



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

***“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA  
PARROQUIA SAN ISIDRO DEL CANTÓN GUANO”***

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR**

**CLARA ISABEL RUIZ SÁNCHEZ**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2013**

Agradezco, a mi padre Juan Ruiz y mi madre Margarita Sánchez porque gracias a su sacrificio, he podido llegar a la culminación de esta meta

Al Ing. Rodrigo Proaño, quien fue pieza fundamental en la realización de este proyecto, a los Ingenieros Mario Villacrés y Marco Chuiza quienes han sido guías en el caminar de este proyecto.

Al ingeniero Hanníbal Brito por, compartir sus conocimientos, y gran experiencia, ya que esto ha sido de gran ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A Luis Miguel Freire, por su amistad y apoyo incondicional.

Clara I. Ruiz Sánchez

Dedico este trabajo se lo dedico al Señor de la Justicia bendita y la virgen Santísima del Cisne por los favores recibidos.

También quiero dedicar este trabajo a mis padres Juan y Margarita porque por ellos estoy hoy aquí, por ellos y para ellos es mi esfuerzo plasmados como muestra de mi gratitud.

Se lo dedico a mis hermanos Camilo y Daniela porque su presencia en mi vida ha sido maravillosa desde su llegada.

A mi tía María Grimaneza, porque es mi segunda madre, nunca me falló y siempre creyó en mí.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Silvio Álvarez

DECANO FAC. CIENCIAS

.....

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

.....

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR DE TESIS

.....

Ing. Marco Chuiza

ASESOR DE TESIS

.....

Tc. Carlos Rodríguez

DIRECTOR CENTRO

.....

DE DOCUMENTACIÓN

NOTA DE INFORME:

.....

“Yo CLARA ISABEL RUIZ SÁNCHEZ, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

## INDICE DE ABREVIATURAS

|                        |   |
|------------------------|---|
| $A$                    | <i>Tasa media de filtración</i>   |
| $A^D$                  | <i>Área de cada unidad de aireación</i>                                   |
| $A^I$                  | <i>Área total de filtración</i>   |
| $H^{MF}$<br>tanque (m) | <i>Altura del tanque de cloración</i>                                     |
| $kg/m^3$               | <i>Altura del tanque de cloración<br/>Kilogramo por metro cúbico</i>      |
| $kg/ms$                | <i>Kilogramo por metro cúbico<br/>Kilogramo por metro segundo</i>         |
| $L/sm^2$               | <i>Kilogramo por metro segundo<br/>Litro por segundo metro cuadrado</i>   |
| $m/s^2$                | <i>Litro por segundo metro cuadrado<br/>Metro por segundo al cuadrado</i> |
| $m^3/s^2$              | <i>Metro por segundo al cuadrado<br/>Metro cúbico</i>                     |
| $N s/m^2$              | <i>Metro cúbico<br/>Newton segundo por metro al cuadrado</i>              |
| $N/m^3$                | <i>Newton segundo por metro al cuadrado<br/>Newton por metro cúbico</i>   |
| $Q^{1/m}$ (L/s)        | <i>Gasto medio diario</i>   |
| $s^{-1}$               | <i>Gasto medio diario<br/>Segundos a la menos uno</i>                     |
| $V^D$                  | <i>Tamaño del tanque de distribución</i>                                  |
| $V^F$                  | <i>Tamaño de los filtros</i>  |
| $v^L$                  | <i>Velocidad de lavado</i>  |
| $V^L$                  | <i>Volumen de lavado</i>  |
| $V^S$                  | <i>Tamaño del tanque de salmuera</i>                                      |
| $V^T$                  | <i>Tamaño del tanque de tratamiento</i>                                   |
| $V^C$<br>tanque        | <i>Volumen del tanque de cloración</i>                                    |
| $\theta^L$             | <i>Tiempo de lavado</i>   |
| $\mu\text{Siems/cm}$   | <i>Micro Siems Por Centímetro</i>   |
| $A$                    | <i>Área del filtro</i>  |

|                  |  |
|------------------|--|
| At               | <i>Área Total Del Aireador</i>   |
| At               | <i>Área total del aireador</i>   |
| D                | <i>Tubería de entrada al filtro</i>  |
| DB               | <i>Dotación básica</i>   |
| Df               | <i>Dotación futura</i>   |
| FM               | <i>Dotación futura</i><br><i>Factor de mayorización</i>                          |
| g                | <i>Factor de mayorización</i><br><i>Aceleración de la gravedad,</i>              |
| G                | <i>Aceleración de la gravedad,</i><br><i>Gradiente De Velocidad,</i>             |
| H (m)            | <i>Altura total</i>  |
| INEN             | <i>Instituto Ecuatoriano De Normalización</i>                                    |
| K                | <i>Instituto Ecuatoriano De Normalización</i><br><i>Constante</i>                |
| m                | <i>Constante</i><br><i>Metros</i>  |
| mm               | <i>Metros</i><br><i>Milímetro</i>  |
| N                | <i>Número de unidades de aireación</i>   |
| No               | <i>Número de unidades de aireación</i><br><i>Población Al Inicio Del Periodo</i> |
| Nt               | <i>Población futura</i>  |
| NTU              | <i>Unidades nefelométricas de turbiedad</i>                                      |
| °C               | <i>Unidades nefelométricas de turbiedad</i><br><i>Grado centigrado</i>           |
| OMS              | <i>Organización Mundial de la Salud</i>  |
| p                | <i>Organización Mundial de la Salud</i><br><i>Poblacion</i>                      |
| P                | <i>Poblacion</i><br><i>Potencia introducida cal agua, W</i>                      |
| Pa. s            | <i>Potencia introducida al agua</i><br><i>Pascal segundo</i>                     |
| Q (L/s)          | <i>Caudal</i>  |
| Qcaptación (L/s) | <i>Caudal de captación</i>   |
| QMd (L/s)        | <i>Gasto máximo diario</i>   |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Qmd (L/s)                   | <i>Caudal Medio Diario</i>  |
| QMd (L/s)                   | <i>Caudal Medio Diario</i><br><i>Gasto Máximo Diario</i>                              |
| Qmed (L/s)                  | <i>Gasto Máximo Diario</i><br><i>Gasto medio diario</i>                               |
| QMh (L/s)                   | <i>Gasto medio diario</i><br><i>Gasto maximo horario</i>                              |
| QMh(L/s)                    | <i>Gasto máximo horario</i>   |
| Qtratamiento (L/s)          | <i>Caudal de tratamiento</i>  |
| r                           | <i>Tasa Media Anual De Crecimiento</i>  |
| T                           | <i>Tasa Media Anual De Crecimiento</i><br><i>Tiempo de retención,</i>                 |
| TA                          | <i>Tiempo de retención,</i><br><i>Carga hidráulica</i>                                |
| Tus                         | <i>Carga hidráulica</i><br><i>Total De Usuarios Servidos</i>                          |
| UFC/100ml                   | <i>Unidades Formadoras De Colonias Por Cien Mililitros</i>                            |
| Unid. Co/Pt                 | <i>Unidad de cobalto por platino</i>  |
| V                           | <i>Volumen del Hipoclorador</i>   |
| v                           | <i>Volumen del Hipoclorador</i><br><i>Viscosidad cinemática del agua,</i>             |
| Vac                         | <i>Viscosidad cinemática del agua,</i><br><i>Volumen De Agua Consumida</i>            |
| vi                          | <i>Volumen De Agua Consumida</i><br><i>Volumen para protección contra incendios</i>   |
| Vr                          | <i>Volumen para protección contra incendios</i><br><i>Volumen De Regulación</i>       |
| W                           | <i>Volumen De Reg</i><br><i>Watt</i>  |
| $\alpha$                    | <i>Resistencia específica de la torta</i>   |
| $\beta$                     | <i>Resistencia específica del medio filtrante</i>                                     |
| $\gamma$                    | <i>Resistencia específica del medio filtrante</i><br><i>Peso específico del agua,</i> |
| $\theta$                    | <i>Tiempo de filtración</i>   |
| $\mu$                       | <i>Tiempo de filtración</i><br><i>Viscosidad dinámica del agua,</i>                   |
| $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | <i>Viscosidad dinámica del agua,</i><br><i>Densidad del agua,</i>                     |





# TABLA DE CONTENIDOS

Pp:

|  |     |
|--|-----|
| PORTADA  |     |
| AGRADECIMIENTO   |     |
| DEDICATORIA  |     |
| HOJA DE FIRMAS   |     |
| HOJA DE RESPONSABILIDAD                                |     |
| INDICE DE ABREVIATURAS                                 |     |
| TABLA DE CONTENIDOS                                    |     |
| INDICE DE TABLAS                                       |     |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS                                     |     |
| INDICE DE FIGURAS                                      |     |
| INDICE DE ANEXOS                                       |     |
| RESUMEN  | I   |
| SUMMARY  | II  |
| INTRODUCCIÓN   | III |
| ANTECEDENTES   | IV  |
| JUSTIFICACIÓN  | V   |
| OBJETIVOS  | VI  |
| GENERAL  | VI  |
| ESPECÍFICOS  | VI  |
| 1. MARCO TEÓRICO                                       | 2   |
| 1.1.- FUENTES DE AGUA                                  | 2   |
| 1.1.1.- ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS                   | 2   |
| 1.2.- PROPIEDADES DEL AGUA                             | 2   |
| 1.3. PROCESOS DE TRATAMIENTOS PARA POTABILIZAR EL AGUA | 3   |
| 1.3.1. CAPTACIÓN                                       | 3   |
| 1.3.2. CONDUCCIÓN                                      | 4   |

|  |     |
|--|-----|
| 1.3.3. PRESEDIMENTACIÓN  | 4   |
| 1.3.4. AIREACIÓN   | 4   |
| 1.3.5. MEZCLA RÁPIDA   | 7   |
| 1.3.6. COAGULACIÓN   | 7   |
| 1.3.6. FLOCULACIÓN   | 8   |
| 1.3.7. SEDIMENTACIÓN   | 8   |
| 1.3.8. FILTRACIÓN  | 9   |
| 1.3.9. ABLANDAMIENTO DEL AGUA.   | 16  |
| 1.3.10. DESINFECCIÓN   | 19  |
| 1.4. TRANSPORTE, BOMBEO Y ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS                    | 21  |
| 1.4.1. TUBERÍAS, ACCESORIOS Y VÁLVULAS                                 | 21  |
| 1.5. CALIDAD DEL AGUA  | 32  |
| 1.5.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA                                 | 34  |
| 2. PARTE EXPERIMENTAL  | 41  |
| 2.1. MUESTREO  | 41  |
| 2.1.1 PLAN DE MUESTREO   | 41  |
| 2.1.2 PROCESAMIENTO Y PREPARACIÓN GENERAL DEL MUESTREO                 | 42  |
| 2.2. METODOLOGÍA   | 43  |
| 2.2.1. MÉTODOS   | 43  |
| 2.2.2. TÉCNICAS  | 44  |
| 2.3. CARACTERIZACIÓN INICIAL   | 59  |
| 2.4. PARÁMETROS FUERA DE NORMA   | 60  |
| 3. CÁLCULOS Y RESULTADOS   | 64  |
| 3.1. CÁLCULOS  | 64  |
| 3.1.1. PRUEBAS DE TRATABILIDAD   | 64  |
| 3.1.2. DISEÑO DE INGENIERÍA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE | 68  |
| 3.1.3. DIAGRAMA DEL PROCESO  | 96  |
| 3.2. RESULTADOS  | 96  |
| 3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS  | 97  |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                                      | 100 |
| 4.1. CONCLUSIONES  | 100 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 4.2. RECOMENDACIONES | 100 |
| BIBLIOGRAFÍA         | 102 |
| ANEXOS               | 105 |

