



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE  
MACHALA

ESPINOZA MENDIETA ANDREA ESTEFANIA  
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA  
2020



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE AGUA POTABLE PARA LA  
CIUDAD DE MACHALA**

**ESPINOZA MENDIETA ANDREA ESTEFANIA  
INGENIERA QUÍMICA**

**MACHALA  
2020**



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE  
MACHALA

ESPINOZA MENDIETA ANDREA ESTEFANIA  
INGENIERA QUÍMICA

CARCHI TANDAZO TANYA ALEXANDRA

MACHALA, 08 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA  
08 de diciembre de 2020

# DISEÑO DE UNA PLANTA DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE MACHALA

*por* Andrea Estefania Espinoza Mendieta

---

**Fecha de entrega:** 18-nov-2020 07:14p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1450533111

**Nombre del archivo:** ESPINOZA\_ANDREA\_-TRABAJO\_PR\_CTICO\_-\_REVISI\_N.pdf (462.49K)

**Total de palabras:** 7287

**Total de caracteres:** 31354

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, ESPINOZA MENDIETA ANDREA ESTEFANIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Diseño de una planta de agua potable para la ciudad de Machala, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

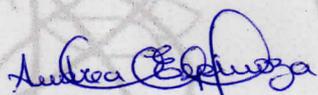
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 08 de diciembre de 2020



ESPINOZA MENDIETA ANDREA ESTEFANIA  
0706457538

## **DEDICATORIA**

A mi madre, que con esfuerzo y sacrificio hizo posible la culminación de mi carrera universitaria, me ayudó siempre a seguir mis sueños y cumplir mis metas.

A mi abuela; mi segunda madre; por acompañarme, cuidarme y motivarme a seguir adelante ante cualquier circunstancia.

A mi padre, desde el fondo de mi corazón y siempre en mi memoria, pues sé con certeza que estaría orgulloso de verme alcanzar cada uno de mis objetivos.

A mi novio, por su apoyo, su cariño, por brindarme su compañía y motivarme todas esas veces que estaba a punto de renunciar.

Este logro, se lo dedico a todos aquellos que creyeron en mí; a mi familia, a mis amigos y a mi pareja. Este logro es para ustedes.

*Andrea Espinoza*

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mi madre y a mi padre que forjaron mi carácter y guiaron mi camino para que logre todo lo que me proponga.

Gracias a mi familia que me motivó día a día a aspirar siempre lo mejor.

Gracias a mi novio por su paciencia y ayuda, por apoyarme siempre a esforzarme a diario para lograr mis metas.

Gracias a mi compañera por su amistad y su apoyo incondicional ya que a pesar de los percances logramos juntas nuestro propósito.

Gracias a mi tutor y los docentes que supieron instruirme y guiar mi camino hacia el conocimiento.

*Andrea Espinoza*

## RESUMEN

La ciudad de Machala de acuerdo a la INEC poseía una población de 256 022 habitantes hasta el año 2010. Teniendo en cuenta que la demanda de agua potable aumenta conforme la ciudad se desarrolla; por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se tiene como objetivo principal diseñar una planta de agua potable para la ciudad de Machala mediante búsqueda bibliográfica.

Para realizar una estimación poblacional se emplearon 3 métodos: aritmético, geométrico y mixto, con este último método se obtuvo una proyección de 296 406 habitantes para el año 2030. En base a esta proyección se trabajó con un caudal de 1.22 m<sup>3</sup>/s.

Con respecto a la caracterización, se tomaron en cuenta parámetros de acuerdo a la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 para el afluente y, para el efluente se empleó la norma NTE INEN 1108.

Para la determinación de operaciones de la planta se consideró un agua tipo C como afluente cuyas características son: turbiedad media menor a 150 UNT y NMP menor a 5000 coliformes fecales/ 100 ml.

Según este tipo de agua se diseñaron las siguientes operaciones: un pretratamiento con rejillas de limpieza mecánica que al igual que los sedimentadores simples se plantearon con dos unidades a un caudal de 0.61 m<sup>3</sup>/s, filtros lentos para lo cual se emplearon 220 unidades con 99 m<sup>2</sup> de área superficial y un caudal de 0.0055 m<sup>3</sup>/s; finalmente se diseñó un tanque de cloración considerando una dosis de 2 mg/l de hipoclorito de sodio.

### **PALABRAS CLAVES:**

Potabilización, diseño, caracterización, afluente, efluente.

## **ABSTRACT**

According to the INEC, the city of Machala had a population of 256,022 inhabitants until 2010. Taking into account that the demand for drinking water increases as the city develops; Therefore, the main objective of this research work is to design a drinking water plant for the city of Machala by means of a bibliographic search.

To carry out a population estimate, 3 methods were used: arithmetic, geometric and mixed. With this last method, a projection of 296,406 inhabitants was obtained for the year 2030. Based on this projection, a flow of  $1.22 \text{ m}^3 / \text{s}$  was used.

Regarding the characterization, parameters were taken into account according to the CPE INEN 5 Part 9-1 standard for the effluent and, for the effluent, the NTE INEN 1108 standard was used.

For the determination of operations of the plant, type C water was considered as a tributary whose characteristics are: average turbidity less than 150 NTU and NMP less than 5000 fecal coliforms / 100 ml.

According to this type of water, the following operations were designed: a pre-treatment with mechanical cleaning grids that, like simple settlers, were proposed with two units at a flow rate of  $0.61 \text{ m}^3 / \text{s}$ , slow filters for which 220 units were used with  $99 \text{ m}^2$  of surface area and a flow rate of  $0.0055 \text{ m}^3 / \text{s}$ ; finally, a chlorination tank was designed considering a dose of  $2 \text{ mg} / \text{l}$  of sodium hypochlorite.

### **KEYWORDS:**

Purification, design, characterization, tributary, effluent.

## INDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN .....	10
1.1Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo general.....	11
1.1.2 Objetivos específicos .....	11
2. DESARROLLO.....	11
2.1 Criterios para el diseño de la planta de potabilización .....	11
2.1.1 Características de la población .....	11
2.1.2 Estimaciones de la población .....	11
2.1.2.1 Población futura.....	11
2.1.3 Dotaciones y variación de consumo .....	12
2.1.3.1 Dotación media futura .....	12
2.1.3.2 Variaciones de consumo .....	12
2.1.3.3 Caudal de diseño.....	13
2.2 Generalidades del diseño .....	13
2.2.1 Caracterización .....	13
2.2.1.1 Criterios de calidad del afluente.....	13
2.2.1.2 Criterios de calidad del efluente.....	13
2.2.2 Operaciones de la planta.....	13
2.3 Diseño de la planta de agua potable.....	13
2.3.1 Rejillas de limpieza mecánica. ....	14
2.3.2 Sedimentación simple .....	15
2.3.3 Filtración lenta de flujo descendente .....	15
2.3.4 Desinfección – Cloración .....	16
3. RESULTADOS.....	17
4. CONCLUSIÓN .....	22
RECOMENDACIONES.....	22

BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS .....	26

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Descripción de los criterios bases para el diseño de planta. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Dimensiones de las rejillas de limpieza mecánica.....	18
<b>Tabla 3.</b> Dimensiones de los sedimentadores simples. ....	19
<b>Tabla 4.</b> Dimensiones de los filtros de arena. ....	20
<b>Tabla 5.</b> Dimensiones del tanque de cloración. ....	21
<b>Tabla 6.</b> Compuestos que afectan la potabilidad.....	29
<b>Tabla 7.</b> Compuestos peligrosos para la salud.....	29
<b>Tabla 8.</b> Compuestos tóxicos indeseables. ....	30
<b>Tabla 9.</b> Compuestos químicos indicadores de contaminación. ....	30
<b>Tabla 10.</b> Calidad bacteriológica. ....	31
<b>Tabla 11.</b> Calidad biológica. ....	31
<b>Tabla 12.</b> Características físicas y compuestos inorgánicos. ....	32
<b>Tabla 13.</b> Sustancias orgánicas. ....	33
<b>Tabla 14.</b> Plaguicidas. ....	34
<b>Tabla 15.</b> Residuos desinfectantes. ....	34
<b>Tabla 16.</b> Subproductos de desinfección. ....	35
<b>Tabla 17.</b> Cianotoxinas. ....	35
<b>Tabla 18.</b> Requisitos microbiológicos. ....	35
<b>Tabla 19.</b> Determinación de la altura del filtro.....	41

## LISTA DE FIGURAS

pág.

