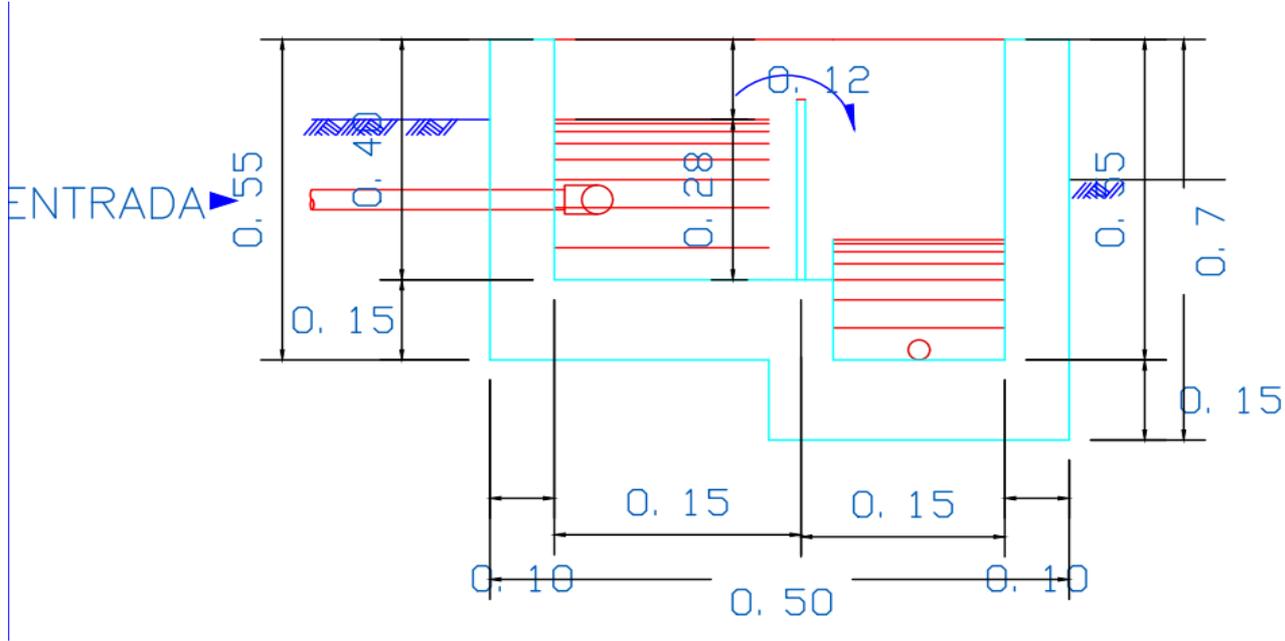
- CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE REGULACIÓN
- CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE DE REGULACIÓN

Dimensiones del tanque de regulación

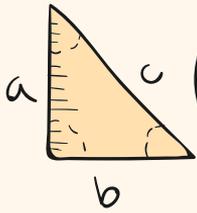
CRITERIO	VALOR	UNIDAD
Largo	0,3	m
Ancho	0,3	m
Alto	0,28	m



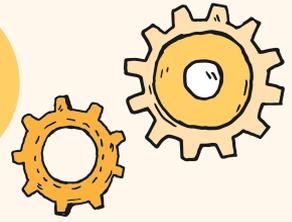
Vista superior del Tanque de regulación



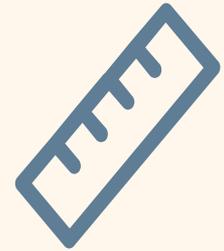
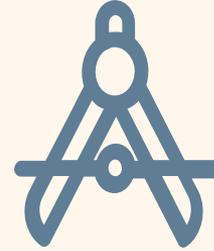
Vista lateral del Tanque de regulación