## INDICE DE TABLAS

Pp:

|   |    |
|---|----|
| TABLA I:PROPIEDADES FÍSICAS.....  | 3  |
| TABLA II INFORMACIÓN TÍPICA PARA DISEÑO DE AIREADORES DE BANDEJA .....                                    | 6  |
| TABLA III TIPO DE FLUJO DE UN FLUIDO.....   | 23 |
| TABLA IV TIPOS DE VÁLVULAS .....  | 27 |
| TABLA V CONDUCTIVIDAD DEL AGUA .....  | 35 |
| TABLA VI CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN SU DUREZA .....   | 37 |
| TABLA VII MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.....  | 43 |
| TABLA VIII STANDARD METHODS.....  | 56 |
| TABLA IX ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA DE LA FUENTE DE CAPTACIÓN DE LA<br>PARROQUIA SAN ISIDRO ..... | 59 |
| TABLA X ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE LA FUENTE DE CAPTACIÓN EN LA<br>PARROQUIA SAN ISIDRO .....    | 60 |
| TABLA XI PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS FUERA DE NORMA .....   | 60 |
| TABLA XII PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS FUERA DE NORMA .....   | 61 |
| TABLA XIII PRUEBAS DE FILTRACIÓN POR ZEOLITAS, DIFERENTES GRANULOMETRÍAS ...                              | 65 |
| TABLA XIV MUESTRA 1 .....   | 65 |
| TABLA XV MUESTRA 2 .....  | 66 |
| TABLA XVI MUESTRA 3 .....   | 66 |
| TABLA XVII MUESTRA 4.....   | 66 |
| TABLA XVIII PROMEDIO DE DUREZA FINAL .....  | 67 |
| TABLA XIX PROYECCIÓN DE POBLACIÓN.....  | 69 |
| TABLA XX SIMULACIÓN DE FILTRACIÓN .....   | 72 |
| TABLA XXI PÉRDIDAS POR ACCESORIOS .....   | 81 |
| TABLA XXII PARÁMETROS DE DISEÑO.....  | 83 |
| TABLA XXIII PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE FILTRACIÓN .....                                      | 83 |
| TABLA XXIV PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN AIREADOR DE BANDEJAS .....  | 87 |

|   |    |
|---|----|
| TABLA XXV PARÁMETROS DE DISEÑO PARA DRENAJES POR TUBERÍAS ..... | 90 |
| TABLA XXVI PARÁMETROS DE DISEÑO DE LATERALES .....              | 91 |
| TABLA XXVII PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN FILTRO DE ZEOLITA .....  | 92 |
| TABLA XXVIII DEMANDA DE CLORO PARA AGUAS .....                  | 92 |
| TABLA XXIX PARÁMETROS DE DISEÑO DEL PROCESO DE CLORACIÓN .....  | 95 |
| TABLA XXX CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA.....                   | 96 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pp:

|                 |    |
|-----------------|----|
| GRÁFICO 1 ..... | 61 |
| GRÁFICO 2 ..... | 62 |
| GRÁFICO 3 ..... | 67 |
| GRÁFICO 4 ..... | 73 |
| GRÁFICO 5 ..... | 97 |

# INDICE DE FIGURAS

Pp:

|                |    |
|----------------|----|
| FIGURA 1 ..... | 5  |
| FIGURA 2 ..... | 10 |
| FIGURA 3 ..... | 96 |



## INDICE DE ANEXOS

Pp:

|              |     |
|--------------|-----|
| ANEXO 1..... | 106 |
| ANEXO 2..... | 113 |
| ANEXO 3..... | 114 |
| ANEXO 4..... | 114 |

## **RESUMEN**

Se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable, para la parroquia San Isidro del cantón Guano, que mejorará la calidad de vida de su población.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó muestreo simple, con una toma semanal en la captación del agua, por el lapso de un mes, luego de lo cual, se efectuó el análisis en el laboratorio de Análisis Técnico, de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Los resultados de los análisis fueron tabulados en una hoja de cálculo, mismos que ayudaron a la identificación de las variables de proceso, adicionalmente se consideró la dotación de 120 L/h/d, para un total de 10735 habitantes proyectados a 20 años, con un caudal de 20,34 L/s, con estos valores se diseñó el sistema para potabilización, determinándose que se necesita un tanque de captación y otro de almacenamiento de 12,2 m<sup>3</sup> cada uno, un aireador de bandejas múltiples con 4 torres de 2 metros de alto y 3 bandejas cada una. El filtro contendrá zeolita como medio filtrante y su volumen de 40 L, un tanque de cloración de 18,3 m<sup>3</sup>; este sistema fue validado por medio de un filtro compuesto por zeolita a nivel de laboratorio, llegando a tener una eficiencia del 89 % y un rendimiento del 96 %.

Este sistema de tratamiento dimensionado para la potabilización del agua, garantizará agua potable de calidad conforme a la norma NTE INEN 1108.

## **SUMMARY**

Potable water treatment system design has been carried out to improve the life quality of population belonging to San Isidro Parish, Guano canton.

Simple sampling was carried out in order to develop this investigation. A gathering in the water collection during a month was done weekly. Analysis was made in the Technical Analysis laboratory in Science Faculty at ESPOCH. Analysis results were tabulated in a spreadsheet which helped to identify the process variables. In addition, amount of 120 L/h/d, for a total of 10735 inhabitants estimated to 20 years were taken into account, with a flow of 10,34 L/s, with these amounts purification system was designed, so it was determined that a pond is necessary for collection other one for storage of 12,2 m<sup>3</sup> each one, a multiple-tray aerator with four towers of 2 meters of height and three trays each one. The filter will contain zeolite as filtering means and volume of 40 L, a chlorination pond of 18,33. This system was validated by means of a filter compound by zeolite to laboratory level, with an efficiency of 89% and a performance of 96%.

This treatment system measured for water purification will guarantee quality-potable water according to NTE INEN 1108 regulation.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de agua potable es indispensable en la vida de los seres humanos, el agua potable es de alta importancia para el sostenimiento de la vida humana y el desarrollo social y cultural de una comunidad, ya que esto depende principalmente de un suministro de agua dulce adecuados y de calidad, sin embargo este recurso tan importante se ha visto degradado y amenazado por las situaciones climáticas y por falta del cuidado humano.

Se define como agua para consumo humano, aquella que se utiliza como bebida directa y/o en la preparación de alimentos y que se encuentra libre de patógenos o de sustancias tóxicas que puedan constituir un factor de riesgo para el individuo. La calidad del agua es un excelente indicador de las condiciones de vida de una población.

En la presente investigación se expone información sobre el estudio realizado para el diseño de potabilización a partir de aguas subterráneas para la población de San Isidro parroquia rural, perteneciente al cantón Guano de la provincia de Chimborazo para satisfacer la demanda existente en este sector.

El proceso de potabilización que se llevara a cabo en este proyecto contiene seis etapas importantes: la captación, aireación de bandejas, filtración por zeolitas y la desinfección.

Cuando al agua cruda, se le da un tratamiento, se busca conseguir un nuevo estado, con características previamente fijadas miasmas que son conocidas como normas de calidad del agua potable en la actualidad se han establecido los “Valores Guías” por parte de la OMS para los países que no cuenten con normas propias. En nuestro caso contamos con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 cuarta revisión, que es la norma a seguir. La calidad del agua potable en su aspecto microbiológico está determinada por la ausencia de las bacterias del grupo Coliformes.

## **ANTECEDENTES**

La Parroquia rural San Isidro de Patulú perteneciente al cantón Guano se encuentra, limitada al norte por los límites de la parroquia de Mocha, al sur con el río Guano con el cruce entre la vía de San Isidro - San Andrés, al este con las cumbres del cerro del Igualata, y al oeste limita con el río Guano.

En esta parroquia se dispone de una fuente de agua que proviene de una vertiente subterránea, misma que abastece a 3 comunidades y 2 barrios, lo cual representa aproximadamente unos 280 habitantes que hacen uso de este líquido vital.

Sin embargo los moradores de estos poblados no tienen acceso al servicio de agua potable, ya que se disponen únicamente de agua entubada la cual es recolectada desde la vertiente hidrográfica, en cisternas de hormigón, y son conducidas mediante un sistema de tuberías bastante deplorables hasta una caseta de cloración, en la cual se busca desinfectar el agua, sin verificar otros parámetros que determinan la calidad del agua.

## **JUSTIFICACIÓN**

Se considera un derecho de los seres humanos el acceso al agua potable y saneamiento para el disfrute pleno de la vida.

La necesidad de ofrecer un suministro de agua potable con excelentes características a la población de la parroquia rural San Isidro del cantón Guano de la provincia de Chimborazo, justifica la importancia del desarrollo del presente estudio, cuyo objeto es “DISEÑAR UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE” que cuente con todas las etapas necesarias, dentro de las cuales tenemos los puntos de recolección, tratamiento, análisis y distribución correctamente establecidos, para lograr el fin propuesto de tal manera que el agua captada reciba el tratamiento adecuado según los parámetros que estén fuera de norma, para así lograr la calidad de agua establecida en la NORMA INEN 1108, ya que es necesario para preservar la salud de los habitantes de la zona y evitar daños en las tuberías que distribuyen el líquido de uso doméstico.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar un sistema de tratamiento de Agua Potable para la Parroquia San Isidro del Cantón Guano

### **ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el agua proveniente de la fuente hidrográfica, que se consume en la parroquia San Isidro Patulú.
- Identificar los parámetros de calidad de agua que están fuera de los rangos establecidos por la norma INEN 1108 (2011).
- Diseñar el sistema de tratamiento de agua, en base a los parámetros identificados en la caracterización del agua de alimentación y siguiendo las pruebas de tratabilidad.
- Validar el diseño de ingeniería del sistema de tratamiento de agua a través de la caracterización final del agua tratada.

# CAPÍTULO I



## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1.- FUENTES DE AGUA**

El agua circula continuamente a través del interminable ciclo hidrológico de precipitación o lluvia, escurrimiento, infiltración, y así sucesivamente. Se entiende por fuente de abastecimiento de agua aquel punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta el agua, temporalmente para ser usada, regresando finalmente a la naturaleza.<sup>1</sup>

Pero no necesariamente regresara a la fuente de origen, esto viene determinado por la manera como se dispone el agua de desecho.

#### **1.1.1.- ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS**

Generalmente, las comunidades más pequeñas son las que emplean abastecimientos subterráneos de agua, por lo limitado que resulta el volumen de un acuífero. Un inconveniente de los abastecimientos subterráneos es su tendencia a proveer aguas excesivamente dura, los cual se debe a que los constituyentes que causan la dureza son lavados de los depósitos minerales. “Por otro lado, el abastecimiento subterráneo tiene la ventaja de proporcionar aguas que requieren un menor grado de tratamiento, porque las (impurezas) se eliminan en forma natural a medida que el agua atraviesa las capas del suelo y el subsuelo.”<sup>2</sup> Se debe tomar en cuenta que lo mencionado puede variar de acuerdo a las características y condiciones de la zona.

### **1.2.- PROPIEDADES DEL AGUA**

El agua químicamente pura es un líquido inodoro e insípido; incoloro y transparente en capas de poco espesor, toma color azul cuando se mira a través de espesores de seis y ocho metros, porque absorbe las radiaciones rojas. Sus constantes físicas sirvieron para marcar los puntos de referencia de la escala termométrica Centígrada. A la presión atmosférica de 760 mm, el agua hierve a temperatura de 100°C y el punto de ebullición se eleva a 374°, que es la temperatura crítica a que corresponde la presión de 217,5

---

<sup>1</sup>GUERRERO, R. Manual de tratamiento de aguas, México D.F., Limusa, 2000, p. 2

<sup>2</sup> Ibídem p. 3

atmósferas; en todo caso el calor de vaporización del agua asciende a 539 calorías/gramo a 100°.

**Tabla I: *Propiedades físicas***

| Propiedad                        | Valor                       |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Estado físico                    | sólida, líquida y gaseosa   |
| Color                            | Incolora                    |
| Sabor                            | Insípida                    |
| Olor                             | Inodoro                     |
| Densidad                         | 1 g/ cm <sup>3</sup> a 4°C  |
| Punto de congelación             | 0°C                         |
| Punto de ebullición              | 100°C                       |
| Presión crítica                  | 217,5 atm                   |
| Temperatura crítica              | 374°C                       |
| Calor específico                 | 1 caloría / g°C             |
| Calor latente de evaporación     | 537 calorías/g              |
| Calor latente de fusión          | 79 calorías /g              |
| Densidad del agua líquida a 0 °C | 0,99987 g / cm <sup>3</sup> |
| Viscosidad a 4 °C                | 0,01568 g / cm.s            |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### **1.3. PROCESOS DE TRATAMIENTOS PARA POTABILIZAR EL AGUA**

#### **1.3.1. CAPTACIÓN**

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano el agua de nuestros ríos es más turbia que en invierno).

La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo o perforaciones.

### **1.3.2. CONDUCCIÓN**

Al proceso de conducir el agua desde su captación a la planta de tratamiento, se le denomina aducción. Un sistema de aducción se caracteriza por contener un conjunto de elementos que pueden ser tuberías, canales, túneles y otros dispositivos que permitan el transporte de agua desde el punto de captación hasta un tanque de almacenamiento o planta de tratamiento o si las condiciones son buenas hasta el primer punto antes de la distribución de agua en la red.

### **1.3.3. PRESEDIMENTACIÓN**

Con este sistema eliminamos las partículas sólidas y la turbidez, en los tanques de quietamiento.