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo de las operaciones de la planta de potabilización de agua de la ciudad de Machala.....	14
<b>Figura 2.</b> Sistema de drenaje. ....	43

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo 1.....	23
Anexo 2.....	25
Anexo 3.....	36

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Machala está ubicada en la provincia de El Oro, Ecuador. Según el censo de población del año 2010 llevado a cabo por el Instituto nacional de estadísticas y censos (INEC) <sup>1</sup> arrojó datos de 256 022 habitantes. Conforme pasan los años, la ciudad se ha visto en continuo desarrollo, y junto con esto aumenta el consumo de recursos tales como el agua potable<sup>2</sup>.

El agua potable es un recurso de vital importancia para la realización de diversas actividades diarias como riego, quehaceres domésticos, consumo humano, entre otras. Muchas veces este recurso al igual que los otros servicios básicos no logran llegar a todos los sectores de la ciudad; por lo cual, estos deben abastecerse de fuentes alternas como el agua de los ríos<sup>2</sup>.

Los ríos están expuestos a diferentes factores de contaminación debido a que en ocasiones los residuos sólidos y aguas negras no poseen una correcta disposición final<sup>2</sup>, provocando así que este recurso se contamine y necesite de un tratamiento para ser consumido sin tener riesgos contra la salud humana<sup>3</sup>.

La fuente de la que proviene el agua cuyo fin es la potabilización puede ser de 5 tipos según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), siendo las del tipo C aquellas que para asegurar el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua potable no requieren pasar por un proceso de coagulación, además su origen puede ser tanto de aguas superficiales o subterráneas<sup>4</sup>.

Para identificar los parámetros de partida del afluente es necesaria su caracterización<sup>5</sup>, los cuales deben estar dentro de las concentraciones máximas que se describen en la norma CPE INEN 5 Parte 9 – 1<sup>4</sup>.

La caracterización del efluente permitirá conocer si esta agua cumple con los requerimientos para ser potable, los mismo que se establecen en la norma NTE INEN 1108<sup>6</sup>. Además, el cumplimiento de estos requisitos demuestra la efectividad del tratamiento realizado.

Las operaciones adecuadas para realizar la potabilización de agua dependerán de las características del afluente y conociéndolas permitirán una mejor toma de decisiones<sup>7</sup>.

Para el presente trabajo de investigación se plantea trabajar con un agua natural tipo c, la cual contiene una turbiedad media menor a 150 UNT y NMP menor a 5000 Coliformes

fecales/ 100 ml<sup>8</sup>, de acuerdo a esto se plantea el diseño de una planta de agua potable la cual consta de las siguientes operaciones unitarias: rejillas de limpieza mecánica, sedimentación simple, filtración lenta de flujo descendente, y finalmente la desinfección (cloración)<sup>4</sup>.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Diseñar una planta de agua potable para la ciudad de Machala a través de investigación bibliográfica.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Identificar los parámetros de caracterización del afluente y del efluente (agua potabilizada).

Establecer variables y parámetros de procesos que se necesitan para el diseño de una planta de potabilización.

Determinar las dimensiones de cada una de las operaciones unitarias que pueden conformar una planta de potabilización.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Criterios para el diseño de la planta de potabilización**

#### **2.1.1 Características de la población**

En el caso de estudio la población es la ciudad de Machala con un aproximado de 256 022 habitantes (de acuerdo al censo 2010)<sup>1</sup>, la misma se adapta a la categoría I que hace referencia a poblaciones mayores a 50 000 habitantes según la norma CPE INEN 5 Parte 9 - 1<sup>4</sup>.

#### **2.1.2 Estimaciones de la población**

##### **2.1.2.1 Población futura**

Las proyecciones de la población en base a un periodo de diseño o una vida útil de la planta de potabilización será 20 años y se realiza a través de los métodos: geométrico, aritmético y mixto<sup>9</sup>.

- **Método geométrico:** supone que en cualquier instante el crecimiento de la sociedad y su población es proporcional<sup>10</sup>. Este modelo está representado por la ecuación 1.

$$P_f = P_0 \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n \quad \text{ec. (1)}$$

Donde  $P_f$  es la población final,  $P_0$  es la población actual (último censo),  $i$  el índice de crecimiento poblacional, el mismo que es de 1.38%<sup>1</sup> y  $n$  el periodo o vida útil de la planta.

- **Método aritmético:** asume que el crecimiento poblacional es constante<sup>9</sup>, se representa con la ecuación 2:

$$P_f = P_0 + in \quad \text{ec. 2}$$

En este modelo se emplean las mismas variables que en el anterior.

- **Método mixto:** emplea los datos de los 2 métodos anteriormente descritos, se aplica la ecuación 3.

$$P_f = \frac{(M_a + M_g)}{2} \quad \text{ec. 3}$$

Donde la población final es  $P_f$ , el método aritmético es  $M_a$  y el geométrico se simboliza con  $M_g$ .

### 2.1.3 Dotaciones y variación de consumo

#### 2.1.3.1 Dotación media futura

La dotación o consumo en litros de agua potable per capita día (l/hab/día)<sup>11</sup> puede obtenerse a partir de heurísticas que consideran el tamaño de la población y el clima; siendo Machala una ciudad de más de 50 000 habitantes que posee un clima cálido, este parámetro es mayor a 230 l/hab/día<sup>8</sup>.

#### 2.1.3.2 Variaciones de consumo

- **Consumo medio diario por año:** esta variación se representa con  $Q_m$ , posee unidades de m<sup>3</sup>/s<sup>11</sup>. Se representa con la ecuación 4.

$$Q_m = \frac{qN}{(1\ 000 \times 86\ 400)} \quad \text{ec. 4}$$

En donde  $q$  simboliza la dotación media futura y  $N$  la cantidad de habitantes.

- **Requerimiento máximo de consumo por día:** indica la mayor cantidad diaria de consumo de agua potable (m<sup>3</sup>/s), para su cálculo se aplica la ecuación 5.

$$Q_{max.día} = k_{max.día} \times Q_m \quad \text{ec. 5}$$

En esta fórmula  $k_{max}$  por día es un coeficiente que varía entre 1,3 y 1,5<sup>8</sup>.

### **2.1.3.3 Caudal de diseño**

El caudal de diseño para una planta potabilizadora es  $Q_{\text{max.día}} + 10\%$ <sup>8</sup>.

Los cálculos correspondientes a las bases del diseño se encuentran detallados en el anexo 1.

## **2.2 Generalidades del diseño**

Para el diseño de la planta de agua potable es necesario: caracterizar tanto el afluente, como el efluente y describir las operaciones de la planta.

### **2.2.1 Caracterización**

#### **2.2.1.1 Criterios de calidad del afluente**

En caso del afluente es necesario que cumpla con las características para aguas que se dispondrán para el consumo humano según la norma CPE INEN 5 Parte 9-1<sup>4</sup>. La descripción de los parámetros y su respectiva concentración máxima se realizará en el anexo 2.

#### **2.2.1.2 Criterios de calidad del efluente**

Los parámetros que debe cumplir el efluente están establecidos en la norma NTE INEN 1108<sup>6</sup>. Los valores máximos permisibles de los parámetros correspondientes se describen en el anexo 2.

### **2.2.2 Operaciones de la planta**

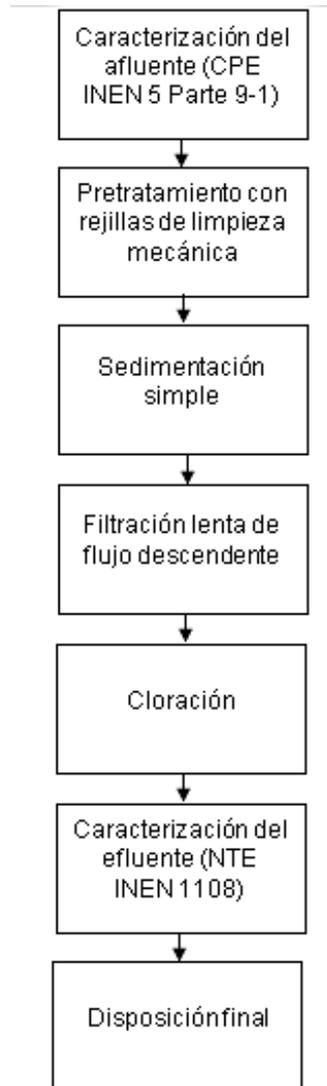
En la selección de operaciones influye el tipo de agua que se va a tratar, teniendo en cuenta que para el presente trabajo se dispone como fuente un agua tipo C que posee una turbiedad media menor que 150 UNT y NMP menor que 5000 coliformes fecales/100 ml. De acuerdo a estas características el tratamiento adecuado será la aplicación de un pretratamiento, una sedimentación simple previa a la filtración lenta y la respectiva desinfección<sup>8</sup>.