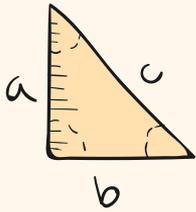


DIMENSIONAMIENTO DE FILTRO LENTO DE ZEOLITA

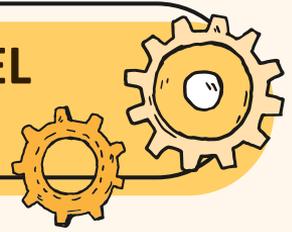


- CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DE FILTRACIÓN
- CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS DE FILTRACIÓN
- CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA PARED COMÚN POR UNIDAD
- CÁLCULO DEL ANCHO DE LA PARED DE LAS UNIDADES
- CÁLCULO DEL CAUDAL TOTAL DE LAVADO
- CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA A LA ENTRADA DEL FILTRO LENTO
- CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA A LA SALIDA DEL FILTRO LENTO
- CÁLCULO DE LA ALTURA DEL FILTRO LENTO

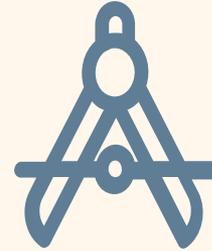




DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL FILTRO LENTO

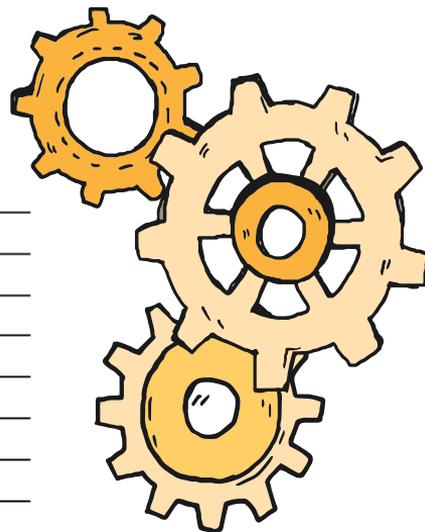


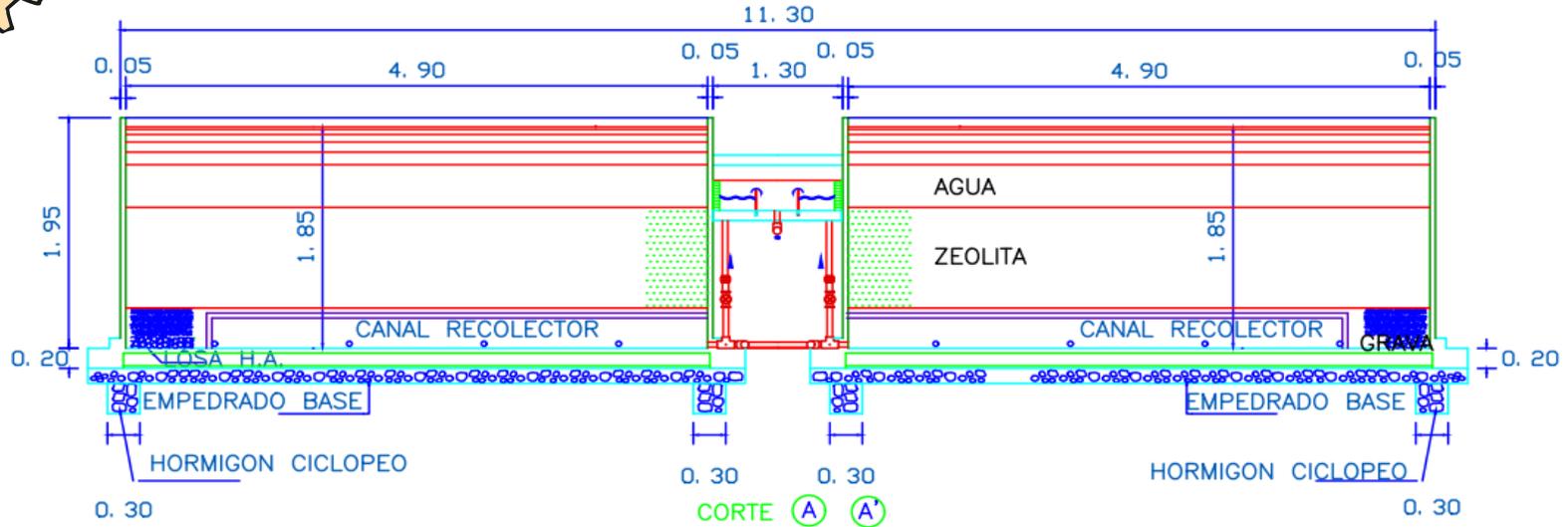
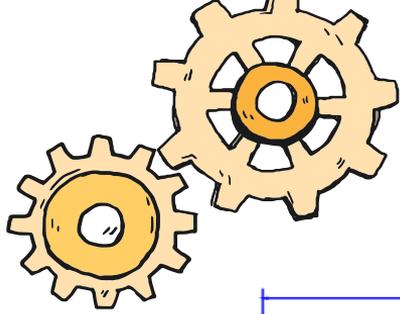
- DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE COLECTORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS
- CÁLCULO DEL CAUDAL POR COLECTOR LATERAL
- CÁLCULO DEL ÁREA DEL LECHO FILTRANTE
- CÁLCULO DEL ÁREA DEL ORIFICIO
- CÁLCULO DEL NÚMERO DE ORIFICIOS POR COLECTOR LATERAL
- CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL COLECTOR LATERAL
- CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL COLECTOR PRINCIPAL