Esta etapa se realiza en piletas preparadas para retener los sólidos sedimentables (arenas), los sólidos pesados caen al fondo. En su interior las piletas pueden contener placas para tener un mayor contacto con estas partículas. El agua pasa a otra etapa por desborde

### **1.3.4. AIREACIÓN**

La etapa de aeración dentro del tratamiento de agua tiene gran importancia debido a 3 razones fundamentales:

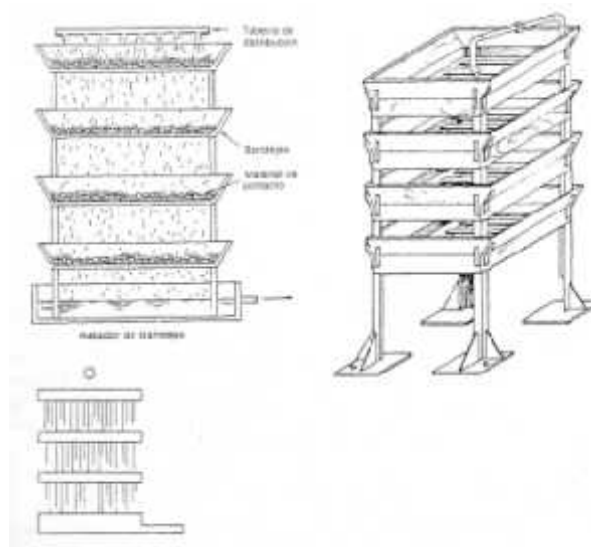
- Para introducir oxígeno del aire
- Para eliminar gases disueltos (bióxido de carbono y ácido sulfhídrico)
- Para eliminar las sustancias volátiles causantes de olor y sabor

La aireación puede llevarse a cabo por métodos muy diversos. Se ha encontrado que el más eficaz consiste en usar aspersores por medio de los cuales el agua se pulveriza en la atmósfera, hasta formar una neblina o gotas muy pequeñas. Otros métodos consiste en descargar el agua por una tubería elevada que la lleve a una serie de artesas de las que caiga el agua, a través de pequeños agujeros del fondo o derramándose por los bordes.<sup>3</sup>

### Aireadores de bandejas múltiples

**Figura 1**

*Aireadores típicos de bandejas*



FUENTE: ROMERO, J., Purificación del agua

Para el diseño de un aireador de bandejas se debe considerar los siguientes factores:

<sup>3</sup> GUERRERO, R. Manual de tratamiento de aguas, México D.F., Limusa, 2000, p. 5

**Tabla II Información Típica para diseño de aireadores de bandeja**

| <i>PARÁMETRO</i>                    | <i>VALOR</i> | <i>UNIDAD</i> |
|-------------------------------------|--------------|---------------|
| Carga Hidráulica                    | 550 – 1800   | m/d           |
| (caudal/área total de bandejas)     | < 700        | m/d           |
|                                     | 300 – 600    | m/d           |
|                                     | 500 – 1600   | m/d           |
|                                     | 1200         | m/d           |
|                                     | 60 – 300     | m/d           |
|                                     | < 300        | m/d           |
|                                     | 600 – 1200   | m/d           |
| Número de bandejas                  | 3 – 5        |               |
|                                     | 4 – 6        |               |
|                                     | >3           |               |
|                                     | 1,2 – 3      |               |
| Lecho de contacto                   |              |               |
| Espesor                             | 15 – 30      | cm            |
| coque o piedra, diámetro            | 4 – 15       | cm            |
| Coque o piedra, diámetro            | 5            | cm            |
| Esferas de cerámica, diámetro       | 5 - 15       | cm            |
| Orificios de distribución, diámetro | 5 – 6        | mm            |
|                                     | 5 – 12       | mm            |
| Separación entre orificios          | 2,5          | cm            |
|                                     | 2,5 – 7,5    | cm            |
| Profundidad de agua en la bandeja   | 15           | cm            |

|   |          |    |
|---|----------|----|
| Separación entre bandejas                 | 30 – 75  | cm |
|   | < 30     | cm |
| Eficiencia de remoción de CO <sub>2</sub> | 30 – 60% |    |

FUENTE: PURIFICACIÓN DEL AGUA, ROMERO, Jairo Alberto

### 1.3.5. MEZCLA RÁPIDA

La operación de la mezcla rápida se lleva a cabo, con el fin de dispersar aquellas sustancias químicas y gases contenidos en el agua. Generalmente en las plantas de purificación de agua, se aplica esta operación, para permitir que el coagulante sea dispersado uniformemente en la masa de agua, este proceso puede llevarse a cabo mediante turbulencia misma que puede ser de tipo hidráulica o mecánica así tenemos:

- Resaltos hidráulicos en canales
- Canaletas Parshall
- Vertederos rectangulares
- Tuberías de succión de bombas
- Mezcladores mecánicos en línea
- Rejillas difusoras
- Chorros químicos
- Tanques con equipos de mezcla rápida

### 1.3.6. COAGULACIÓN

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

Las aguas potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides.

Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.

### **1.3.6. FLOCULACIÓN**

La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los flocs de modo de facilitar la precipitación.

La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinetica, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas (en general todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos). Las partículas pequeñas ( $< 1\mu\text{m}$ ) están sometidas a floculación pericinetica, motivada por el movimiento browniano, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética.

### **1.3.7. SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación es un proceso de tratamiento en el que las partículas en suspensión, como flóculos, la arena y la arcilla se eliminan del agua, mediante la fuerza de gravedad. Existen dos formas de sedimentación usadas en los procesos de purificación del agua, sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

Donde la primera se describe como un tratamiento primario que permite la reducción de la carga de sólidos sedimentables previa la coagulación, a este proceso se lo conoce generalmente como presedimentación. La sedimentación realizada después de la coagulación y floculación se emplea para retirar los sólidos sedimentables que se han generado por el tratamiento químico como es el caso de la remoción de color, turbiedad o la remoción de dureza por cal.

### **1.3.8. FILTRACIÓN**

#### **Teoría de filtración**

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla.

Un filtro es un equipo de operaciones unitarias por medio del cual se realiza la filtración. El medio filtrante es el medio que permite que pase el líquido mientras retiene la mayor parte de sólidos. Dicho medio puede ser una pantalla, una tela, papel o un lecho sólido. El líquido que pasa a través del medio filtrante se conoce como filtrado.

#### **Medios filtrantes**

Todos los filtros requieren un medio filtrante para la retención de sólidos, ya sea que el filtro esté adaptado para la filtración de torta, como medio de filtración o filtración en profundidad. La especificación de un medio de filtración está basada en la retención de un tamaño mínimo de partícula y una buena eficiencia en la eliminación por separación, así como también una aceptable duración. La elección del medio de filtración es, con frecuencia, la consideración más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro.”<sup>4</sup>

Filtración es un proceso de remoción de materia suspendida o separación sólido-fluido mediante el cual el sólido es separado del fluido en una suspensión mediante la utilización de un lecho poroso, denominado medio filtrante. El lecho retiene las partículas mientras que el fluido pasa a través del medio filtrante y recibe el nombre de filtrado.

La filtración es un método práctico muy aplicado, como la tradicional filtración en lecho de arena, mismo que era utilizado desde tiempos inmemorables para la extracción de agua potable, con el transcurso de los años estas técnicas se han ido perfeccionando y mejorando mediante el estudio de varios investigadores.

---

<sup>4</sup> PERRY, R., GREEN, W., Manual del Ingeniero Químico, Trad. del Inglés. 7ª ed. Bogotá – Colombia, Mc Graw-Hill, 2001



La filtración se identifica por la velocidad de pasaje del agua a través del manto filtrante o del manto poroso, medida como rata o carga superficial,  $q_F$ , o sea el cociente entre el caudal,  $Q$ , y el área filtrante  $A_F$ .<sup>5</sup>

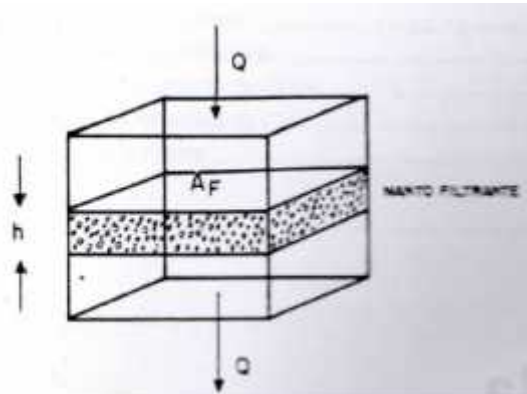
1.3.8-1

$$q_F = \frac{Q}{A_F}$$

En donde:

- $A$  = área suèrficial
- $Q$  = caudal que entra al filtro

**Figura 2**  
**Teoría de filtración**



FUENTE: ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua,

### Ayudantes para la filtración

El uso de ayudas en los filtros es una técnica que se aplica con frecuencia para las filtraciones en las que surgen problemas de baja velocidad de filtración, taponamiento rápido o de un filtrado de baja calidad. Los asistentes de filtro son sólidos granulares o fibrosos capaces de formar una torta de alta permeabilidad en la que se pueden retener sólidos deformables y sólidos muy finos o pastosos. El empleo de estos materiales (asistentes) permite obtener un medio filtrante más permeable que el necesario para una clarificación, con el objetivo de producir un filtrado de la misma calidad que el que se obtiene por filtración profunda.

<sup>5</sup>ARBOLEDA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3ª ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., p. 364

Los asistentes para filtración deben tener una baja densidad másica para minimizar su tendencia al asentamiento (sedimentación) y ayudar a la buena distribución superficial del medio filtrante, que puede no ser horizontal. Deben ser porosos y capaces de formar una torta porosa para minimizar la resistencia al flujo y químicamente inertes con el filtrado.

Estas características se encuentran en dos de los materiales más empleados como asistente de filtración: sílice de diatomea o tierra de diatomeas, una sílice casi pura formada a partir de yacimientos de esqueletos de diatomeas, y la perlita expandida, partículas de lava hinchada, que químicamente es un silicato alcalino de aluminio. En ocasiones se utilizan fibras de celulosa (madera troceada y molida) cuando no pueden ser utilizados materiales a base de sílice, pero son más compresibles. El uso de otros materiales como asistentes de la filtración menos eficaces (por ejemplo, carbón o yeso) está justificado en casos especiales. A veces una combinación de sílice y tierra de diatomeas permite la adsorción además de ser un asistente en la filtración. Otros materiales, tales como sales, arena fina, almidón, carbonato de calcio precipitado, se emplean para aplicaciones específicas, ya que además en algunos casos son residuos o material de desecho sin valor ninguno y que puede resultar una alternativa como asistente de filtros.

**Sílice de diatomeas.** Estos asistentes de filtración, como es el caso de la tierra de diatomeas tienen una densidad másica seca de 128 a 320 kg/m<sup>3</sup> (8 a 20 lb/ft<sup>3</sup>) contienen unas partículas que la mayor parte tienen un diámetro inferior a 50  $\mu\text{m}$  producen una torta con una porosidad de un valor aproximado a 0,9 (volumen de huecos/volumen total de la torta). La elevada porosidad (en comparación con la porosidad de 0,38 para las esferas uniformes rellenas al azar, y de 0,2 a 0,3 para las tortas filtrantes características) es indicativa de su capacidad como asistente para el filtrado.

**Perlita.** El asistente para el filtrado a base de perlita tiene, hasta cierto punto, una densidad másica en seco menor que la sílice de diatomeas (48 a 96 kg/m<sup>3</sup> o 3 a 6 lb/ft<sup>3</sup>) y contiene una mayor fracción de partículas en el intervalo de 50 a 150  $\mu\text{m}$ .

Sin embargo, la tierra de diatomeas soporta pH más extremos que la perlita, y hasta cierto punto es menos compresible.

Se utilizan de dos maneras:

- Como un pre recubrimiento

Mezclados como una suspensión adicional de alimentación.

## **EQUIPOS PARA FILTRACIÓN**

### **Filtros de torta**

Los filtros en los que se acumulan cantidades apreciables y visibles de sólidos sobre la superficie del medio filtrante se conocen como filtros de torta. La suspensión de alimentación puede contener una concentración de sólidos que varía desde el 1 por 100 hasta más del 40 por 100. El medio filtrante sobre el que se forma la torta es relativamente abierto para minimizar la resistencia al flujo ya que, una vez se consigue la torta, ésta se vuelve el medio filtrante efectivo. Por consiguiente, el filtrado inicial puede contener una cantidad de sólidos inaceptable hasta que se logra la formación de la torta. Esta situación se puede tolerar si se realiza una recirculación del filtrado hasta conseguir una calidad suficiente, o bien la instalación de un segundo filtro de afino, aguas abajo (tipo de clarificación).

Los filtros de torta se utilizan cuando el producto deseado de la filtración son los sólidos, el filtrado o ambos. Cuando el filtrado es el producto deseado, el grado de eliminación del líquido en la torta por lavado o soplado con aire o gas comprimido se convierte en una optimización económica. Cuando la torta es lo deseado, el incentivo es la obtención del deseado grado de pureza de la torta por lavado o soplado y, en ocasiones, el prensado mecánico para la extracción del líquido residual.

En la filtración mediante un filtro de torta está implícitamente considerada la eliminación y el manejo de sólidos, ya que, en general, la torta está relativamente seca y compactada. Las tortas pueden ser pegajosas y presentar cierta dificultad su manejo; en consecuencia, la capacidad del filtro para descargar la torta limpiamente es un criterio importante en la selección del equipo.

### **Tipos de filtración**

Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de medios granulares (p.ej., arena) que retiran los contaminantes. Su eficacia varía grandemente, pero estos sistemas se pueden utilizar para corregir problemas de turbidez y color, así también como tratamiento para eliminar Giardia y Criptosporidium, bacterias y virus.

Se puede distinguir varias clases de filtración:

- Filtración convencional
- Filtración directa
- Filtración con tierra diatomácea
- Filtración lenta con arena
- Filtración con bolsa o cartucho
- Filtración de cerámica
- Filtración biológica con arena

### **DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN**

**a) Número de filtros (N):** Normalmente se consideran como mínimo 2 unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros.

**b) Área total del filtro (At):** El área total del filtro se puede obtener del caudal de agua en m<sup>3</sup>/h y de la tasa de filtración.