Los cálculos correspondientes a cada operación que interviene en la potabilización del agua se detallarán en el anexo 3.

## **2.3 Diseño de la planta de agua potable**

La planta de potabilización de agua consta de las operaciones detalladas en la figura 1.

**Figura 1.** Diagrama de flujo de las operaciones de la planta de potabilización de agua de la ciudad de Machala.



**Fuente:** Elaboración propia.

### **2.3.1 Rejillas de limpieza mecánica.**

Unidades con las que no se permite el paso de material de gran tamaño, impidiendo así que estos ingresen a la planta y afecten las siguientes operaciones<sup>12</sup>.

Para el dimensionamiento de las rejillas es necesario considerar que deben estar compuestas de barras verticales de hierro<sup>4</sup>.

El espacio entre una barra y otra debe tener un máximo de 20 mm de distanciamiento, las barras deben contar con máximo 30 ° de inclinación y además ser planas<sup>13</sup>.

En el caso de estudio se trabajará con un ángulo ( $\alpha$ ) de  $30^\circ$ , un espacio entre las barras ( $E_b$ ) de 20 mm, ancho de canal (B) de 1.5 m, tirante hidráulico (H) de 1 m, un borde libre ( $h_b$ ) de 0.3 m; se operarán dos unidades entre las cuales se distribuirá el caudal<sup>4</sup>.

### **2.3.2 Sedimentación simple**

Conocida también como aclaración o asentamiento es un proceso en el cual se asientan las partículas discretas que se encontraban en suspensión debido a la acción de la gravedad<sup>14</sup>. Al hablar de sedimentación se refiere al asentamiento de partículas con tamaños menores a 0.2 mm pero mayores a 0.05 mm<sup>15</sup>.

Una unidad de sedimentación posee una estructura de entrada que ayuda a que la distribución del agua al momento de ingresar al tanque de sedimentación, sea uniforme; además también posee un tanque donde ocurre el asentamiento de las partículas suspendidas, un vertedero y un depósito para los lodos<sup>16</sup>.

Para el diseño de esta operación es necesario considerar que operará 24 horas del día, la altura deberá encontrarse entre 1.5 y 2.5 m<sup>8</sup>; con respecto a sus dimensiones la proporción largo-ancho (L/B) debe estar entre 4 y 6; mientras que, la proporción largo-altura (L/H) debe encontrarse entre 5 y 20<sup>16</sup>.

La pendiente en el fondo del sedimentador debe ser del 5 al 10%, puede existir una variación máxima del 8 al 12% con el fin de almacenar los sedimentos. Estos deben ser dirigidos a una canaleta que se encargará de llevar los lodos a la parte exterior del tanque<sup>8</sup>.

La distancia a la que tiene que encontrarse la pantalla difusora de la pared de entrada es de 0.7 a 1 m<sup>16</sup>. Además, se debe poseer un mínimo de 2 sedimentadores que operen de forma paralela.

Se trabajará con 2 unidades a una velocidad de sedimentación de 0.61 cm/s la que permitirá el asentamiento de arena fina con un diámetro de 0.1 mm<sup>4</sup>. Además, la pantalla difusora se encontrará a 0.8 m de distancia de la entrada.

### **2.3.3 Filtración lenta de flujo descendente**

Estos filtros también son conocidos con el nombre de filtros de arena. Estos son efectivos para la eliminación tanto de sólidos suspendidos disueltos como también para la eliminación biológica de materia orgánica biodegradable<sup>17</sup>.

Los filtros de arena ayudan a la eliminación de un 75% a 85% de la turbidez<sup>18</sup>, reduce la concentración de fosfato, amoníaco y nitrato<sup>17</sup>.

La unidad de filtrado posee dispositivos de control y regulación; un contenedor del agua a tratar, lecho filtrante compuesto por arena y el sistema de recolección del agua filtrada<sup>8</sup>.

En esta unidad se purifica el agua principalmente de forma biológica, debido al biofilm que se produce en la superficie del lecho filtrante<sup>8</sup>.

Para el diseño de la unidad se debe considerar que la capa de arena del filtro tendrá una altura de 1 a 1.4 m. La arena debe poseer características tales como: un tamaño de 0.15 a 0.35 mm, dureza en la escala de Mohr de 7, un coeficiente de uniformidad de mínimo 1.5 y máximo 3; y una solubilidad en ácido clorhídrico (HCl) menor al 5%<sup>8</sup>.

Como apoyo la capa de arena debe tener 3 capas de grava de diferente diámetro y espesor<sup>4</sup>:

- Primera capa: espesor de 0.1 m y el diámetro de la grava debe ser de 1 a 1.4 mm.
- Segunda capa: espesor de 0.1 m y un diámetro de grava de 4 a 5.6 mm.
- Tercera capa: espesor 0.15 m con un diámetro de grava entre 16 y 23 mm.

Se debe operar con un mínimo de dos unidades de filtración cuyo diseño debe ser realizado en base a una capacidad del 65% con respecto al caudal de diseño. Además la velocidad de filtración se encontrará en un rango de 0.1 m/h a 0.2m/h y el área superficial del filtro debe encontrarse entre 5 m<sup>2</sup> a 100 m<sup>2</sup><sup>17</sup>.

En la determinación de las dimensiones del sistema de drenaje es necesario tener en cuenta algunos criterios como: tanto la velocidad máxima en el colector principal y la velocidad máxima en los laterales es 0.4 m/s, el espacio entre los laterales debe encontrarse entre 1 y 2 m; el espacio entre orificios de los laterales debe ser entre 0.1 y 0.3 m; y el diámetro de los orificios en los tubos laterales puede ser de 6 a 14 mm<sup>4</sup>.

En el caso de estudio se emplea una velocidad de filtración de 0.2 m/h. además, debido al gran caudal con el que se opera y para mantener las restricciones del diseño planteadas por la CPE INEN 5 Parte 9-1<sup>4</sup> se deben emplear 220 unidades. Además, para el diseño del sistema de drenaje se asumen valores de velocidad en el colector principal de 0.25 m/s, espacio entre laterales de 1.5 m, velocidad en los laterales de 0.2 m/s y espacio entre orificios de los laterales de 0.1 m según la norma antes mencionada.

### **2.3.4 Desinfección – Cloración**

La desinfección es la técnica por la cual se elimina del agua la mayor parte de los organismos patógenos<sup>14</sup>. Existen algunos métodos para realizar una desinfección, entre

estos están los tratamientos térmicos, oxidación química (con compuesto como yodo, cloro, bromo, entre otros), irradiación con luz UV, etc<sup>19</sup>.

A nivel mundial la cloración es el método más empleado para llevar a cabo la desinfección del agua, esto se debe a su eficacia en dosis bajas para una amplia gama de microorganismos<sup>20</sup>.

Para la cloración de agua potable se puede utilizar hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio Ca(ClO)<sub>2</sub> o cloro en gas<sup>21</sup>. Además, se debe considerar un tiempo de retención que le permita actuar al compuesto, este debe encontrarse entre los 20 min a 30 min<sup>4</sup>.

En el presente trabajo se emplea Ca(ClO)<sub>2</sub> a una dosis de 2 mg/l<sup>22</sup> y un tiempo de contacto de 25 minutos<sup>23</sup>.

### 3. RESULTADOS

Los criterios para el diseño de la planta de potabilización se describen en la tabla 1.

**Tabla 1.** Descripción de los criterios bases para el diseño de planta.

<b>Estimación de la población</b>			
<b>Población futura</b>			
<b>Método</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Método geométrico	M <sub>g</sub>	Nº hab.	336 762
Método aritmético	M <sub>a</sub>	Nº hab.	256 050
Método mixto	P <sub>f</sub>	Nº hab.	296 406
<b>Dotaciones y variación de consumo</b>			
<b>Variación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Dotación media futura	q	l/hab/día	230
Consumo medio diario por año	Q <sub>m</sub>	m <sup>3</sup> /s	0.79
Requerimiento máximo de consumo por día	Q <sub>max.día</sub>	m <sup>3</sup> /s	1.11
<b>Caudales</b>			
<b>Caudal</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de diseño	Q <sub>d</sub>	m <sup>3</sup> /s	1.22

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 1; se detallan los datos acerca de la estimación de la población de la ciudad de Machala proyectada a 20 años; siendo el resultado del método mixto el que se emplea para los respectivos cálculos de las operaciones de la planta. Además, se describen las dotaciones y variaciones de consumo, como también los caudales.