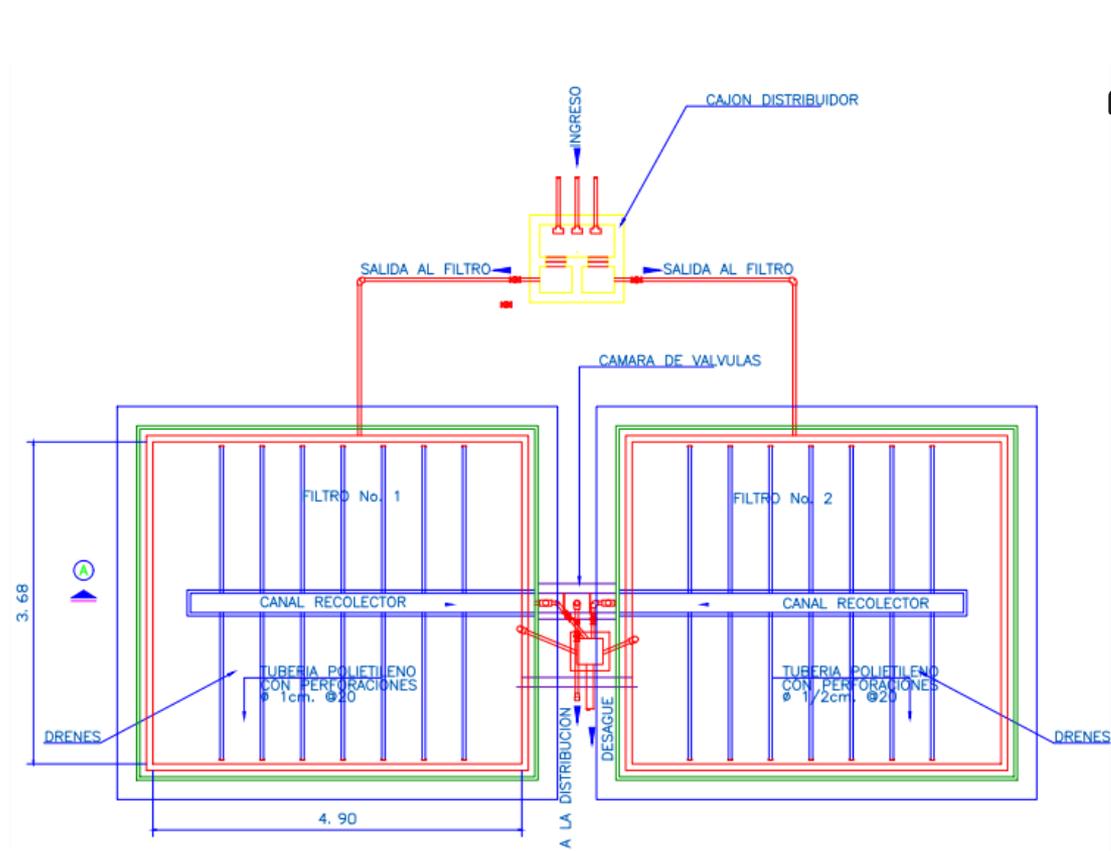
Dimensiones del filtro lento

CRITERIO	VALOR	UNIDAD
Número de módulos de filtración	2	
Largo del módulo 1	4,90	m
Ancho del módulo 1	3,68	m
Largo del módulo 2	4,90	m
Ancho del módulo 2	3,68	m
Altura de los módulos de filtración	1,95	m
Diámetro de tubería a la entrada	0,048	m
Diámetro de tubería a la salida	0,079	m
Número de colectores principales del módulo 1	1	
Número de colectores laterales del módulo 1	7	
Número de colectores principales del módulo 2	1	
Número de colectores laterales del módulo 2	7	