1.3.8-2

$$\text{Área total del filtro } (A_t) = \frac{\text{caudal total del filtro}}{\text{tasa de filtración}}$$

Dónde:

- Área total del filtro ( $A_t$ ) = m<sup>2</sup>
- Caudal total ( $C_T$ ) = m<sup>3</sup>/h
- Tasa filtración ( $Tf$ ) = m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h

**c) Área del filtro de cada unidad (Af):**

1.3.8-3

$$\text{Área del filtro de cada unidad (Af)} = \frac{\text{Área total del filtro (At)}}{\text{Número de unidades (N)}}$$

**d) Caudal del filtro (Qf):**

1.3.8-4

$$\text{Caudal del filtro (Qf)} = \frac{\text{Caudal total del filtro (Qt)}}{\text{Número de unidades (N)}}$$

**e) Caudal total (Qt):**

1.3.8-5

$$\text{Caudal total (Qt)} = Q_{md} + R \times Q_{md}$$

- (R = razón de flujo)

**f) Caudal de diseño (Qd):**

1.3.8-6

$$\text{Caudal de diseño} = \frac{\text{Caudal total (Qt)}}{\text{Número de unidades (N)}}$$

**g) Caja de filtro:**

1.3.8-7

Relación largo/ancho:

$$M = L/b, \text{ ambos en (m)}$$

Dónde:

- $b = (Af/N)^{1/2}$
- $L_f = L * 1.2$  longitud de la caja de filtro

El valor de la caja de recuperación de arena (que debe ser 1/5 (20%) de la longitud del filtro) se debe sumar al valor de L.

**1.3.8-8**

Pared de la caja de filtro será:  $H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl}$

Dónde:

- $H_f$  = altura de la pared de caja (m)
- $H_{ls}$  = altura del lecho de soporte (0.3m)
- $H_{lf}$  = altura de lecho de arena (0.5 – 0.7m)
- $H_{bl}$  = altura borde libre (0.2m)

#### ***h) Vertederos triangular***

**1.3.8-9**

En función de Q y h:  $Q = 775 * 2.47h$

**1.3.8-10**

En función de b, Qs y Vs:  $b = 3.4 * \frac{Q_s}{(V_s)^3}$

Donde,

- Q = caudal de entrada (m<sup>3</sup>/s)
- Qs = caudal disponible para lavado (m<sup>3</sup>/s)
- b = ancho de estructura (m)
- Vs = velocidad superficial para lavado (m/s)

### **1.3.9. ABLANDAMIENTO DEL AGUA.**

El ablandamiento del agua es una técnica que sirve para eliminar los iones que hacen a un agua ser dura. Este procedimiento es importante en la potabilización del agua, ya que la dureza puede ocasionar entre otros los siguientes problemas:

- a) Desagradable sensación de resequedad en la piel y en el cabello después de un baño con esta agua o después de usarla continuamente.
- b) La ropa lavada con un agua de alta dureza, tiene apariencia desagradable al tacto y a la vista.
- c) También, la formación de precipitados de calcio y magnesio en platos, tazas, vasos, cuchillería y demás utensilios de cocina la hacen objetable.
- d) Aumento en el consumo de jabón debido a que el calcio y el magnesio que causan la dureza reaccionan con el jabón produciendo estearatos de calcio y de magnesio los cuales son insolubles en el agua y precipitan como tales.
- e) Las tuberías se obstruyen en un tiempo más corto de lo normal, debido a la formación de depósitos de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio principalmente. En ocasiones esta oclusión es tan persistente que es más conveniente cambiar toda la tubería que limpiar ésta, con el consiguiente gasto que involucra dicha situación.

#### **Técnicas de ablandamiento del agua dura**

El ablandamiento de un agua se basa en la transformación de los productos solubles que son responsables de la dureza del agua, en compuestos insolubles con el uso de compuestos químicos o resinas. Estos compuestos químicos se utilizan en caliente y en frío. También se realiza el ablandamiento por intercambio iónico. Los dos primeros procedimientos son procedimientos químicos, los cuales están basados en la formación de un precipitado en el agua a tratar, como consecuencia de producirse una reacción química entre los reactivos añadidos y las sustancias en solución.

En general para realizar un proceso de ablandamiento se deben hacer las operaciones siguientes: cálculo de las cantidades de productos químicos requeridos; mezcla rápida de las cantidades determinadas de reactivos con el agua a tratar; floculación y

sedimentación y por último extracción del agua clarificada por filtración o decantación. La reacción que se realiza es la siguiente:



- **Por Osmosis Inversa**

La osmosis inversa está basada en la búsqueda fundamental del equilibrio, si dos fluidos que contienen diferente concentración de sólidos disueltos (sales) son puestos en contacto, estos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Cuando estos fluidos están separados por una membrana semipermeable, uno de ellos (el de menor concentración) se moverá a través de la membrana hacia el fluido que tenga una mayor concentración de sólidos disueltos (sales). Después de un tiempo el nivel de agua será mayor a uno de los lados de la membrana. Usando esta técnica, se elimina la mayor parte del contenido de sales del agua.

- **Por Intercambio Iónico**

Proceso mediante el cual iones retenidos, por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales con carga eléctrica, sobre la superficie de un sólido, son intercambiados por iones de carga similar en solución. El intercambio iónico refiere al desplazamiento de un ion por otro; tal como se aplica en el tratamiento de aguas, en donde se verifica el intercambio reversible de iones entre un líquido y un sólido, sin que exista ningún cambio radical en la estructura física del sólido. Un intercambiador iónico debe, por tanto, poseer iones intercambiables por otros. Las resinas sintéticas, usadas para intercambio iónico, se diferencian entre sí por la matriz usada para fabricarlas y por el grupo funcional adherido a la matriz y empleado para la adsorción.

Algunas resinas adsorbentes no poseen grupos funcionales adicionales, pero lo más común es que lo posean para hacer posible su intercambio con las sustancias que van a ser removidas por intercambio iónico o por acción específica con el grupo funcional.

Se denomina intercambio catiónico, o intercambio básico, al desplazamiento de un ion positivo, o catión, por otro ion positivo. En aguas naturales dichos cationes son por lo general calcio, magnesio, sodio, hierro y manganeso; en aguas residuales comúnmente



metales y amonio. De igual forma, se denomina intercambio anicónico, o intercambio ácido, el desplazamiento de un ion negativo, o anión, por otro ion negativo. En aguas naturales dichos aniones son comúnmente cloruro, sulfato, nitrato, carbonato, hidróxido y fluoruro.

El proceso de intercambio iónico puede ser de flujo continuo o en cochada. En cochada, la resina se agita con el agua hasta completar la reacción; a continuación se extrae la resina por sedimentación, se regenera y se reutiliza; en el proceso continuo la resina se coloca en un lecho o reactor y el agua se pasa a través de ella.

- **Con cal y soda ASH**

La adición de cal y soda produce la precipitación del Ca como  $\text{CaCO}_3$  aumentando la concentración de carbonato en el agua; el Mn también se precipita al aumentar la concentración de iones OH. La precipitación es factible gracias a la baja solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  y del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

El principio de este método es el siguiente. El calcio puede precipitarse como carbonato de calcio, aumentando la concentración de carbonato en el agua; magnesio también se precipita cuando se incrementa la concentración de iones hidróxido. La precipitación es factible gracias a la baja solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  y de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

“Los compuestos insolubles del proceso forman floc asentable y son removidos como lodo en tanques de sedimentación”.<sup>6</sup>

El agua que es tratada con este método es demasiado alcalina, esto obliga a realizar una neutralización previa, para su uso. Para la neutralización del agua tratada se considera la adición de algún ácido mineral tal como ácido clorhídrico o sulfúrico, sin embargo se prefiere añadir bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), una vez realizado este proceso el agua alcanza un pH neutro, aunque el  $\text{CO}_2$  es más caro la ventaja que presenta es que en el agua se puede recupera la alcalinidad, lo cual no ocurre con la adición de un ácido mineral, y la alcalinidad del agua es muy importante ya que este parámetro es el que indica las propiedades buffer al agua, para amortiguar los bruscos cambios de pH que

---

<sup>6</sup>ROMERO., J., Calidad del agua., 3ªed., Bogotá – Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., p. (pp. 257 – 258)

podrían existir, cuando el agua es expuesta al medio ambiente. Otra ventaja de la dosificación de bióxido de carbono es que una sobredosis de CO<sub>2</sub> no causa ningún problema en el agua, ya que el exceso de bióxido de carbono que no reacciona se pierde en contacto con el aire.

### **1.3.10. DESINFECCIÓN**

La desinfección significa una disminución de la población de bacterias hasta una concentración inocua, en contraste con la esterilización en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana.<sup>7</sup>

Los métodos de desinfección pueden ser físicos o químicos. Entre los métodos químicos figura:

- La adición de ozono y más comúnmente,
- El cloro y sus derivados

El Ozono constituye la tercera alternativa tras el cloro y el dióxido de cloro. La aplicación de ozono también requiere de aplicación in situ debido a su inestabilidad.

El cloro es un agente oxidante que reacciona rápidamente con la materia orgánica e inorgánica.

El cloro (Cl<sub>2</sub>) es un gas tóxico, más denso que el aire, de color verde amarillento. Es un producto muy oxidante que reacciona con muchísimos compuestos. En presencia de humedad es extremadamente corrosivo y por ello los conductos y los materiales en contacto con él han de ser de aleaciones especiales.

El hipoclorito cálcico (Ca (ClO)<sub>2</sub>) es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y que puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico: su mayor contenido en cloro y su mayor estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una solución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%.

---

<sup>7</sup>GUERRERO., R., Manual de tratamiento de aguas., México D.F., Limusa., 2000. p. 2

La cloración del cloro se inicia donde el cilindro se conecta al clorador, o al múltiple de suministro de cloro si se conecta más de un cilindro. El sistema de dosificación termina en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que va a ser desinfectada. Los componentes básicos del sistema de dosificación son:

- Báscula
- Válvulas y tuberías
- Clorador
- Inyector o eyector y difusor

La báscula permite registrar la cantidad de cloro usada en la desinfección y la cantidad remanente en el cilindro. Las válvulas y tuberías, las cuales deben satisfacer los requerimientos del Instituto del cloro, permiten hacer las conexiones necesarias para conducir el cloro al sitio de dosificación y para regular o suspender el suministro.

Es esta etapa donde se debe poner mayor cuidado ya que una falla en el sistema de cloración puede ocasionar interrupción en la desinfección o disminuir su eficiencia.

La capacidad de las estaciones de cloración depende de una serie de factores entre los cuales deben considerarse los siguientes:

- Demanda de cloro
- Dosis de cloro que se necesite para la desinfección
- Punto de aplicación del cloro

La demanda debe determinarse en el laboratorio para poder conocer el consumo de cloro que produce el agua durante los diferentes periodos del año. Esta demanda varía de acuerdo con la contaminación de la fuente, del contenido de materia orgánica de la misma y de otros factores que se analizaron a su debido tiempo.<sup>8</sup>

Para conocer la dosis necesaria debe considerarse varios aspectos como tiempo de contacto, si la desinfección será precloración o postcloración.

---

<sup>8</sup>ARBOLEDA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., p. 698

## 1.4. TRANSPORTE, BOMBEO Y ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS

La necesidad de transportar fluidos de un punto a otro, a través de tuberías y de tubos con sección transversal circular, sea cual sea la forma de transporte nos conlleva a la obligación de diseñar sistemas para lograr este objetivo siempre buscando la optimización.

### 1.4.1. TUBERÍAS, ACCESORIOS Y VÁLVULAS

#### Tuberías y Tubos

A los fluidos se los transporta mediante tuberías o tubos, mismos que tienen una sección transversal disponible en una diversidad de dimensiones, grosores de pared y materiales.

Entre tubería y tubo no existe una clara distinción, pero a continuación se expresan algunas diferencias entre estos dos términos.<sup>9</sup>

- **Tubería(Pipe):**

Productos tubulares, que se especifican por su diámetro nominal y espesor de la pared. Son de pared gruesa y rugosa, diámetro relativamente grande, longitud moderada, sus tramos pueden unirse por bridas, soldaduras y conexiones roscadas. Se fabrican por soldadura moldeo o taladro.

- **Tubo (Tubing o tube):**

Cualquier conducto que no cumpla con la especificación anterior. Se especifican por el diámetro externo real y el espesor de la pared, paredes delgadas y lisas, en forma de rollos de grandes longitudes, no pueden roscarse sus tramos pueden unirse por medio de bridas y soldadura, se fabrican por obstrucción o laminación en frío.

Todas las tuberías como los tubos se construyen de diversas clases de materiales, incluyendo metales y aleaciones, madera, cerámica, vidrio y plástico variado. El cloruro de polivinilo (PVC), es considerablemente empleado para transportar agua.

---

<sup>9</sup>GUERRERO, R. Manual de tratamiento de aguas., México D.F., Limusa., 2000, p. (pp. 9 -10)

**Régimen de flujo**

1.4.1-1

$$Re = \frac{D * V}{\nu}$$

Dónde:

- **D:** Es el diámetro interno de la tubería
- **V:** Es la velocidad media del fluido dentro de la tubería
- **$\nu$ :** Es la viscosidad cinemática del fluido

En la siguiente tabla se describe el tipo de flujo de un fluido, de acuerdo al número de Reynolds.