Los resultados sobre el dimensionamiento de cada unidad de la planta de potabilización de agua se presentan en las tablas 2, 3, 4 y 5.

**Tabla 2.** Dimensiones de las rejillas de limpieza mecánica.

<b>Rejillas de limpieza mecánica</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Ancho del canal	B	m	1.5
Espacio entre las barras	$E_b$	m	0.02
Ángulo	$\alpha$	°	30
Tirante hidráulico	H	m	1
Borde libre	$h_b$	m	0.3
Unidades	U	-	2
Caudal de tratamiento	$Q_t$	m <sup>3</sup> /s	0.61
Área del canal	A	m <sup>2</sup>	1.5
Velocidad antes de la rejilla	$V_o$	m/s	0.41
Longitud de la rejilla	L	m	2.6
Número de espacios	N	-	37
Espesor de barra	e	m	0.02
Número de barras	n	-	36
Altura o energía de velocidad de flujo de aproximación	$h_v$	m	0.018
Velocidad de acercamiento	$V_a$	m/s	0.6
Pérdida hidráulica	$h_f$	m	0.022
Coeficiente para barras planas rectangulares	$\beta$	-	2.42
Área de la rejilla	$A_r$	m <sup>2</sup>	0.74
Velocidad entre la rejilla	$V_r$	m/s	0.8

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 2 se detallan todos los parámetros que intervienen en el dimensionamiento de las rejillas de limpieza mecánica. Para obtener los valores de número de barras, área de la rejilla, pérdida hidráulica, área del canal, velocidad antes y entre de las rejillas, longitud de las rejillas, número de espacios, velocidad de acercamiento y la energía de la velocidad de flujo de aproximación se tomaron heurísticas del diseño del ángulo de inclinación, el espacio entre las barras, ancho del canal, borde libre y tirante hidráulico.

**Tabla 3.** Dimensiones de los sedimentadores simples.

<b>Sedimentadores simples</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Unidades de sedimentación	U	-	2
Caudal de tratamiento	$Q_t$	$m^3/s$	0.61
Área superficial	$A_s$	$m^2$	100
Largo	L	m	20.8
Ancho	B	m	5
Altura	H	m	2.5
Velocidad de sedimentación	$V_s$	m/s	0.0061
Proporción largo/ancho	L/B	-	4.16
Proporción largo/altura	L/H	-	8.32
Velocidad horizontal	$V_H$	m/s	0.0061
Tiempo de retención	TR	h	0.11
Pendiente de fondo	-	%	10
Altura máxima	$H_{max}$	m	2.75
<b>Vertedero</b>			
Carga hidráulica del vertedero	$q_v$	l/m.s	150
Altura del agua sobre el vertedero	$H_v$	m	0.16
<b>Pantalla difusora</b>			
Velocidad entre orificios	$V_o$	m/s	0.1
Área total de los orificios	$A_o$	$m^2$	6.1
Diámetro de orificio	$D_o$	m	0.15
Área para cada orificio	$a_o$	$m^2$	0.018
Número de orificios	n	-	340
Altura de la pantalla difusora que posee orificios	$H_p$	m	1.5
Número de filas	nf	-	10
Número de columnas	nc	-	34
Espacio entre filas	$e_f$	m	0.15
Espacio entre columnas	$e_c$	m	0.025

**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 3, describe los parámetros de diseño de los sedimentadores simples. Para determinar los valores de los parámetros del tanque sedimentador, pantalla difusora y vertedero se asumieron datos como: la velocidad de sedimentación y la distancia de la

pantalla difusora a la entrada; basándose en lo establecido por la norma CPE INEN 05 Parte 9-1.

**Tabla 4.** Dimensiones de los filtros de arena.

<b>Filtro lento de flujo descendente (filtro de arena)</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal de tratamiento	$Q_t$	$m^3/s$	0.0055
<b>Filtro</b>			
Área superficial	$A_s$	$m^2$	99
Largo o longitud	$L$	$m$	11
Ancho	$B$	$m$	9
Altura	$H$	$m$	3
Altura de la capa de arena	$Lo$	$m$	1.2
Borde libre	$BL$	$m$	0.25
Capa de agua sobrenadante	$Ca$	$m$	1.2
Capa 1 de grava	-	$m$	0.1
Capa 2 de grava	-	$m$	0.1
Capa 3 de grava	-	$m$	0.15
<b>Cámara de entrada</b>			
Volumen de la cámara de regulación	$V_r$	$m^3$	0.66
Altura de la cámara de regulación	$h$	$m$	0.66
Tiempo de retención	$t$	$s$	120
Ancho	$b$	$m$	1
Longitud	$l$	$m$	1
<b>Vertedero de entrada</b>			
Altura	$H_v$	$m$	0.22
Longitud	$L_v$	$m$	0.44
Ancho	$A_v$	$m$	0.22
<b>Sistema de drenaje</b>			
Velocidad de filtración del drenaje	$V_{fd}$	$m/h$	0.2
Velocidad en el colector principal	$V_c$	$m/s$	0.25
Espacio entre laterales	$e_L$	$m$	1.5
Velocidad en laterales	$V_L$	$m/s$	0.2
Espacio entre los orificios de los laterales	$e_o$	$m$	0.1
Diámetro de los orificios en tubos laterales	$Do$	$mm$	10
Área de los orificios	$Ao$	$m^2$	0.000079

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.** (Continuación)

Número de laterales	-	-	14
Longitud de los laterales	-	m	4.5
Longitud total de los laterales	Lt	m	63
Número de orificios	N	-	1260
Número de orificios por cada lateral	n	-	90
Caudal a través de los orificios	Q <sub>o</sub>	m <sup>3</sup> /s	0.0000044
Caudal del lateral	qL	m <sup>3</sup> /s	0.0004
Área del tubo lateral	AL	m <sup>2</sup>	0.002
Diámetro interno del tubo lateral	di	m	0.05
Área del colector central	Ac	m <sup>2</sup>	0.022
Diámetro interno del colector principal	Dic	m	0.17

**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 4 define las dimensiones de las 220 unidades de filtros lentos de flujo descendente, considerando que, para el cálculo de los parámetros de la cámara y vertedero de entrada, sistema de drenaje y filtro se asumieron valores de velocidad de filtración, del colector principal y en los laterales; como también del espacio entre los laterales y entre los orificios, según la CPE INEN 5 parte 9-1.

**Tabla 5.** Dimensiones del tanque de cloración.

<b>Tanque de cloración</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Volumen del tanque de cloración	V <sub>t</sub>	m <sup>3</sup>	1830
<b>Cámaras de contacto</b>			
Longitud total de las cámaras de contacto	L <sub>t</sub>	m	50.83
Número de cámaras	N	-	5
Longitud de la unidad	L	m	10.17
Ancho de la unidad	B	m	9
Altura de la unidad	H	m	4
<b>Dosificación</b>			
Dosis	dosis	mg/l	2
Cantidad de Ca(ClO) <sub>2</sub> al día	-	kg/día	301.17

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 5 se encuentran los parámetros de diseño del tanque de cloración, para la obtención del número de cámaras, volumen del tanque, cantidad de hipoclorito de calcio

al día, ancho, longitud y altura de las cámaras de contacto se consideró una dosis de 2 mg/l.

#### **4. CONCLUSIÓN**

En el diseño de la planta potabilizadora de agua para la ciudad de Machala interviene la población estimada para un periodo de 20 años, considerando el censo del año 2010 realizado por el INEC, se determinó una población de 296 406 habitantes. De acuerdo a la cantidad de habitantes determinada se obtuvo un caudal de diseño de 1.22 m<sup>3</sup>/s.

Se considera para determinar la calidad de afluente la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 y para la calidad del efluente la norma NTE INEN 1108 para agua potable; en las cuales se detallan las características físicas, químicas y microbiológica del agua; y los límites permisibles de cada uno de los compuestos. Las especificaciones tanto para el afluente y el efluente se encuentran en el anexo 2.