Espaciamiento entre colectores laterales	0,61	m
Número de orificios por colector lateral	77	
Diámetro de tubería del colector principal	1463,1	mm
Diámetro de tubería del colector lateral	117,9	mm

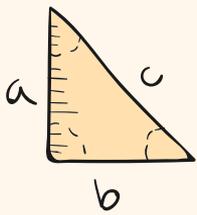




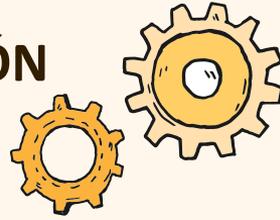
Vista lateral del filtro lento de zeolita



Vista superior del filtro lento de zeolita



DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

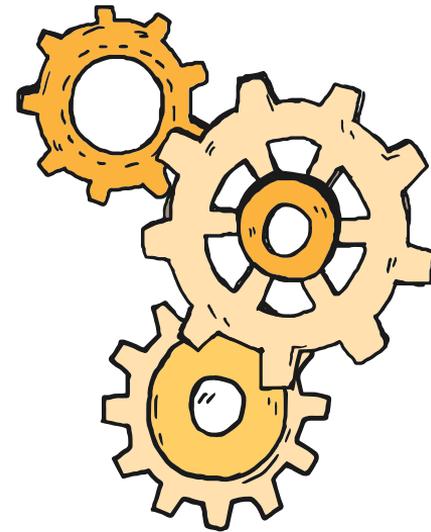
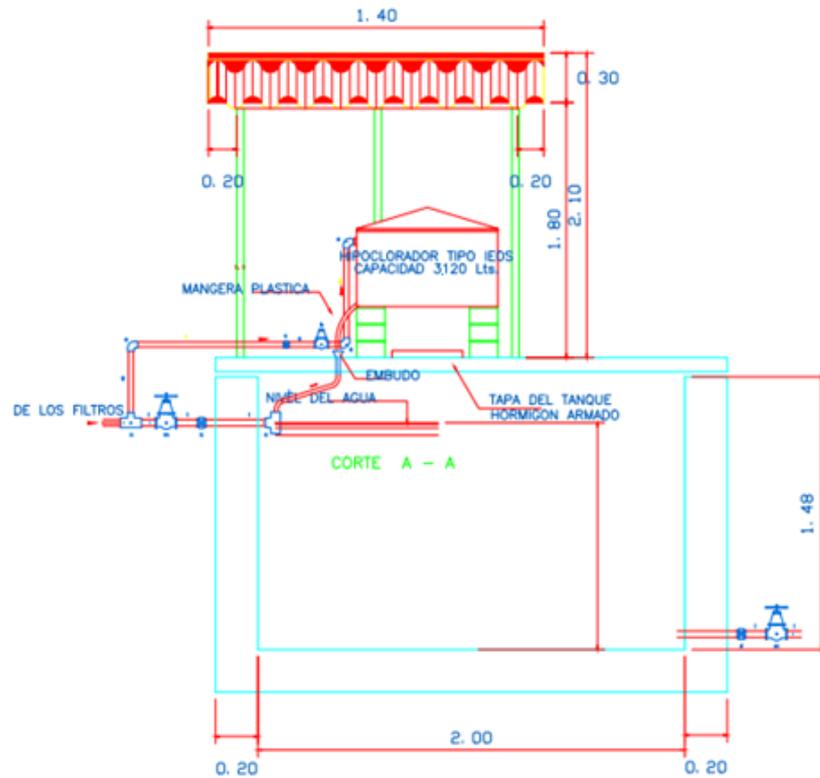