**Tabla III Tipo de Flujo de un fluido**

| Re               | Flujo      |
|------------------|------------|
| < 2000           | Laminar    |
| 2000 < Re < 4000 | Transición |
| > 4000           | Turbulento |

FUENTE: RUIZ, Clara I. 2013

- **Régimen Laminar o Poiseuille:** el flujo tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas (en capas), sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas. En flujo laminar, prácticamente no existe mezcla del fluido entre las capas.
- **Régimen Turbulento o de Venturi:** el flujo tiene un movimiento caótico, desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas. En flujo turbulento, existe mucha mezcla, debido a que la velocidad en cada punto no es constante. Dicha velocidad presenta una fluctuación en el tiempo, produciendo una alta disipación de energía.

### **Pérdidas por fricción**

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, presentan resistencia al flujo debido al roce que hay entre el líquido y la pared de la tubería lo cual genera que parte de la energía del sistema se transforme en energía térmica; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo.

Existen dispositivos mecánicos que pueden entregar energía al fluido (eje: bombas), o es posible que el fluido entregue energía a un dispositivo mecánico externo (eje: turbina). La magnitud de la pérdida de energía (pérdidas mayores) al interior de un conducto depende de:

- Las propiedades del fluido
- La velocidad de flujo
- Tamaño del conducto
- La rugosidad de la pared del conducto
- La longitud del conducto

Dispositivos externos, tales como válvulas y conectores, al controlar o modificar la dirección y/o la rapidez de flujo, también hacen que la energía se disipe en forma de calor. En general, las pérdidas debidas a la presencia de válvulas y conectores son pequeñas si se comparan con aquellas producidas en la tubería misma. Por esta razón se les llama pérdidas menores.

Las pérdidas por fricción se pueden calcular aplicando la ecuación de Darcy – Weisbach:

1.4.1-2

$$h_f = f \frac{Lv^2}{\phi 2g}$$

Dónde:

- $f$  = factor de fricción Fanning
- $L$  = longitud de la tubería
- $\phi$  = diámetro de la tubería

Para calcular el factor de fricción, se debe tomar en cuenta el régimen de flujo; para el calcular el factor de fricción cuando el flujo es de tipo laminar la fórmula es la siguiente:

1.4.1-3

$$f = \frac{64}{N_{Re}}$$

Dónde:

- $N_{RE}$  = número de Reynolds

En cambio cuando el régimen de flujo es de tipo turbulento, para el cálculo del factor de fricción se debe utilizar la carta de Moody, siguiendo los siguientes pasos:

- Determinamos la rugosidad relativa utilizando la ecuación siguiente:  $\epsilon/\phi$
- Se debe calcular el  $N_{Re}$ .

- Con estos valores, usando la carta de Moody interpolamos, de esta manera obtenemos el factor de fricción.

### Accesorios y conexiones

Los métodos para unir tubos y tuberías dependen del material de construcción y el espesor de pared. Las tuberías de pared gruesa se conectan con accesorios roscados, bridas o soldadura y las fabricadas con materiales frágiles como vidrio, carbón o fundición se unen con bridas o juntas de enchufe y cordón. Los accesorios roscados están normalizados hasta tuberías de 12 pulgadas.

Para tuberías mayores de 2 pulgadas se utilizan bridas o soldaduras. Las bridas, son dos discos iguales o anillos metálicos unidos mediante tornillos que comprimen una junta que está situada entre sus caras, se unen por rosca o soldadura; son el método universalmente adoptado para unir tuberías de grandes diámetros mayores de 50 o 65 mm; para cerrar una tubería se utiliza una brida ciega, que es una brida sin abertura. Para unir las diferentes piezas de una tubería de acero en procesos donde la presión es elevada, la soldadura ha llegado a ser el método normal, ya que la unión es más fuerte y no debilita la pared de la tubería como los accesorios roscados, de manera que para una determinada presión pueden emplearse tuberías de menor espesor. Las uniones hechas por soldaduras son herméticas, su principal desventaja es la dificultad para realizar los cambios

- **Pérdidas por accesorios**

También llamadas pérdidas secundarias o puntuales, se utiliza la siguiente ecuación para su cálculo:

1.4.1-4

$$h_m = k \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

- *k = constante de los accesorios*



Vale recalcar, que esta constante es característica de cada uno de los accesorios, y estas, están tabuladas en tablas.<sup>10</sup>

## Válvulas

La válvula es un mecanismo que sirve para regular el flujo de una tubería y esta regulación puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta el flujo total (válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre esos extremos. La válvula está constituida por:

- El cuerpo, el cual tiene el ducto para el paso del fluido y los asientos.
- El bonete, que junto con el cuerpo constituyen el armazón general de la válvula, permite el paso del vástago y aloja parte del elemento de cierre cuando la válvula está abierta.
- El estopero, o caja de empaque del bonete, sirve para sellar la salida del vástago, por medio de empaques y está formado por el buje de asiento y el bonete.
- El asiento, es la parte de la válvula que junto con la cuña o el disco realizan el cierre por el contacto de sus superficies

El vástago es el elemento principal para transmitir el movimiento al mecanismo de cierre y que junto al volante constituyen las partes móviles de la válvula.

- **Tipo de válvula:**

El tipo de válvula dependerá de la función que debe efectuar sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso. Estas funciones se deben determinar después de un estudio cuidadoso de las funciones de la unidad y del sistema para los cuales se destina la válvula. Dado que existen diversos tipos de válvula para cada función, también es necesario determinar las condiciones del servicio donde se emplearán las válvulas.

---

<sup>10</sup>GUERRERO, R. Manual de tratamiento de aguas. México D.F. Limusa, 2000. p. 15

- **Clasificación de las válvulas según su función:**

**Tabla IV Tipos de Válvulas**

|   |   |
|---|---|
| <b>Válvula de cierre o bloqueo ( compuerta, bola, macho, mariposa )</b> | Estas válvulas presentan un paso directo del flujo, solo abren o cierran  |
| <b>Válvula de estrangulación ( globo, aguja, ángulo, Y, mariposa )</b>  | Estas válvulas tiene un cambio en la dirección del flujo, pueden estar en posiciones intermedias, abierta a la mitad, $\frac{3}{4}$ abierta, esto genera mayor caída de presión que las válvulas de cierre o bloqueo. |
| <b>Válvula de retención</b>   | Son integrales y se destinan para impedir la inversión de flujo en una tubería. La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierran     |

FUENTE: RUIZ, Clara I. 2013

## **Bombas**

Las bombas son dispositivos de tipo mecánico, destinados a elevar un fluido desde un nivel determinado a otro más alto, o bien, a convertir la energía mecánica en hidráulica.

Según el tipo de aplicación se usará uno u otro tipo de bomba. Actualmente las bombas son los aparatos más utilizados después del motor eléctrico, y existe una gran variedad de bombas. Genéricamente las bombas pueden dividirse en dos tipos: de desplazamiento no positivo (hidrodinámicas), y de desplazamiento positivo (hidrostáticas).

Las primeras se emplean para traslado de fluidos y las segundas para la transmisión de energía.

El proceso de transformación de energía se efectúa en dos etapas:

- a) **Aspiración:** Al comunicarse la energía mecánica a la bomba, esta comienza a girar y con esto se genera una disminución de la presión en la entrada de la bomba como el depósito de fluido se encuentra sometido a presión atmosférica, entonces se encuentra una diferencia de presiones lo que provoca la succión y con ello el impulso hidráulico hacia la entrada.

- b) Descarga: al entrar fluido en la bomba lo toma y lo traslada hasta la salida y asegura por la forma constructiva de rotación que el fluido no retroceda. Dado esto, el fluido no encontrara más alternativa que ingresar al sistema que es donde se encuentra el espacio disponible, consiguiendo así la descarga.

Para un sistema de flujo es necesario tomar dos puntos de referencia 1 y 2, de esta manera la Ecuación de Bernoulli se define de la siguiente forma:

1.4.1-5

$$\frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \sum hf = \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \pm H$$

Dónde:

- $H$  = altura de carga de sistema
  - $Z_1$  = altura estática de succión
  - $Z_2$  = altura estática de descarga
  - $P_1$  = presión de succión
  - $P_2$  = presión de descarga
  - $v_1$  = velocidad de succión
  - $v_2$  = velocidad de descarga
  - $hf$  = pérdidas de energía en tuberías y accesorios
  - $g$  = gravedad
- **Cálculo de la Potencia de una Bomba**

La potencia, se define como la rapidez con que se realiza un trabajo, en mecánica de fluidos podemos modificar este enunciado y considerar que la potencia es la rapidez con que la energía está siendo transferida.

Las unidades de la potencia en el SI = wattio (W), que equivale a 1,0 N.m/s

Para calcular la potencia que requiere una bomba, se debe aplicar la siguiente expresión:

$$P = hA * W$$

Dónde:

- P = Potencia requerida por las bombas
- hA = energía transferida
- W = rapidez de flujo de peso

Se tiene, que:  $W = \gamma Q$  entonces

$$P = hA\gamma Q$$

Dónde:

- P = potencia añadida al fluido – watts
- $\gamma$  = peso específico del fluido que fluye por la bomba lb/pie<sup>3</sup>
- Q = rapidez de flujo de volumen del fluido pie<sup>3</sup>/s
- hA = energía transferida al fluido que fluye en el sistema pie

Para determinar la potencia requerida por una bomba se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Se determina arbitrariamente los puntos de referencia del sistema.
- Se encuentra la ecuación que rige el fenómeno de transporte, a partir de la ecuación de Bernoulli.
- Se calculan los parámetros que hacen falta en la ecuación del sistema.
- Se determina la altura del sistema.
- Se calcula la potencia con la expresión:  $Hp = \frac{WH}{75\eta}$
- Se incluye a la potencia calculada el factor de seguridad (10 al 20 %).<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> GUERRERO, R. Manual de tratamiento de aguas., México D.F., Limusa., 2000. p. (pp. 16 – 18)

### **Eficiencia mecánica de las bombas**

Este término se lo usa para explicar el coeficiente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia transmitida a la bomba, por las pérdidas energéticas que se dan, por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, la fricción ocasionada por el fluido y la excesiva turbulencia de este, no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido.

La eficiencia de una bomba se expresa de la siguiente manera:

1.4.1-8

$$e_M = \frac{\text{potencia transmitida al fluido}}{\text{potencia puesta en la bomba}} = \frac{P}{P_1}$$

Su valor siempre será menor de 1, para las bombas que se utilizan en el sistema hidráulico, el intervalo de las eficiencias van desde 50 hasta 90 por ciento.

### **Especificación de las bombas**

La optimización de recursos especialmente en la industria, es el principal objetivo dentro de ingeniería, en el caso del transporte de fluidos es necesario especificar una bomba, para esto debemos tomar en cuenta algunos aspectos importantes como son los siguientes:

- **Naturaleza del líquido:**

En el transporte de un fluido es necesario conocer el tipo y sus propiedades físico - químicas como son la Viscosidad, Temperatura, Densidad, Sistema Coloidal. etc., para saber de qué tipo de material debe ser la bomba y así no se tengan problemas posteriores como son por ejemplo la corrosión que se puede dar por el pH.

- **Capacidad Requerida:**

Es importante conocer la capacidad que necesita una bomba para transportar un fluido, para esto debemos saber cómo debe ir construida la instalación de bombeo que en base

a estas características se puede calcular su capacidad Mínima o Máxima requerida para que el sistema funcione de una manera óptima.

- **Condiciones de Succión:**

Es importante conocer la elevación o carga de succión ( $Z_s$ ), su longitud de tubería y el diámetro de la misma, además de las pérdidas por fricción que se encuentran presentes para poder calcular el CNPA disponible y así comparar con el CNPA requerido de la bomba.

- **Condiciones de Descarga**

Es necesario conocer la altura a la cual se va a descargar el fluido, su longitud, el diámetro y las pérdidas por fricción con las que se calculará la altura total de carga del sistema que en base a esta se podrá obtener la capacidad requerida.

- **Carga Dinámica Total:**

Está dada por la diferencia de alturas dinámicas de descarga con la de succión, esta carga debe proporcionar la bomba para que pueda fluir el líquido.

- **Operación Continua o Intermitente:**

En las industrias en general se utilizan las bombas para diferentes usos dentro de estos debemos tomar en cuenta el tiempo en que debe estar funcionando la misma, generalmente en empresas grandes que funcionan las 24 horas al día estos dispositivos deben estar funcionando sin parar, por lo que es necesario darle un mantenimiento constante a la misma, en el caso de industrias pequeñas el trabajo se lo realiza por lotes, por lo que su mantenimiento se lo hará de acuerdo a la necesidad.

- **Posición en la Cual se va a Instalar la Bomba**

De acuerdo a la necesidad del transporte de fluidos se pueden utilizar las bombas ya sean horizontales o verticales.

- **Espacio Disponible:**

Es importante que alrededor de la bomba se disponga de un espacio por lo menos de un metro a la redonda para que en el caso de existir un daño se lo pueda reparar en línea o se lo saque para reemplazarla por otra.

- **Localización Geográfica de la Instalación:**

La situación geográfica juega un papel muy importante en los equipos que se van a instalar, ya que no es lo mismo ubicarlo en regiones de clima cálido o en regiones de clima templado, o en sitios de alta humedad donde el material se puede corroer, por lo tanto se va a tener el mal funcionamiento de estos dispositivos.