Las aguas tipo C requieren de un tratamiento compuesto por las operaciones de: pretratamiento, sedimentación simple, filtración lenta y desinfección.

El pretratamiento se realiza a través de 2 unidades de rejillas de limpieza mecánica para realizar la separación de sólidos de gran tamaño, las cuales trabajan con un caudal de 0.61 m<sup>3</sup>/s. Las dimensiones de las unidades se detallan en la tabla 2 de los resultados.

La sedimentación simple se opera a través de 2 unidades que trabajan en paralelo con un caudal de 0.61 m<sup>3</sup>/s y una velocidad de sedimentación de 0.0061 m/s para partículas de 0.1 mm de diámetro. Todos los parámetros se detallan en la tabla 3 de los resultados.

Para la filtración lenta se emplean 220 unidades de flujo descendente que trabajan con un caudal de 0.0055 m<sup>3</sup>/s, el filtro posee una capa de arena y 3 de gravas de diferentes diámetros, sus parámetros se definen en la tabla 4 de resultados.

La desinfección del agua se realiza a través de hipoclorito de calcio a una dosis de 2 mg/l y un tiempo de contacto de 25 min. Las características de las cámaras de contacto se describen en la tabla 5 de los resultados.

#### **RECOMENDACIONES**

- Aplicar la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 para poblaciones urbanas mayor a 1000 habitantes, mientras que para zonas rurales es adecuado aplicar la norma CPE INEN 5 Parte 9-2.
- Seleccionar las operaciones de la planta en base a la caracterización previa del agua y a los parámetros que se desean minimizar. La norma CPE INEN 5 parte

9-1 da tratamientos probables, es decir que si se ve necesario aplicar otra técnica se puede realizar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) GAD Municipal de Machala. Plan de Contingencia Cantonal Ante La Presencia Del Fenómeno Del Niño. **2015**.
- (2) Gonzaga Añazco, S. J.; Castro Perdomo, N. A.; López Calvajar, G. A. Vista de El Abasto de Agua Potable y La Salud Comunitaria. Machala, Ecuador. Estudio de Caso. **2017**, 218–223.
- (3) Afroz, R.; Banna, H.; Masud, M. M.; Akhtar, R.; Yahaya, S. R. Household's Perception of Water Pollution and Its Economic Impact on Human Health in Malaysia. *Desalin. Water Treat.* **2016**, 57 (1), 115–123. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1006822>.
- (4) Instituto Ecuatoriano de Normalización. Normas Para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes. **2003**, 35–42.
- (5) Lester, Y.; Ferrer, I.; Thurman, E. M.; Sitterley, K. A.; Korak, J. A.; Aiken, G.; Linden, K. G. Characterization of Hydraulic Fracturing Flowback Water in Colorado: Implications for Water Treatment. *Sci. Total Environ.* **2015**, 512–513, 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.043>.
- (6) Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS. **2014**.
- (7) Scholz, M.; Scholz, M. Chapter 2 – Water Treatment. *Wetl. Water Pollut. Control* **2016**, 20, 9–11. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00002-2>.
- (8) SENAGUA. Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes. **2016**, No. 6, 420.
- (9) Maldonado, H. Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Potable Para El Sitio El Recuerdo Por El Método de Aireación y Filtración, Universidad Técnica de Machala, 2015.

- (10) Criollo, J. Abastecimiento de Agua Potable y Su Incidencia En La Condición Sanitaria de Los Habitantes de La Comunidad Shuyo Chico y San Pablo de La Parroquia Angamarca, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi., Universidad Técnica de Machala, 2015.
- (11) Arellano, A.; Bayas, A.; Meneses, A.; Castillo, T. Los Consumos y Las Dotaciones de Agua Potable En Poblaciones Ecuatorianas Con Menos de 150 000 Habitantes. *Novasinerгия Rev. Digit. Ciencia, Ing. Y Technol.* **2018**, *1* (1), 23–32. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>.
- (12) Staudinger, M.; Stoelzle, M.; Seeger, S.; Seibert, J.; Weiler, M.; Stahl, K. Catchment Water Storage Variation with Elevation. *Hydrol. Process.* **2017**, *31* (11), 2000–2015. <https://doi.org/10.1002/hyp.11158>.
- (13) View, M.; View, M.; View, M.; David, E.; View, M. Water Purification Process with Water Pretreatment. **2017**, *1* (19), 2015–2018.
- (14) Moran, S. Engineering Science of Water Treatment Unit Operations. *An Appl. Guid. to Water Effl. Treat. Plant Des.* **2018**, 39–51. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811309-7.00004-7>.
- (15) Li, L.; Sun, Z.; Zhang, R. Numerical Simulation of Sedimentation Processes in a Novel Air Flotation-Sedimentation Tank. *J. Water Process Eng.* **2017**, *18* (May), 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.05.006>.
- (16) Organización Panamericana de la Salud. Guía Para El Diseño de Desarenadores y Sedimentadores. *Revista* **2005**, *1*, 34.
- (17) Freitas de Oliveira, F.; Moreira, R. G.; Schneider, R. P. Evidence of Improved Water Quality and Biofilm Control by Slow Sand Filters in Aquaculture – A Case Study. *Aquac. Eng.* **2019**, *85* (March), 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.003>.
- (18) Moran, S. *Clean Water Unit Operation Design*; 2018. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811309-7.00007-2>.
- (19) Collivignarelli, M. C.; Abbà, A.; Benigna, I.; Sorlini, S.; Torretta, V. Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. *Sustain.* **2018**, *10* (1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10010086>.

- (20) Petterson, S. R.; Stenström, T. A. Quantification of Pathogen Inactivation Efficacy by Free Chlorine Disinfection of Drinking Water for QMRA. *J. Water Health* **2015**, *13* (3), 625–644. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.193>.
- (21) Morales Samperio, H.; Zuñiga Carrasco, I. R. Importancia de La Cloración Del Agua : Sitios de Abastecimiento Con Presencia de Bacterias Patógenas. **2019**, *39* (3), 86–92.
- (22) Orellana, J. A. Tratamiento De Las Aguas. *Ing. Sanit. UTN - FRRO* **2016**, 1–123.
- (23) Asociación Española de Abastecimientos de agua y saneamiento. Manual de La Cloración. *Com. Cent. Saneam.* **1984**, 1–32.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1**

26

## Cálculo de la población futura

- **Método geométrico**

### Datos

$$P_0 = 256\ 022\ hab$$

$$i = 1.38\%$$

$$n = 20\ años$$

$$P_f = P_0 (1 + i/100)^n$$

$$P_f = 256\ 022\ hab (1 + 1.38/100)^{20}$$

$$P_f = 336\ 762\ hab$$

- **Método aritmético**

### Datos

$$P_0 = 256\ 022\ hab$$

$$i = 1.38\%$$

$$n = 20\ años$$

$$P_f = P_0 + in$$

$$P_f = 256\ 022\ hab + (1.38)(20)$$

$$P_f = 256\ 050$$

- **Método mixto**

### Datos

$$M_a = 256\ 050\ hab$$

$$M_b = 336\ 762\ hab$$

$$P_f = \frac{(M_a + M_b)}{2}$$

$$P_f = \frac{256\ 050\ hab + 336\ 762\ hab}{2}$$

$$P_f = 296\ 406\ hab$$

## Cálculo de las variaciones de consumo

- Consumo medio diario por año

### Datos

$$q = 230 \text{ l/hab/día}$$

$$N = 296\,406$$

$$Q_m = \frac{qN}{(1\,000 \times 86\,400)}$$
$$Q_m = \frac{230 \text{ l/hab/día}(296\,406 \text{ hab})}{1\,000 \times 86\,400}$$
$$Q_m = 0.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Requerimiento máximo de consumo por día

### Datos

$$k_{\text{max.día}} = 1.4$$

$$Q_m = 0.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{max.dís}} = k_{\text{max.día}} \times Q_m$$

$$Q_{\text{max.dís}} = 1.4 \times 0.79 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{max.dís}} = 1.11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### Caudal de diseño

### Datos

$$Q_{\text{max.dís}} = 1.11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_d = Q_{\text{max.dís}} + Q_{\text{max.dís}} 10\%$$
$$Q_d = 1.11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + \left( 1.11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 0.1 \right)$$
$$Q_d = 1.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

## ANEXO 2

### Criterios de calidad del afluente

**Tabla 6.** Compuestos que afectan la potabilidad

Sustancias	Concentración Máxima Aceptable.
	Mg/L
Sólidos totales	1500
Hierro	50
Manganeso	5
Cobre	1.5
Zinc	1.5
Magnesio + sulfato de sodio	1000
Sulfato de alquibencilo	0.5

Característica Física	
Parámetro	Valor Máximo
Color	300 unidades de color

**Fuente:** <sup>4</sup>.

**Tabla 7.** Compuestos peligrosos para la salud

Sustancias	Concentración Máxima Aceptable.
	Mg/L
Nitratos	4.5
Fluoruros	1.5

**NOTA.** Compuestos tóxicos cuya presencia en concentraciones sobre el máximo establecido, pueden ser base suficiente para el rechazo de la fuente, por inapropiada para el consumo público.