- CÁLCULO DEL PESO DEL CLORO
- CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL CLORADOR
- CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE CONTACTO ENTRE EL AGUA Y EL CLORO
- CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE DE CONTACTO ENTRE EL AGUA Y EL CLORO

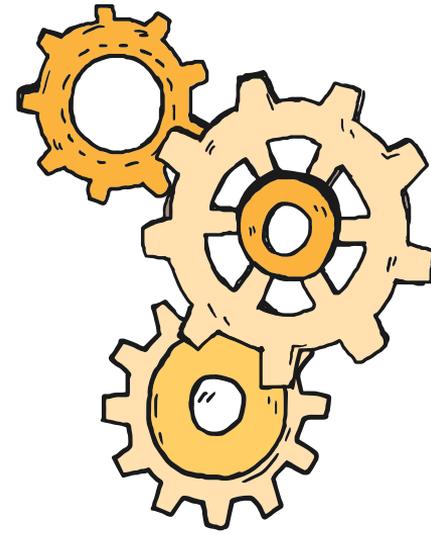
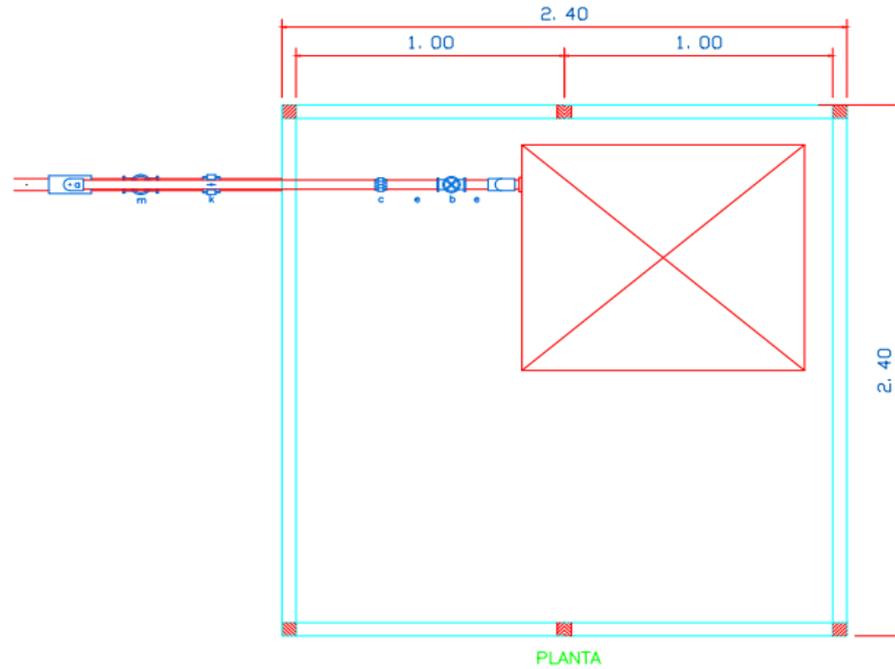
Tabla 19

Dimensiones del Sistema de Desinfección

CRITERIO	VALOR	UNIDAD
Peso del cloro necesario	0,078	Kg/día
Volumen del clorador	3,12	L
Volumen del tanque de contacto	5,94	m ³
Largo del tanque de contacto	2	m
Ancho del tanque de contacto	2	m
Altura del tanque de contacto	1,48	m