- **Requisitos Para Especificar una Bomba:**

El profesional que va a especificar un equipo de bombeo necesita conocer de algunos aspectos importantes como son todos los pasos anteriores y así poder diseñar una bomba con las características que se necesite.

## **1.5. CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino un atributo definido socialmente en función del uso que debe cumplir; la calidad del agua se logra determinar comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con los estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas.

### **Calidad física**

El agua subterránea es un agua clara, incolora, con poca o ninguna sustancia en suspensión y tiene una temperatura relativamente constante. Estas características se atribuyen a la filtración y percolación lenta a través de las capas geológicas que atraviesa.

- **Color:** el color puede ser producido por sustancias minerales, vegetales, metálicas o por sustancias orgánicas o inorgánicas, su efecto es psicológico ya que un color poco agradable a la vista se relaciona inmediatamente con aguas de mala calidad.
- **Turbidez:** se atribuyen a material en suspensión y en estado coloidal que impide la penetración de la luz, la turbidez puede ser ocasionada por microorganismos o por sustancias minerales que incluyen compuestos de zinc, hierro o manganeso.
- **Olores o sabores:** Los olores y sabores desagradables en el agua están asociados a microorganismos vivos, residuos vegetales, sustancias orgánicas y por sustancias minerales.

### Calidad química

La calidad química del agua subterránea se ve directamente afectada por el movimiento lento que esta tiene en el subsuelo; es así como mantiene un contacto directo y prolongado con los minerales, los cuales se van disolviendo en el agua.

- **Dureza:** Es producida principalmente por el calcio y el magnesio y en menor cantidad por sales de hierro y manganeso.
- **Sólidos totales disueltos:** Si contiene menos de 500 ppm de sólidos disueltos se puede emplear en uso doméstico, aguas con más de 1000 ppm de sólidos disueltos poseen sabor desagradable y no se utiliza para uso doméstico, su presencia se debe a minerales y metales pesados.
- **Hierro (Fe):** En realidad todos los suministros de agua contiene algo de hierro pero 0.3 ppm es el límite máximo de hierro permisible en el agua que se va a consumir. El agua subterránea puede presentar concentraciones entre 1 y 5 ppm; después de airarlas se puede obtener concentraciones de 0.1 ppm. El problema de metales pesados disueltos en el agua como el hierro es sin duda el más grave, que se genera por el contacto directo del agua con minerales que se encuentran en el subsuelo.



## **Calidad bacteriológica**

Las aguas subterráneas están exentas de organismos pequeños (microbios) que transmiten o causan enfermedades. Sin embargo las capas acuíferas se ven afectadas por la contaminación de va desde la superficie cuando existen fisuras, fracturas y demás fenómenos geológicos que permiten la entrada de aguas provenientes de senderos, fosas sépticas, estiércol de establos, desperdicios agrícolas y aguas negras entre otras. El mayor peligro que puede sufrir el agua es la contaminación ya sea por excreción humana, animal o por aguas residuales. Los microorganismos patógenos provenientes de enfermedades gastrointestinales encuentran un perfecto canal de transmisión en el agua.

### **1.5.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA**

Los indicadores de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y el estado del medio biológico.

Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son los siguientes: oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, DBO, fósforo, nitratos, nitritos, amonio, amoniaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, cinc total y cobre soluble.

#### **pH**

Se define, como la medida de la concentración de los iones hidrógeno. Nos mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Concentraciones excesivas de  $H^+$  afectan el agua en algunos de sus usos y por esta razón es una medida de polución en potencia. El pH es el que controla el grado de disociación de muchas sustancias.

#### **Conductividad y Resistividad**

La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir la electricidad y la resistividad es la medida recíproca. Estos parámetros son indicativos de la materia ionizable presente en el agua. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad;

por lo tanto la conductividad que podamos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Es por lo tanto un parámetro físico bastante bueno para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante.

El aparato para las mediciones se llama conductímetro, y básicamente lo que hace es medir la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de ClK a la misma temperatura.

La unidad para la resistividad es el Ohm, pero se emplea el MegaOhm por cm, la de la conductividad es el Siemens, pero como es muy grande se suele emplear el micro siemens por cm. La siguiente tabla que nos permite tener una idea según la medida o la composición del agua.

**Tabla V Conductividad del Agua**

| Conductividad                   |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Temperatura de la muestra 25 °C | Conductividad (μS/cm) |
| Agua Ultrapura                  | 0,05                  |
| Agua alimentación calderas      | 1 a 5                 |
| Agua Potable                    | 50 a 100              |
| Agua de Mar                     | 53.000                |
| 5% de NaOH                      | 223.000               |
| 50% NaOH                        | 150.000               |
| 10% ClH                         | 700.000               |
| 32% de ClH                      | 700.000               |
| 31% NO <sub>3</sub> H           | 865.000               |

Fuente: [http://www.bonsaimenorca.com/articulos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Conductividad y Resistividad](http://www.bonsaimenorca.com/articulos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Conductividad%20y%20Resistividad)

**Turbidez**

Se aplica a las aguas que tienen materia suspendida y coloidal que interfiere con el paso de la luz a través del agua.

Es una medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del agua, debido a materiales insolubles que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO<sub>2</sub> ha sido muy utilizada pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas. Otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros. Se elimina por procesos de coagulación, decantación y filtración.

El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ión que puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural

**Dureza**

La dureza se ha definido e incluso tabulado en función de las sales que contiene el agua, hemos definido sus unidades de medida y las correspondientes equivalencias. La dureza, como ya sabemos, es debida a la presencia de sales de calcio y magnesio y mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones, y es uno de los principales parámetros que se deben controlar.

**Tabla VI Clasificación del agua según su dureza**

| CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGUN SU DUREZA |   |
|--|---|
| <b>Aguas blandas</b>                   | menor a 50 mg/l de carbonato cálcico      |
| <b>Aguas ligeramente duras</b>         | entre 50-100 mg/l de carbonato cálcico    |
| <b>Aguas duras</b>                     | entre 100 y 200 mg/l de carbonato cálcico |
| <b>Aguas muy duras</b>                 | más de 200 mg/l de carbonato cálcico      |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

El agua tiene dos tipos de dureza, una temporaria o carbonatada y otra permanente o no carbonatada. La dureza temporaria es aquella que se puede eliminar hirviendo el agua durante 30 minutos aproximadamente y filtrando los carbonatos insolubles así formados.

La dureza permanente está dada por la presencia de sulfatos y cloruros de calcio y magnesio que no pueden eliminarse de la forma antes citada. La eliminación de la dureza se hace, principalmente, por descalcificación o ablandamiento por intercambio iónico con resinas.

### **Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen, principalmente, a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ), y oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ), pero también los fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Su presencia en el agua puede producir  $\text{CO}_2$  en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc. Se mide en las mismas unidades que la dureza. Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento ácido o desmineralización por intercambio iónico.

### **Sulfatos**

El ion sulfato,  $\text{SO}_4^-$ , corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, y el agua de mar cerca de 3.000 ppm. Aunque en agua pura se satura a unos 1.500 ppm, como  $\text{SO}_4\text{Ca}$ , la presencia de otras sales aumenta su solubilidad.

Proceden de rocas sedimentarias, sobretodo yeso y anhidrita, y en menor proporción de la oxidación de los sulfuros de la pirita. En función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido al agua. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo.

Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones.

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas. Algunos centenares de ppm perjudican la resistencia del hormigón. Industrialmente es importante porque, en presencia de iones calcio, se combina para formar incrustaciones de sulfato cálcico.

### **Nitratos**

El ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm. Aguas con infiltraciones de zona de riego con contaminación por fertilizantes pueden tener hasta varios centenares de ppm.

Concentraciones muy elevadas en agua de bebida puede producir la cianosis infantil. Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización.

### **Sólidos**

- **Sólidos Disueltos**

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales.

Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. El proceso de tratamiento, entre otros, es la ósmosis inversa.

- **Sólidos en Suspensión**

Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación.

- **Sólidos Totales**

Es la suma de los dos anteriores disueltos y en suspensión.

# CAPÍTULO II

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

El presente trabajo de investigación se enfoca a la determinación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua obtenida de la vertiente ubicada en la parroquia San Isidro del cantón Guano, Provincia de Chimborazo, la cual tiene como fin, el uso doméstico y consumo humano por parte de los moradores de dicho sector.

La caracterización del agua se realizó mediante muestreos con rigurosos análisis químicos y técnicos realizados en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Una vez obtenidos los resultados y la caracterización del agua a ser tratada se procede con los respectivos cálculos, diseño y construcción de un sistema adecuado de Potabilización del agua que satisfaga las necesidades y requerimientos, de modo que el agua sea apta para el consumo humano.

### **2.1. MUESTREO**

Se emplea una serie de operaciones destinadas a tomar una parte del universo o población que será estudiado a fin de facilitar la investigación. La recolección de muestras se fundamenta en el STANDARD METHODS \*2310 A y B.

#### **2.1.1 PLAN DE MUESTREO**

En el presente trabajo se llevó a cabo un plan de muestro de tipo simples o de sondeo, ya que la fuente o masa de agua de la que se recogió las muestras, es bastante constante en su composición en tiempo y espacio, se tomó cuatro muestras durante un mes, es decir, una muestra semanal

Para realizar la totalidad de los análisis físicos, químicos y microbiológicos, se requiere que el tamaño y/o cantidad de la muestra sea la adecuada, además debe ser transportada hacia el lugar de análisis (laboratorios), con el mayor de los cuidados con el objeto de no alterar su composición y que los resultados no se vean afectados.



### **2.1.2 PROCESAMIENTO Y PREPARACIÓN GENERAL DEL MUESTREO**

Para iniciar con el muestreo, se debe verificar que el recipiente en el cual va a ser tomado y transportado la muestra debe estar debidamente lavado (por lo menos tres veces enjuagados) y homogeneizado con el agua que va a ser objeto de análisis, a este proceso se lo conoce como caramelización.

Para la transportación se recomienda dejar libre aproximadamente un 10 a 15% del volumen total del recipiente para impedir el desborde de la muestra y una posible fractura del recipiente.

Por cada muestra obtenida se debe llevar un registro el cual nos indicará la situación de la muestra, el tipo de análisis lugar, fecha y hora de toma adjuntando una descripción de los hechos relevantes encontrados en el sitio de muestreo para obtener información en caso de que los resultados no indiquen parámetros adecuados.

Una vez llevada las muestras a su lugar de análisis se debe marcar adecuadamente las mismas indicando el nombre y número de muestra además incluyendo el tipo de análisis a los que someterán las muestras.

Como existen parámetros de análisis que pueden variar con el tiempo, estos deben ser analizados directamente en el lugar de toma de muestra verificando la posibilidad de realización del análisis, caso contrario se deben tomar las medidas necesarias para evitar obtener resultados muy variados.

## 2.2. METODOLOGÍA

### 2.2.1. MÉTODOS

**Tabla VII Métodos de Caracterización del Agua**

| PARÁMETRO                        | MÉTODO              | DESCRIPCIÓN  |
|----------------------------------|---------------------|--|
| <b>pH</b>                        | Electrométrico      | Mediante la utilización del pH metro   |
| <b>TURBIEDAD</b>                 | Nefelométrico       | Se emplea el Turbidímetro  |
| <b>COLOR</b>                     | Comparativo         | mediante el comparador de color  |
| <b>SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS</b> | Electrométrico      | Usar el electrodo de cristal adecuado para la lectura de sólidos totales   |
| <b>ALCALINIDAD</b>               | Volumétrico         | Tomar 25 ml de muestra + 2 gotas de anaranjado de metilo, valorar con ácido sulfúrico 0.02 N (mL valorados x 20.)  |
| <b>DUREZA</b>                    | Volumétrico         | Tomar 25 ml de muestra + 1 ml de buffer de dureza + una porción de negro de ericromo T en polvo, valoramos con EDTA (0.02M) de rojo a azul.  |
| <b>CONDUCTIVIDAD</b>             | Electrométrico      | Se lo determina con el conductímetro   |
| <b>NITRATOS</b>                  | Espectrofotométrico | Seleccionar el test 355 Nitratos, llenar una cubeta con la muestra preparada con un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo, poner el temporizador y después de 1 minuto, preparamos el blanco limpiamos la cubeta y colocamos el blanco, una vez encerado el equipo colocamos la muestra y leemos el valor.  |
| <b>HIERRO</b>                    | Espectrofotométrico | Seleccionar el test 265 FerroVer, preparar la muestra y colocar en una cubeta de 10 ml, agregar un sobre de reactivo de hierro FerroVer agitar, pulsar el temporizador en 3 minutos, luego de este tiempo limpiar el exterior de la cubeta y colocar el blanco, una vez encerada realizamos el procedimiento anterior con la muestra y anotamos el valor resultante. |
| <b>CALCIO</b>                    | Volumétrico         | 25 ml de muestra + 1 ml de KCN + 1 ml de NaOH (1N) + pizca de indicador Murexida. Titular con EDTA (0.02 M). De rosado a lila.   |
| <b>CLORUROS</b>                  | Volumétrico         | 25 ml de muestra + 4 gotas de K <sub>2</sub> CrO <sub>7</sub> Titular con AgNO <sub>3</sub> (0.01 N). De amarillo a ladrillo.  |
| <b>SULFATOS</b>                  | Espectrofotométrico | En un balón de 100 ml, colocamos una porción de muestra + 2 ml de solución acondicionadora + aproximadamente 1 g de BaCl <sub>2</sub> , aforar con la muestra, medir en el fotómetro a 410 nm.   |

|   |          |   |
|---|----------|---|
| <b>MICROBIOLÓGICO S</b><br>(Coliformes totales y fecales) | Sembrado | Luego de esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, se siembra y se toma la lectura a las 24 horas, se realiza el conteo de las colonias si las hubiere. |
|---|----------|---|

FUENTE: Técnicas de laboratorio de análisis técnicos.