**Fuente:** <sup>4</sup>.

**Tabla 8.** Compuestos tóxicos indeseables.

<b>Sustancias</b>	<b>Concentración Máxima Aceptable.</b>
	<b>Mg/L</b>
Compuestos fenólicos	0.002
Arsénico	0.05
Cadmio	0.01
Cromo hexavalente	0.05
Cianuros	0.2
Plomo	0.05
Selenio	0.01
Radionúclidos (actividad Beta total)	1 Bq/l

**Fuente:**<sup>4</sup>.**Tabla 9.** Compuestos químicos indicadores de contaminación.

<b>Sustancias</b>	<b>Concentración Máxima Aceptable.</b>
	<b>Mg/L</b>
Demanda bioquímica de oxígeno	6
Demanda química de oxígeno	10
Nitrógeno total (excluido NO <sup>3-</sup> )	1
Amoníaco	0.5
Cloroformo (*)	0.5
Grasas y aceites	0.01
Contaminantes orgánicos	1

(\*) Cualquier cantidad superior a 0.2 mg/l indicara la necesidad de determinaciones analíticas más precisas sobre la fuente y el origen.

**Fuente:** <sup>4</sup>

**Tabla 10.** Calidad bacteriológica.

<b>Sustancias</b>	<b>Nmp/100 MI De Bacterias Coliformes (*)</b>
a) Exige solo tratamiento de desinfección.	0 - 50
b) Exige métodos convencionales de tratamiento.	50 – 5 000
c) Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos.	5 000 – 50 000
d) Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales. Estas fuentes se utilizarán solo en casos extremos.	más de 50 000

**Fuente:** <sup>4</sup>.

**Tabla 11.** Calidad biológica.

<b>Organismos Patógenos</b>	
<b>Organismos</b>	<b>Criterio</b>
Protozoarios: Entoameba histolítica, Giardia, Balantidium coli.	No deben contener
Helmintos: Ascaris lumbricoide, Trichuris trichuria, Strongloides stercoralis, Ancylostoma duodenale, Dracunculus medinensis, Shistosoma mansoni.	

**Fuente:** <sup>4</sup>.

## Criterios de calidad del efluente

**Tabla 12.** Características físicas y compuestos inorgánicos.

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permitido
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<b>Inorgánicos</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0.02
Arsénico, As	mg/l	0.01
Bario, Ba	mg/l	0.7
Boro, B	mg/l	0.5
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cianuros, CN <sup>-</sup>	mg/l	0.07
Cloro libre residual*	mg/l	0.3 a 1.5 <sup>1)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2.0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0.05
Fluoruros	mg/l	1.5
Manganeso, Mn	mg/l	0.4
Mercurio, Hg	mg/l	0.006
Níquel, Ni	mg/l	0.07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0.2
Plomo, Pb	mg/l	0.01
Radiación total *	Bg/l	0.1
Radiación total **	Bg/l	1.0
Selenio, Se	mg/l	0.01

<sup>1)</sup> Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>239</sup>Pu

\*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>228</sup>Ra

**Fuente:** <sup>6</sup>.

**Tabla 13.** Sustancias orgánicas.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitido</b>
<b>Hidrocarburos policíclicos</b>		
<b>aromáticos HAP</b>		
Benceno [a]pireno	mg/l	0.007
<b>Hidrocarburos:</b>		
Benceno	mg/l	0.01
Tolueno	mg/l	0.7
Xileno	mg/l	0.5
Estireno	mg/l	0.02
1,2-dicloroetano	mg/l	0.03
Cloruro de vinilo	mg/l	0.003
Tricloroetano	mg/l	0.02
Tetracloroetano	mg/l	0.04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0.008
Acrylamida	mg/l	0.0005
Epiclorohidrina	mg/l	0.0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0.0006
1,2-dibromoetano	mg/l	0.0004
1,4-dioxano	mg/l	0.05
Ácido Nitrotriacético	mg/l	0.2

**Fuente:**<sup>6</sup>.

**Tabla 14.** Plaguicidas.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitido</b>
Isoproturón	mg/l	0.009
Lindano	mg/l	0.002
Pendimetalina	mg/l	0.02
Pentaclorofenol	mg/l	0.009
Dicloroprop	mg/l	0.1
Alacloro	mg/l	0.02
Aldicarb	mg/l	0.01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0.00003
Carbofuran	mg/l	0.007
Clorpirifos	mg/l	0.03
DDT y metabolitos	mg/l	0.001
1,2-dibromo-3-cloropropano	mg/l	0.001
1,3 –dicloropropeno	mg/l	0.02
Dimetoato	mg/l	0.006
Endrín	mg/l	0.0006
Terbutitazina	mg/l	0.007
Clorando	mg/l	0.0002

**Fuente:**<sup>6</sup>.**Tabla 15.** Residuos desinfectantes.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permitido</b>
Monocloramina	mg/l	3

**Fuente:**<sup>6</sup>.

**Tabla 16.** Subproductos de desinfección.

Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0.2
<b>Trihalometanos totales</b>	mg/l	0.5
Si pasa de 0.5 mg/l investigar:		
• Bromodiclorometano	mg/l	0.06
• Cloroformo	mg/l	0.3
Ácido tricloroacético	mg/l	0.2

**Fuente:** <sup>6</sup>.

**Tabla 17.** Cianotoxinas.

Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permitido
Microcistina-LR	mg/l	0.001

**Fuente:** <sup>6</sup>.

**Tabla 18.** Requisitos microbiológicos.

Parámetros	Máximo
Coliformes fecales <sup>(1)</sup>	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
- Filtración por membrana UFC/100 ml	< 1 **
Cryptosporidium, número de ooquistes/100 litros	Ausencia
Guardia, número de quistes/100 litros	Ausencia

\* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm<sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm<sup>3</sup>, ninguno es positivo

\*\* < 1 significa que no se observan colonias

<sup>(1)</sup> ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida.

**Fuente:** <sup>6</sup>.

### ANEXO 3

#### Rejillas de limpieza mecánica

##### Datos:

$$B = 1.5 \text{ m}$$

$$E_b = 20 \text{ mm}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$h_b = 0.3 \text{ m}$$

$$Q_d = 1.22 \frac{m^3}{s}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\text{Unidades} = U = 2$$

- Cada unidad debe trabajar con el 50% de  $Q_d$

$$Q_t = 1.22 \frac{m^3}{s} \times 0.5 = 0.61 \frac{m^3}{s}$$

- Cálculo del área del canal (A).

$$A = B \times H$$

$$A = 1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1.5 \text{ m}^2$$

- Determinación de la velocidad antes de la rejilla ( $V_o$ ).

$$V_o = \frac{Q_t}{A}$$

$$V_o = \frac{0.61 \frac{m^3}{s}}{1.5 \text{ m}^2} = 0.41 \frac{m}{s}$$

- Cálculo de la longitud de las rejillas (L).

$$L = \frac{H + h_b}{\text{sen } \alpha}$$

$$L = \frac{1 \text{ m} + 0.3 \text{ m}}{\text{sen } 30^\circ} = 2.6 \text{ m}$$

- Conversión de unidades, espacio entre las barras  $E_b$ .

$$20 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 0.02 \text{ m}$$

- Determinación del número de espacios (N), asumiendo un espesor de barra (e) de 0.02 m:

$$N = \frac{B - E_b}{E_b + e}$$

$$N = \frac{1.5 \text{ m} - 0.02 \text{ m}}{0.02 \text{ m} + 0.02 \text{ m}} = 37$$

- Cálculo del número de barras (n).