Vista lateral del Sistema de desinfección



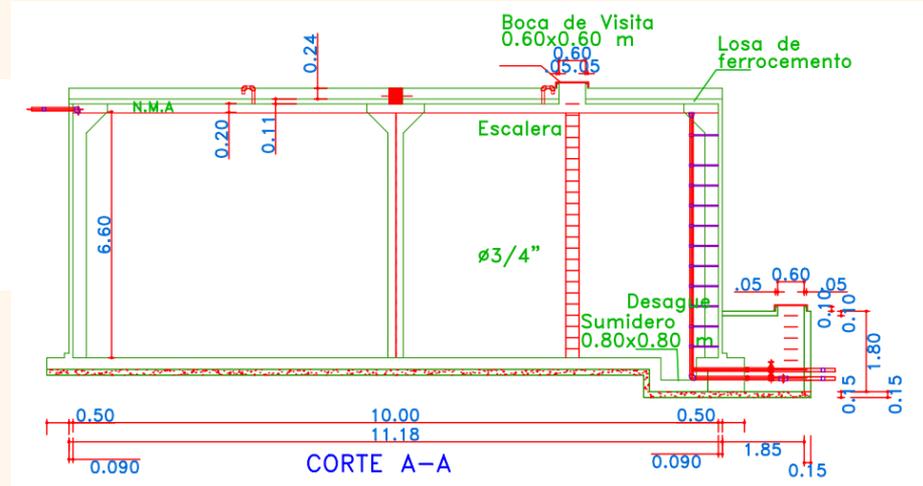
Vista superior del Sistema de desinfección

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABILIZADA

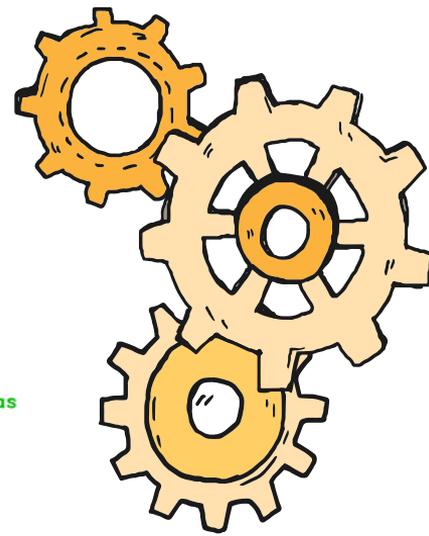
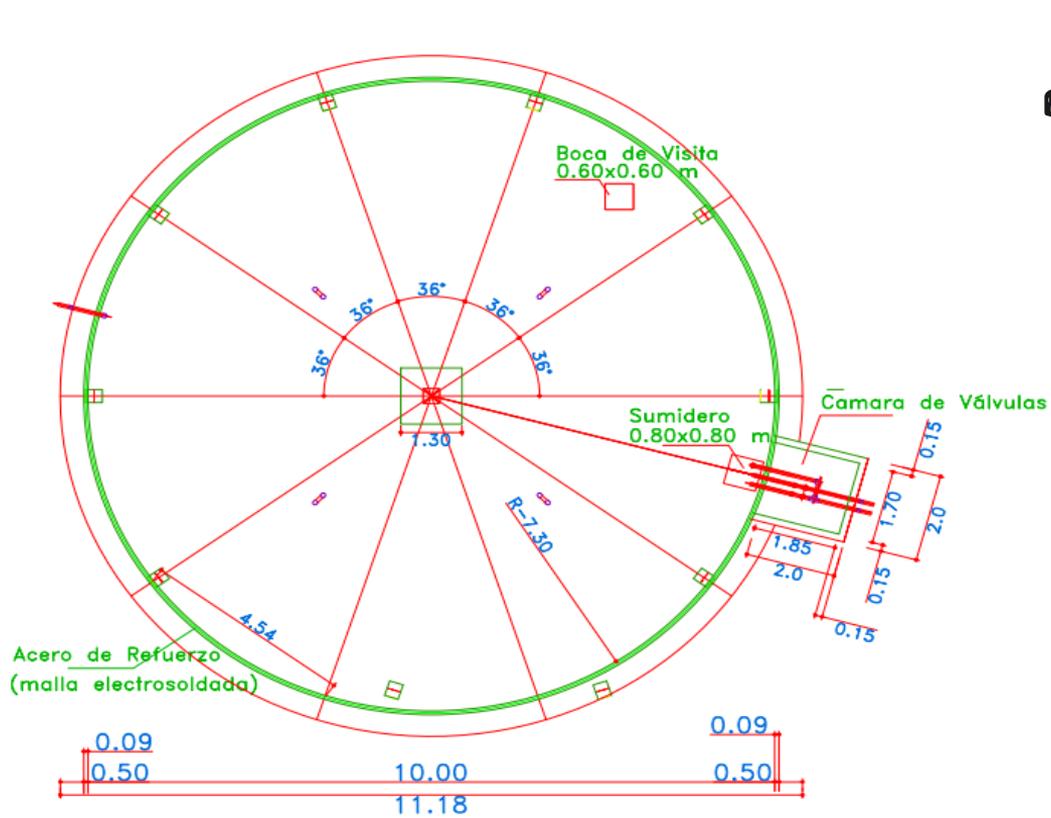
- CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Dimensiones del Sistema de Desinfección