### 2.2.2. TÉCNICAS

Los correspondientes análisis, utilizados para la caracterización del agua, pertenecen al STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20 TH EDITION DE LA AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF), que se indican a continuación:

#### Recolección de muestras<sup>12</sup>

##### ***STÁNDAR MHETODS \*1060 C***

**FUNDAMENTO:** Método de selección de muestras de una población para estudiar algún aspecto de los individuos que la componen

**MATERIALES:** Recipientes de plástico transparente o vidrio de capacidad de 500 ml

**TÉCNICA:** Recoger tres (3) tipos de muestra, cada una en un volumen aproximado de 500 ml.

#### Determinación de la temperatura<sup>13</sup>

##### ***STANDARD METHODS \*2550 B***

---

<sup>12</sup>Método 1060 C, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

<sup>13</sup>Método 2550 B, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed."

**FUNDAMENTO:** Magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio. Se debe en lo posible realizar la medición directamente en el momento en que se realiza la toma de muestra, ya que solo así aseguramos que los valores leídos sean fidedignos.

**EQUIPO:** Termómetro centígrado con intervalos de 0.5°C

**TÉCNICA:**

- Introducir el bulbo del termómetro en la muestra
- Esperar unos segundos a que se estabilice el nivel de mercurio,
- Anotar el valor de la lectura.

**CÁLCULO**

**2.2.2-1**

$$K = 273,15 + C$$

Dónde:

- K = temperatura en escala absoluta
- C = temperatura en escala centígrada

**Determinación de la turbiedad<sup>14</sup>*****STANDARD METHODS \*2130 A y B***

**FUNDAMENTO:** El método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por una muestra bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión patrón de referencia bajo las mismas condiciones.

**MATERIALES:** Nefelómetro, Turbidímetro

**TÉCNICA:**

- Colocar en la celda agua destilada para la calibración del equipo;
- Agitar enérgicamente la muestra, colocar la muestra de agua en la celda del turbidímetro
- Medir el valor que indica, directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada.

**Determinación del potencial de hidrógeno pH<sup>15</sup>*****STANDARD METHODS \*4500 HB***

**FUNDAMENTO:** Determinación electrométrica del pH en una muestra de agua potable, utilizando un electrodo de vidrio que mide el cambio eléctrico producido por el cambio de pH. El pH es un parámetro que nos indica la acidez o alcalinidad del agua, varía de 1 a 14. Si el agua posee un pH menor a 7 se considera ácida, caso contrario básica, igual a 7 es neutra.

**MATERIALES:** Vaso de precipitación, Potenciómetro, Piceta

---

<sup>14</sup>Método 2130 A y B, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed."

<sup>15</sup>Método 4500- B, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed".

**TÉCNICA:**

- Lavar los electrodos con agua destilada y calibrar el aparato, utilizando una solución de referencia.
- Colocar la muestra en el vaso de precipitación;
- Introducir los electrodos y efectuar la determinación del pH.

**CÁLCULO****2.2.2-2**

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

Dónde:

- pH = potencial de hidrógeno
- (H<sup>+</sup>) = concentración molar de iones hidrógeno.

**Determinación de la conductividad<sup>16</sup>*****MÉTODO HACH DR 2800***

**FUNDAMENTO:** A la conductividad se la define como el movimiento de carga por iones en solución, por reacción electroquímica en la superficie de los electrodos y por movimiento de electrones en metales. La escala 1999,9 uS, corresponde a las conductividades de las aguas potables naturales.

**MATERIALES:**

- Conductímetro,
- Recipiente de depósito de la muestra

**TÉCNICA:**

- Se coloca la muestra en un recipiente, la muestra debe ser antes lo suficientemente agitada o mezclada.

---

<sup>16</sup>Método 2510- B, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed".

- Se coloca el electrodo del conductímetro en la muestra, hasta que cubra lo suficiente la superficie del electrodo.

**CÁLCULO:** Para determinar el cálculo, de la conductividad de un agua se debe, actuar de la siguiente manera:

- Se ve el valor que marca la escala del instrumento; se multiplica por el valor que registra en unidades de OHMS; luego ese valor obtenido se multiplica por 0,1 que es el tamaño de la celda que se utiliza para la medición; el valor obtenido es el que se reporta como conductividad.

### **Determinación de la dureza<sup>17</sup>**

#### ***STANDARD MÉTODOS \* 2340 B y C***

**FUNDAMENTO:** La dureza del agua se ha definido como la capacidad de los cationes presentes en el agua para desplazar a los iones sodio o potasio de los jabones y formar productos insolubles, que son los causantes de las “costras” en las tuberías y lavabos. En las aguas naturales, las concentraciones de iones calcio y magnesio son superiores a la de cualquier otro ion metálico, por consiguiente la dureza se define ahora como la concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$  mg/L) que equivale a la concentración total de todos los cationes multivalentes de la muestra

#### **MATERIALES:**

- Erlenmeyer
- Bureta
- Pipeta
- Vaso de precipitación

#### **TÉCNICA:**

- Tomar 25 ml de muestras en el Erlenmeyer.
- Agregar 2 ml de solución amortiguadora

---

<sup>17</sup>Método 2340 B y C, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed”.

- Agregar 1 ml de solución de cianuro de potasio.
- Poner el indicador de negro de eriocromo T.
- Agregar lentamente el EDTA hasta que el viraje de color rojizo a azul.

## CÁLCULO

2.2.2-3

$$CaCO_3 = \frac{V_1 * M * 10^5}{V_2}$$

Dónde:

- $CaCO_3$  = concentración de Carbonato de Calcio en ppm (mg / L)
- $V_1$  = volumen consumido de EDTA (ml)
- $M$  = molaridad exacta del EDTA
- $V_2$  = volumen de la muestra (ml)

## Determinación de la alcalinidad<sup>18</sup>

### *STANDARD MÉTODOS \* 2320 B*

**FUNDAMENTO:** El método se basa en la determinación de los quelatos que se forma cuando el EDTA y sus sales de sodio forman quelatos solubles, cuando vienen agregados a una solución que contiene cationes polivalentes mediante complejación.

### **MATERIALES:**

- Bureta
- Pipetas
- Erlenmeyer
- Vasos de precipitación

### **TÉCNICA**

---

<sup>18</sup>Método 2320-B, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.17<sup>th</sup> Edition. Washington, APHA."



- Se toma una muestra de 25 ml y diluir a 50 ml con agua destilada.
- Se agrega 1 ml de KCN.
- Agregar 2 ml de solución de NaOH 1N, mezclar bien.
- Se añade 0.1-0.2 g de mezcla indicadora de murexida.
- Agregar lentamente titulador EDTA, con agitación continua hasta alcanzar el vire, del rosado a lila.

## CÁLCULO

2.2.2-4

$$Ca^{++} \frac{mg}{L} = \frac{V_2 * M * 4000}{V}$$

Dónde:

- M = Molaridad exacta del EDTA
- V2 = Volumen de EDTA mL
- V = Volumen de la muestra mL.

## Determinación de cloruros<sup>19</sup>

### **STANDARD MÉTODOS \* 4500 B**

**FUNDAMENTOS:** Esta normativa técnica se utiliza para la determinación del ion cloruro en aguas limpias que contengan concentraciones de cloruro entre 1.5 y 100 mg/L. Se podrán determinar concentraciones mayores por dilución de muestra. El cloruro se determina en una solución neutra o ligeramente alcalina por titulación con nitrato de plata estándar, usando dicromato de potasio como indicador del punto final. El cloruro de plata es cuantitativamente precipitado antes de que sea formado el cromato de plata de color rojo.

### **MATERIALES:**

- Bureta

---

<sup>19</sup>Método 4500- Cl-B, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF 17 ed".

- Erlenmeyer
- Pipeta aforada
- Pipeta graduada
- Agua destilada
- Agua problema.
- Dicromato de potasio.
- Nitrato de plata.

### **TÉCNICA**

- Titulación de la solución estándar de nitrato de plata.
- Tomar en un erlenmeyer de 250 ml, 20 ml de la solución estándar de cloruro de sodio.
- Diluir a 1000 ml y agregar 1 ml de solución indicadora.
- Valorar la solución de nitrato de plata hasta un punto final de color amarillo-rosado.

### **DETERMINACIÓN:**

- Tomar en un erlenmeyer de 250 ml, 100 ml de muestra o una alícuota diluida a 100 ml.
- Si la muestra es altamente coloreada, agregar 3 ml de suspensión de hidróxido de aluminio, mezclar sedimentar y filtrar. Si existe presencia de sulfuro, sulfito o tiosulfato, agregar 1 ml de peróxido de hidrógeno y calentar por un minuto. Ajustar la muestra a pH entre 7 y 10 con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio.
- Agregar 1 ml de solución indicadora, titular con solución estándar de nitrato de plata, hasta color amarillo-rosado como punto final.
- Titular siempre un blanco de agua destilada, en las mismas condiciones.

### **CÁLCULO:**

2.2.2-5

$$N = \frac{P * V}{58.5 * G}$$

Dónde:

- N: normalidad del nitrato de plata en eq/L.
- P: masa de NaCl pesado para la preparación de la solución estándar de cloruro de sodio, g.
- V: volumen de la solución estándar de NaCl tomado para la valoración de la solución de nitrato de plata, 20 ml.
- G: gasto de nitrato de plata en su valoración, ml.

2.2.2-6

$$\text{Cloruro, mg/L} = \frac{(A - B) * N * 35450}{V}$$

Dónde:

- A: gasto de titulante en la valoración de la muestra, ml.
- B: gasto de titulante por el blanco, ml.
- V: volumen de muestra tomado para el ensayo, ml.

### **Determinación de Fosfatos.<sup>20</sup>**

#### ***STANDARD MÉTODOS \* 4500 D***

**FUNDAMENTO:** Los niveles de fosforo no son muy altos en las aguas superficiales, y su control no es tan estricto sobre todo en efluentes usados para regadío de cultivo, dichos niveles, pueden aumentar debido a presencia de fertilizantes en el terreno.

#### **MATERIALES Y REACTIVOS:**

- 2100P Turbidímetro HACH Chemical Company.
- Celda.
- Piceta.
- Pipeta.

---

<sup>20</sup>Método 4500-P-D, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.17<sup>th</sup> Edition. Washington, APHA."

- Agua destilada.
- Agua problema.
- Reactivo R-P (pirosulfato de potasio).

**PROCEDIMIENTO:**

- Colocar 10 ml de muestra con reactivo R-P en la celda del HACH.
- Colocar la celda en el equipo.
- Anote el valor de la lectura.

**Determinación de magnesio**

**FUNDAMENTO:** El magnesio puede estimarse como la diferencia entre la dureza total, y el contenido de calcio como carbonato de calcio, CaCO<sub>3</sub>, presentes en el agua.

**PROCEDIMIENTO:** Calcular la concentración de magnesio a partir de los valores obtenidos en las determinaciones de dureza y calcio.

**CÁLCULO:**

2.2.2-7

$$Mg^{++} \frac{mg}{L} = (dureza\ total - contenido\ de\ calcio) * 0.244$$

Dónde:

- Dureza total =  $CaCO_3 \frac{mg}{L}$
- Contenido de calcio =  $CaCO_3 \frac{mg}{L}$

**Determinación de sólidos totales**

**FUNDAMENTO:** La determinación se realiza gravimétricamente, la muestra es evaporada a baño María en una cápsula tarada, luego es secada a 110° C y finalmente es pesada. El aumento en peso de la cápsula después del secamiento, respecto al peso de la misma cuando está vacía, representa el valor de los sólidos totales.

**MATERIALES:**

- Pipeta volumétrica
- Cápsula de porcelana
- Baño María
- Estufa
- Desecador
- Balanza analítica
- Pinza de crisol

**TÉCNICA:**

- Lavar perfectamente la cápsula, secarla e introducirla en la estufa a 105°C, por el espacio de dos horas.
- Enfriar en el desecador y luego pesar la cápsula
- Agitar vigorosamente el recipiente que mantiene en agua para que esta se homogeneice totalmente
- Tomar 25 ml de muestra, poner en la cápsula tarada, someter a evaporación en baño María.
- Secar en la estufa a 105° C durante dos horas, enfriar y pesar.

**CÁLCULOS:****2.2.2-8**

$$S.T. (mg/L) = (P2 - P1) \times 106 / V$$

Dónde:

- P2 = peso de la cápsula, con el residuo seco en gramos
- P1 = peso de la cápsula tarada en gramos
- V = volumen de muestra analizada.