$$n = N - 1$$

$$n = 37 - 1 = 36$$

- Determinación de la altura o energía de velocidad de flujo de aproximación ( $h_v$ ); asumiendo una velocidad de acercamiento ( $V_a$ ) de 0.6 m/s

$$h_v = \frac{V_a^2}{2g}$$

$$h_v = \frac{(0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 (9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 0.018 \text{ m}$$

- Cálculo de la pérdida hidráulica ( $h_f$ ) (Kirschmer), considerando que  $\beta$  es 2.42 para barras planas rectangulares.

$$h_f = \beta \left( \frac{e}{E_b} \right)^{\frac{4}{3}} \times h_v \times \text{sen } \alpha$$

$$h_f = (2.42) \left( \frac{0.02 \text{ m}}{0.02 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} (0.018 \text{ m}) (\text{sen } 30^\circ) = 0.022 \text{ m}$$

- Determinación del área de la rejilla ( $A_r$ ).

$$A_r = N \times e \times H$$

$$A_r = (37)(0.02 \text{ m})(1 \text{ m}) = 0.74 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la velocidad entre la rejilla ( $V_r$ ).

$$V_r = \frac{Q_t}{A - A_r}$$

$$V_r = \frac{0.61 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.5 \text{ m}^2 - 0.74 \text{ m}^2} = 0.8 \text{ m/s}$$

## Sedimentadores

### Datos:

$$Q_d = 1.22 \frac{m^3}{s}$$

$$V_s = 0.61 \frac{cm}{s}$$

### Unidades = 2

- Cada unidad debe trabajar con el 50% de  $Q_d$

$$Q_t = 1.22 \frac{m^3}{s} \times 0.5 = 0.61 \frac{m^3}{s}$$

- Conversión de unidades de  $V_s$ .

$$0.61 \frac{cm}{s} \times \frac{1 m}{100 cm} = 0.0061 \frac{m}{s}$$

- Cálculo del área superficial ( $A_s$ ).

$$A_s = \frac{Q_t}{V_s} = \frac{0.61 \frac{m^3}{s}}{0.0061 \frac{m}{s}} = 100 m^2$$

- Determinación de  $L$ , asumiendo que  $B$  es 5 m.

$$L_2 = \frac{A_s}{B} = \frac{100 m^2}{5 m} = 20 m$$

- $L_1$  es la longitud que existe entre la pantalla difusora y la entrada, considerando que este valor es igual a 0.8 m.

$$L = L_1 + L_2 = 20 m + 0.8 m = 20.8 m$$

- Verificación de los valores de  $L$  y  $B$ .

$$\frac{L}{B} = \frac{20.8 m}{5 m} = 4.16$$

- Tomando un valor de  $H$  es 2.5 m.

$$\frac{L}{H} = \frac{20.8 m}{2.5 m} = 8.32$$

- Cálculo de la velocidad horizontal ( $V_H$ ).

$$V_H = \frac{100 \times Q_t}{B \times H} = \frac{100 \times 0.61 \frac{m^3}{s}}{5 m \times 2.5 m} = 4.88 \text{ cm/s}$$

- Cálculo del tiempo de retención ( $T_R$ )

$$T_R = \frac{As \times H}{3600 \times Q_t} = \frac{100 m^2 \times 2.5m}{3600 \times 0.61 \frac{m^3}{s}} = 0.11 h$$

- La pendiente en el fondo de la unidad es del 10% por lo cual la altura máxima será:

$$H_{max} = H + 0.1H$$

$$H_{max} = 2.5 m + (0.1)(2.5m) = 2.75 m$$

- Determinación de la carga hidráulica del vertedero de salida que posee una longitud de cresta igual a B.

$$q_v = \frac{Q_d}{B}$$

$$q_v = \frac{0.61 \frac{m^3}{s}}{5 m} = 0.12 \frac{m^3}{m s} \text{ o } 120 \frac{l}{m s}$$

- Determinación de la altura del agua sobre el vertedero ( $H_v$ ).

$$H_v = \left[ \frac{Q_d}{1.84 B} \right]^{2/3}$$

$$H_v = \left[ \frac{0.61 \frac{m^3}{s}}{1.84 (5 m)} \right]^{2/3} = 0.16 m$$

- Dimensionamiento de la pantalla difusora, considerando que la velocidad entre los orificios ( $V_o$ ) es 0.1 m/s; de acuerdo a este parámetro el área total de los orificios ( $A_o$ ) será:

$$A_o = \frac{Q_d}{V_o}$$

$$A_o = \frac{0.61 \frac{m^3}{s}}{0.1 \frac{m}{s}} = 6.1 m^2$$

- Asumiendo un diámetro de orificio ( $D_o$ ) de 0.15 m, se determina el área para cada orificio ( $a_o$ ).

$$r = \frac{D_o}{2} = \frac{0.15 \text{ m}}{2} = 0.075 \text{ m}$$

$$a_o = \pi r^2$$

$$a_o = (3.1416)(0.075 \text{ m})^2 = 0.018 \text{ m}^2$$

- Cálculo del número de orificios ( $n$ ).

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

$$n = \frac{6.1 \text{ m}^2}{0.018 \text{ m}^2} = 338.8 \cong 340$$

- Cálculo de la altura de la pantalla difusora que posee orificios ( $H_p$ ).

$$H_p = H - \frac{2}{5}H$$

$$H_p = 2.5 \text{ m} - \frac{2}{5}(2.5 \text{ m}) = 1.5 \text{ m}$$

- Sí para los orificios se adopta tanto un número de filas ( $n_f=10$ ) como el número de columnas ( $n_c=34$ ), entonces se calcula el espacio que hay entre las filas ( $e_f$ ):

$$e_f = \frac{H_p}{n_f}$$

$$e_f = \frac{1.5 \text{ m}}{10} = 0.15 \text{ m}$$

- Cálculo del espacio entre las columnas ( $e_c$ ).

$$e_c = \frac{B - e_f(n_c - 1)}{2}$$

$$e_c = \frac{5 \text{ m} - 0.15 \text{ m}(34 - 1)}{2} = 0.025 \text{ m}$$

## Filtros de arena

### Datos

$$Q_d = 1.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Unidades} = U_f = 220$$

$$V_f = 0.2 \frac{m}{h}$$

$$V_c = 0.25 \text{ m/s}$$

$$e_L = 1.5 \text{ m}$$

$$V_L = 0.2 \text{ m/s}$$

$$e_o = 0.1 \text{ m}$$

$$D_o = 10 \text{ mm}$$

### Caudal de tratamiento para cada unidad.

- Cada unidad va a ser diseñada para trabajar con el 0.45 % de  $Q_d$ .

$$Q_t = 1.22 \frac{m^3}{s} \times 0.0045 = 0.0055 \frac{m^3}{s}$$

### Dimensionamiento del filtro.

- Cálculo del área superficial ( $A_s$ ).

$$0.0055 \frac{m^3}{s} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 19.8 \frac{m^3}{h}$$

$$A_s = \frac{Q_t}{V_f}$$

$$A_s = \frac{19.8 \frac{m^3}{h}}{0.2 \frac{m}{h}} = 99 \text{ m}^2$$

- Determinación del largo del filtro (L), asumiendo un ancho de filtro (B) de 9 m.

$$L = \frac{A_s}{B}$$

$$L = \frac{99 \text{ m}^2}{9 \text{ m}} = 11 \text{ m}$$

- Considerar las siguientes características para obtener la altura del filtro:

**Tabla 19.** Determinación de la altura del filtro.

Característica	Valores permitidos (m)	Valor adoptado (m)
Altura de capa (Lo)	1 – 1.4	1.2
Borde libre (BL)	0.2 – 0.3	0.25
Capa de agua sobrenadante (Ca)	1 – 1.5	1.2

Capa 1 de grava	0.1	0.1
Capa 2 de grava	0.1	0.1
Capa 3 de grava	0.15	0.15
<b>Altura de filtro (H)</b>		<b>3</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

### Dimensionamiento de la cámara de entrada.

- Determinación del volumen de la cámara de regulación ( $V_r$ ), considerando un tiempo de retención ( $t$ ) de 120 s.

$$V_r = Q_t \times t$$

$$V_r = \left( 0.0055 \frac{m^3}{s} \right) \times 120 s = 0.66 m^3$$

- Cálculo de la altura de la cámara de regulación ( $h$ ), asumiendo que el valor del ancho ( $b$ ) y el de la longitud ( $l$ ) es de 1 m.

$$h = \frac{V_r}{(b \times l)}$$

$$h = \frac{0.66 m^3}{1 m \times 1 m} = 0.66 m$$

### Dimensionamiento del vertedero de entrada.

- Determinación de la carga sobre el vertedero de aforo.

$$h_v = \left[ \frac{Q_t}{1.40} \right]^{2/5}$$

$$h_v = \left[ \frac{0.0055 \frac{m^3}{s}}{1.40} \right]^{2/5} = 0.11 m$$

- Cálculo de la altura del vertedero ( $H_v$ ).

$$H_v = 2 h_v$$

$$H_v = 2(0.11 m) = 0.22 m$$

- Determinación de la longitud ( $L_v$ ).

$$L_v = 2 H_v$$

$$L_v = 2 (0.22 m) = 0.44 m$$

- Cálculo del ancho ( $A_v$ ).

$$A_v = 2 h_v$$

$$A_v = 2(0.11 \text{ m}) = 0.22 \text{ m}$$

### Dimensionamiento del sistema de drenaje.

- Cálculo de la velocidad de filtración del drenaje

$$V_{fd} = \frac{Q_t}{A_s}$$
$$V_{fd} = \frac{19.8 \frac{m^3}{h}}{99 \text{ m}^2} = 0.2 \frac{m}{h}$$

- Determinación del área de los orificios ( $A_o$ ).