CRITERIO	VALOR	UNIDAD
Volumen del tanque de almacenamiento	518,4	m ³
Radio del tanque de almacenamiento	5	m
Altura del tanque de almacenamiento	6,60	m



Vista lateral del Tanque de almacenamiento



Vista superior del Tanque de almacenamiento

COSTO DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

Construcción

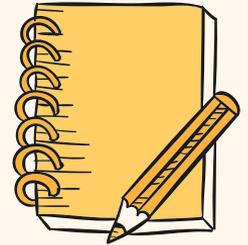
\$91105,35

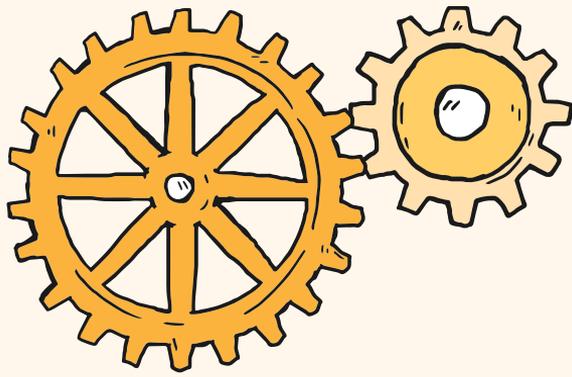
Costos por trabajos, materiales de construcción y costos por accesorios

Operación

\$9369,05

Costos por año de la zeolita, del hipocloruro de sodio y del operador

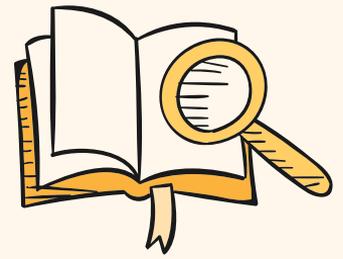
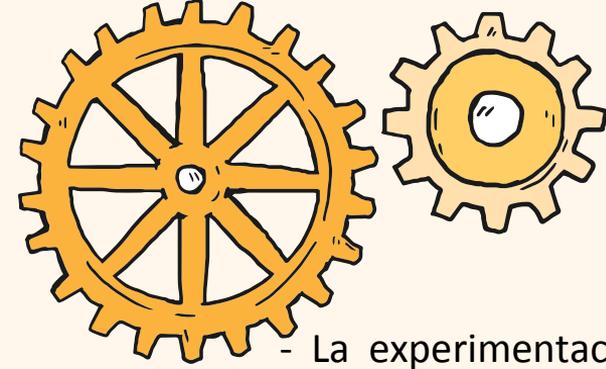