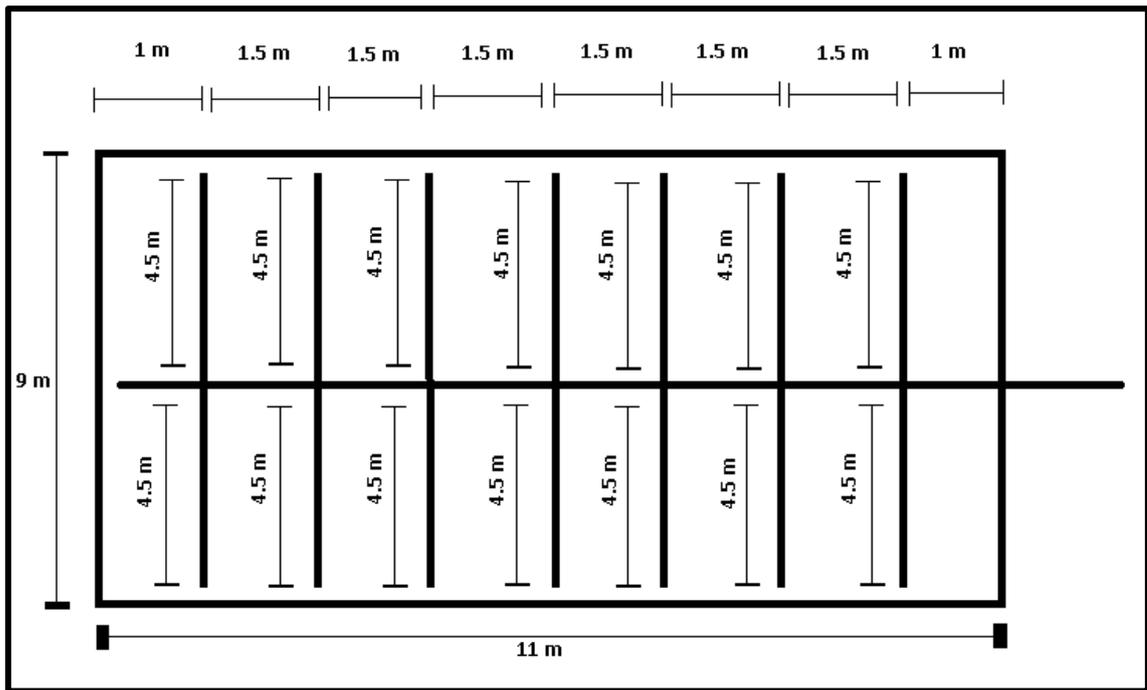
$$10 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.01 \text{ m}$$

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$A_o = \frac{(3.1416)(0.01 \text{ m})^2}{4} = 0.000079 \text{ m}^2$$

- Con el espacio entre laterales ( $e_L$ ) de 1.5 m se obtienen 7 laterales de cada lado del colector principal por lo que la longitud total de los laterales será:

**Figura 2.** Sistema de drenaje.



Fuente: Elaboración propia.

**Lateral 1** = 4.5 m x 2 = 9m

**Lateral 2** = 4.5 m x 2 = 9m

**Lateral 3** = 4.5 m x 2 = 9m

**Lateral 4** = 4.5 m x 2 = 9m

**Lateral 5** = 4.5 m x 2 = 9m

**Lateral 6** = 4.5 m x 2 = 9m

**Lateral 7** = 4.5 m x 2 = 9m

**Longitud total de los 14 laterales (Lt) = 63 m**

- Determinación del número de orificios (N).

$$N = \frac{L_t}{e_o} \times 2$$

$$N = \frac{63 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} \times 2 = 1260$$

- Cálculo del número de orificios por cada lateral (n).

$$n = \frac{N}{N^{\circ} \text{ de laterales}}$$

$$n = \frac{1260}{14} = 90$$

- Cálculo del caudal a través de los orificios (Q<sub>o</sub>).

$$Q_o = \frac{Q_t}{N}$$

$$Q_o = \frac{0.0055 \frac{m^3}{s}}{1260} = 0.0000044 \frac{m^3}{s}$$

- Determinación del caudal del lateral (qL).

$$qL = n \times Q_o$$

$$qL = 90 \times 0.0000044 \frac{m^3}{s} = 0.0004 \frac{m^3}{s}$$

- Cálculo del área del tubo lateral (AL).

$$AL = \frac{qL}{V_L}$$

$$AL = \frac{0.0004 \frac{m^3}{s}}{0.2 \frac{m}{s}} = 0.002 m^2$$

- Determinación del diámetro interno del tubo lateral (di).

$$di = \left( \frac{4 \times AL}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$di = \left( \frac{4 \times 0.002 m^2}{3.1416} \right)^{1/2} = 0.05 m$$

- Cálculo del área del colector central (Ac)

$$A_c = \frac{Q_t}{V_c}$$

$$A_c = \frac{0.0055 \frac{m^3}{s}}{0.25 \frac{m}{s}} = 0.022 m^2$$

- Determinación del diámetro interno del colector principal (dic).

$$dic = \left( \frac{4 \times A_c}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$dic = \left( \frac{4 \times 0.022 m^2}{3.1416} \right)^{1/2} = 0.17 m$$

## Cloración

### Datos:

$t = 25 \text{ min}$

$\text{Ca}(\text{ClO})_2 = 70\% \text{ de cloro activo}$

$\text{Dosis} = 2 \text{ mg/l}$

$$Q_d = 1.22 \frac{m^3}{s}$$

- Volumen del tanque de cloración

$$V_t = Q_d \times t$$

$$V_t = 1.22 \frac{m^3}{s} \times 1500s = 1830m^3$$

#### Dimensionamiento de cámaras de contacto.

- Cálculo de la longitud total de las cámaras de contacto ( $L_t$ ), asumiendo un ancho de cámaras ( $b$ ) de 9 m y una altura ( $h$ ) de 4 m.

$$L_t = \frac{V_t}{b \times h}$$

$$L_t = \frac{1830m^3}{9m \times 4m} = 50.83m$$

- Determinación del número de cámaras ( $n$ ), asumiendo una longitud de cámara ( $L$ ) de 10.17 m.

$$n = \frac{L_t}{L}$$

$$n = \frac{50.83m}{10.17m} = 5$$

#### Dosis de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al día

- Conversión del  $Q_d$  a l/día.

$$1.22 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400s}{\text{día}} \times \frac{1000l}{1m^3} = 1.05408 \times 10^8 \frac{l}{\text{día}}$$

- Conversión de la dosis a kg/l.

$$2 \frac{mg}{l} \times \frac{1kg}{1000000mg} = 2 \times 10^{-6} \frac{kg}{l}$$

- Determinación de la cantidad en kg que se necesitan de hipoclorito de calcio al día.

$$Q_d \times \text{dosis} = \left(1.05408 \times 10^8 \frac{l}{\text{día}}\right) \times \left(2 \times 10^{-6} \frac{kg}{l}\right) = 210.82 \frac{kg}{\text{día}}$$

- Considerando que sólo se posee el 70% de cloro.

$$210.82 \frac{kg}{día} \times \frac{100}{70} = 301.17 \frac{kg}{día}$$