CONCLUSIONES

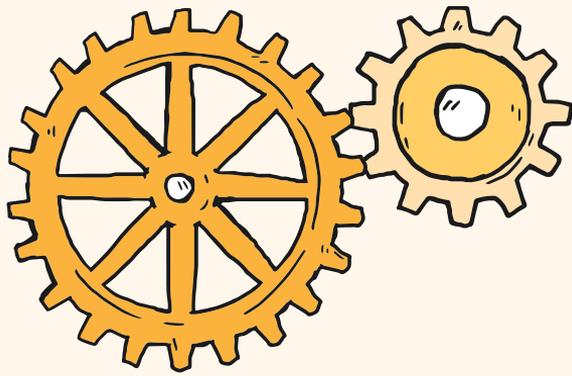


- Realizado los cálculos de diseño del tanque de regulación, el filtro lento, el tanque de desinfección y el tanque de almacenamiento, se dimensionó una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo de Salache – Latacunga.
- Los análisis de los informes de laboratorio y la comparación con la norma ecuatoriana NTE INEN 1108, determinó que la calidad del agua de abastecimiento de la comunidad de Salache se encuentra con parámetros fuera del límite permisible, como son: la alcalinidad con un valor de 520 mg CaCO_3/l , la dureza con una valor de 583 mg CaCO_3/l y Sulfatos con un valor de 450 mg/l, cuyos valores para la alcalinidad y dureza no deben sobrepasar los 500 mg CaCO_3/l y para sulfatos los 200 mg/l.

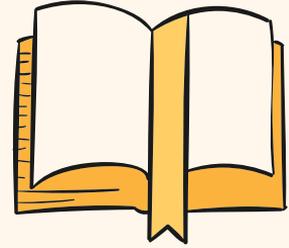


CONCLUSIONES

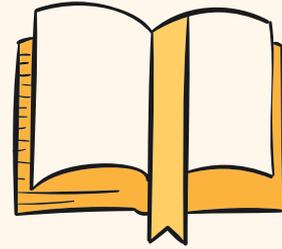
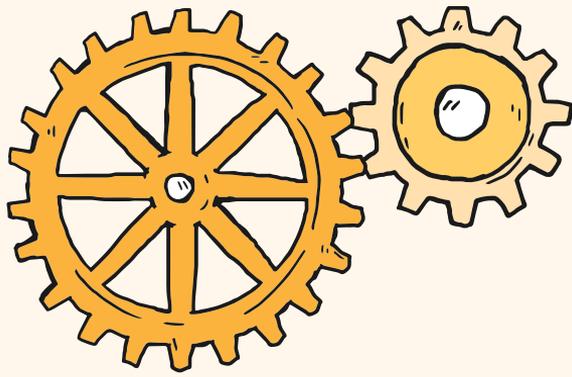
- La experimentación con lechos filtrantes, determinó que para la remoción de alcalinidad, dureza y sulfatos se lo puede realizar con zeolita y resina catiónica. Sin embargo, el tratamiento con resina catiónica es una propuesta muy cara para el tratamiento, considerando que el saco de 12 Kg tiene un costo de \$135. Por lo tanto, la zeolita es el material a utilizar en la planta potabilizadora puesto que sus precios no superan los \$4 por la misma cantidad antes mencionada.
- El dimensionamiento de la planta de agua potable para la comunidad de Salache, consta de las siguientes fases: la captación, aducción, regulación, filtración, desinfección y almacenamiento.
- El costo de la planta potabilizadora considerando trabajos construcción y operación, dan como resultado un total de \$91105,35 para la construcción y un total de \$9369,05 para la operación anual de la planta.



RECOMENDACIONES



- Proteger los módulos de filtración con una cubierta para evitar que el agua se contamine por el contacto directo que este tiene con el ambiente.
- Se recomienda realizar tareas de limpieza semestrales para el tanque de regulación, módulos de filtración, tanque de desinfección y tanque de almacenamiento, esto con el objetivo de garantizar la calidad del agua durante todo el tiempo de operación.
- Capacitar al operador de la planta potabilizadora en temas relacionados con el control de bombas, limpieza de tanques y el mantenimiento de los módulos de filtración con su material filtrante (zeolita).



RECOMENDACIONES

- Realizar semestralmente el análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de la planta potabilizadora en comparación con la norma INEN 1108, para determinar que la calidad del agua se mantenga en buenas condiciones a lo largo del tiempo.
- Realizar un retrolavado trimestral de la zeolita en los módulos de filtración, esto con el objetivo de eliminar impurezas que se pueden acumular durante la operación del filtro.
- Sustituir el material filtrante (zeolita) cada 3 años, para mantener la efectividad de remoción de la alcalinidad, dureza y sulfatos en el agua.



¡Gracias!