**Determinación de sólidos totales disueltos.<sup>21</sup>**

**FUNDAMENTO:** Los sólidos totales es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones indicados en la parte del análisis del agua o puede también ser medida evaporando una muestra de agua para secarla y posteriormente pasar sus residuos.

**MATERIALES Y REACTIVOS:**

- Vaso de precipitación.
- Electrodo sensible de HACH.
- Agua problema.
- Agua destilada.

**PROCEDIMIENTO:**

- Empleando un electrodo.
- Colocar 200 ml de agua problema en el vaso.
- Colocar el electrodo para Sólidos Totales Disueltos.
- Realizar la lectura del agua y anotar el valor.
- Evaporando la muestra.
- Pesar una caja Petri.
- Colocar 25 ml de muestra en la caja Petri.
- Someter a baño maría hasta sequedad.
- Introducir a la estufa.
- Colocar en el desecador.
- Pesar.

---

<sup>21</sup>Método HACH<sup>x</sup>, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17<sup>th</sup> Edition. Washington, APHA."

## Determinación de la contaminación microbiológica

**Tabla VIII Standard Methods**

| REQUISITOS         | ENSAYO             | STANDRAD METHODS |
|--------------------|--------------------|------------------|
| Aerobios mesófilos | Aerobio mesófilos  | PEE/M-03         |
| Coliformes totales | Coliformes totales | PEE/M-01         |
| Coliformes fecales | Coliformes fecales | PEE/M-01         |

FUENTE: “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th Edition. Washington, APHA.”

**FUNDAMENTO DEL MÉTODO MF:** Este método se fundamenta en determinar el número y tipo de microorganismos presentes en una muestra de agua de proceso, por medio de la filtración de la misma a través de una membrana filtrante con poros de tamaño adecuado (0,45  $\mu\text{m}$  de diámetro), la consiguiente retención de los microorganismos sobre dicha membrana y el cultivo de los mismos en diferentes agares de acuerdo al tipo de microorganismo, a la temperatura y durante el tiempo necesario, para posteriormente contar directamente las colonias sobre la superficie de la membrana.

Para asegurar la fiabilidad de los resultados, Millipore dispone de un programa de control de calidad que le permite certificar sus membranas de microbiología de acuerdo con los “STANDARD METHODS” y las Normas EPA.

### **MATERIALES:**

- Muestra de agua de proceso
- Agua peptonada al 0,1 %
- Placas estériles con medio ENDO
- Placas estériles con agar Sabouraud
- Placas estériles con agar Cetrimide
- Placas estériles con agar MacConkey
- Placas estériles con agar para Recuento en Placa (Agar Standard Methods)
- Equipo de filtración (Millipore)

- Membranas filtrantes estériles
- Bomba de vacío
- Pinzas estériles
- Estufa

## **PROCEDIMIENTO**

- Colocar una membrana filtrante estéril, bajo condiciones asépticas, sobre el centro del portafiltro, usando pinzas estériles, con la superficie cuadrículada hacia arriba.
- Ensamblar el equipo, colocando el dispositivo de filtración y asegurando con una pinza.
- Verter 100 ml de la muestra de agua, en el portafiltro y proceder a filtrar.
- Lavar el embudo con aproximadamente 100 ml de agua peptonada al 0,1%.
- Remover la parte superior del portafiltro, y con una pinza estéril transferir la membrana a la placa de Petri que contiene el medio de cultivo correspondiente al microorganismo que se va a identificar: Coliformes en agar endo, bacterias aerobias mesófilas en agar para recuento en placas, mohos y levaduras en agar Sabouraud y Pseudomonasaeruginosa en agar cetrimide.
- Al colocar la membrana, evitar la formación de burbujas entre ésta y el medio de cultivo.
- Esperar aproximadamente 20 minutos, para permitir la adhesión de la membrana al medio.
- Con excepción de las placas de agar Sabouraud, incubar las placas en forma invertida, a las diferentes temperaturas y tiempos, de acuerdo al microorganismo investigado; en este caso para la determinación de Coliformes se debe incubar a  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en un tiempo de 24 a 48 h.



**RESULTADOS**

- Contar las colonias en las membranas. Expresar los resultados como unidades formadoras de colonias (UFC) por ml o por 100 ml de agua, considerando el volumen filtrado y el factor de dilución.

## 2.3. CARACTERIZACIÓN INICIAL

Tabla IX Análisis Físico – Químico del Agua de la Fuente de Captación de la Parroquia San Isidro

| Determinación            | Unidades    | *Límite Máximo Permissible NORMA INEN 1108 | Muestras |       |       |       | Promedio |
|--------------------------|-------------|--|----------|-------|-------|-------|----------|
|                          |             |  | Nº 1     | Nº 2  | Nº 3  | Nº 4  |          |
| <b>Color</b>             | Unid. Co/Pt | 15   | 6        | 0     | 2     | 0     | 2        |
| <b>pH</b>                | unid        | 6.5 – 8.5                                  | 6.80     | 6,52  | 6,81  | 6,72  | 6,68     |
| <b>Conductividad</b>     | µSiems/cm   | < 1250                                     | 757      | 1074  | 854   | 1093  | 944,5    |
| <b>Turbiedad</b>         | UNT         | 1  | 0,4      | 0,7   | 0,4   | 0,8   | 0,57     |
| <b>Cloruros</b>          | mg/L        | 250  | 5,7      | 5,9   | 5,9   | 5,3   | 5,7      |
| <b>Dureza</b>            | mg/L        | 200  | 472      | 520   | 520   | 504   | 504      |
| <b>Calcio</b>            | mg/L        | 70   | 44,8     | 42,2  | 42,8  | 47,2  | 44,25    |
| <b>Magnesio</b>          | mg/L        | 30 – 50                                    | 87,5     | 93,5  | 93,0  | 98,2  | 93,05    |
| <b>Alcalinidad</b>       | mg/L        | 250 – 300                                  | 700      | 607   | 607   | 620   | 633,5    |
| <b>Bicarbonatos</b>      | mg/L        | 250 – 300                                  | 714      | 612   | 612   | 632   | 642,5    |
| <b>Sulfatos</b>          | mg/L        | 200  | 37,5     | 37    | 37,5  | 37,7  | 37,43    |
| <b>Amonios</b>           | mg/L        | < 0,50                                     | 0,22     | 0,28  | 0,20  | 0,22  | 0,23     |
| <b>Nitritos</b>          | mg/L        | 0,01                                       | 0,003    | 0,005 | 0,002 | 0,003 | 0,00325  |
| <b>Nitratos</b>          | mg/L        | < 40                                       | 0,900    | 0,980 | 0,940 | 1,200 | 1,005    |
| <b>Hierro</b>            | mg/L        | 0,30                                       | 0,028    | 0,021 | 0,028 | 0,027 | 0,026    |
| <b>Fosfatos</b>          | mg/L        | < 0,30                                     | 0,791    | 1,000 | 1,006 | 1,199 | 0,999    |
| <b>Sólidos Totales</b>   | mg/L        | 1000                                       | 776,0    | 779,0 | 779,0 | 816,0 | 787,5    |
| <b>Sólidos Disueltos</b> | mg/L        | 500  | 469,3    | 450,0 | 478,0 | 477,7 | 468,75   |

FUENTE: LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICO FACULTAD DE CIENCIAS

**Tabla X Análisis microbiológico del agua de la Fuente de Captación en la Parroquia San Isidro**

| Determinación             | Unidades  | *limites        | Muestras |      |      |      | Promedio |
|---------------------------|-----------|-----------------|----------|------|------|------|----------|
|                           |           |                 | Nº 1     | Nº 2 | Nº 3 | Nº 4 |          |
| <b>Coliformes Totales</b> | UFC/100ml | 0<br>(Ausencia) | 88       | 84   | 86   | 88   | 86,5     |
| <b>Coliformes Fecales</b> | UFC/100ml | 0<br>(Ausencia) | 53       | 57   | 50   | 55   | 53,75    |

FUENTE: Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

## 2.4. PARÁMETROS FUERA DE NORMA

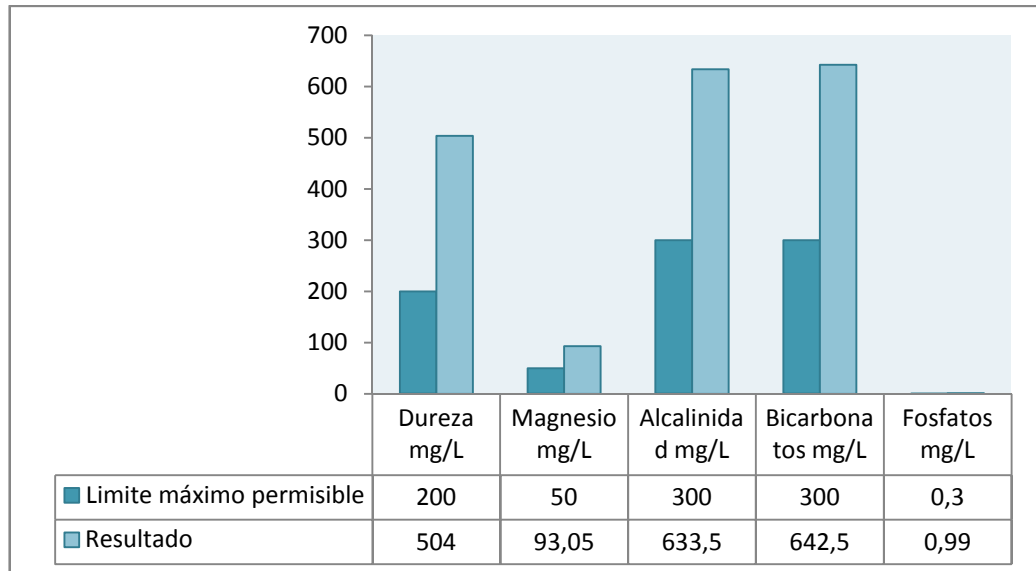
Una vez realizada la caracterización, del agua de la parroquia San Isidro Patulú, se compararon los valores obtenidos con los límites máximos permisibles, que se estipulan en la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS NTE INEN 1108:2011, de esta manera se pudo determinar que 5 de los 18 parámetros físicos – químicos analizados no cumplen con la norma antes mencionada, y estos son: dureza, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, fosfatos.

**Tabla XI Parámetros Físicos – Químicos fuera de norma**

| PARÁMETRO                | LIMITE MAX. | RESULTADO |
|--------------------------|-------------|-----------|
| <b>Dureza mg/L</b>       | 200         | 504       |
| <b>Magnesio mg/L</b>     | 50          | 93,05     |
| <b>Alcalinidad mg/L</b>  | 300         | 633,5     |
| <b>Bicarbonatos mg/L</b> | 300         | 642,5     |
| <b>Fosfatos mg/L</b>     | 0,3         | 0,99      |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

Gráfico 1

*Parámetros Físicos – Químicos fuera de norma*

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

En cuanto al análisis microbiológico de los 2 parámetros analizados, los dos están fuera de norma y estos son:

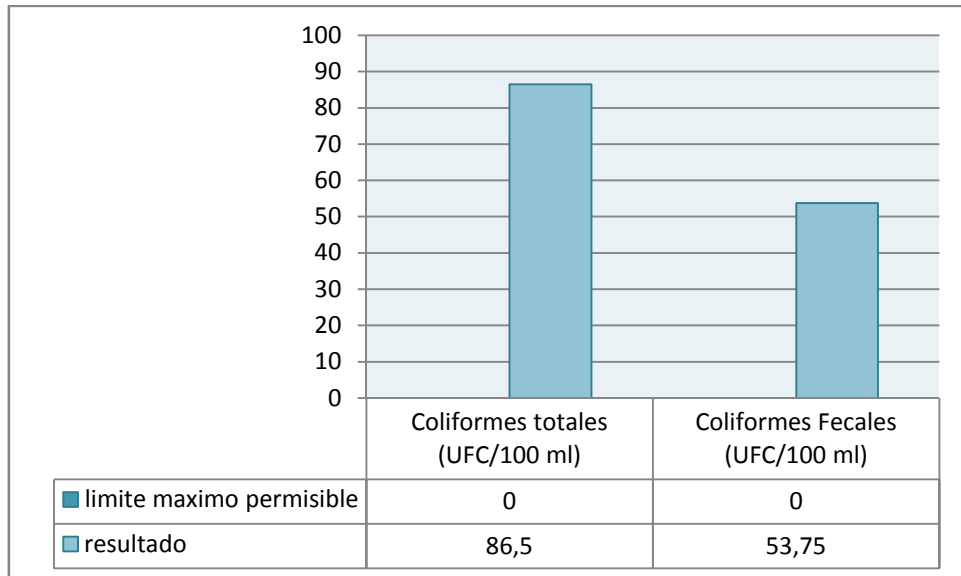
- Coliformes totales
- Coliformes fecales

Tabla XII Parámetros microbiológicos fuera de norma

| PARÁMETRO                       | LIMITE MAX. | RESULTADO |
|---------------------------------|-------------|-----------|
| Coliformes Totales (UFC/100 ml) | 0           | 86,5      |
| Coliformes Fecales (UFC/100 ml) | 0           | 53,75     |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

Gráfico 2

*Parámetros Microbiológicos*

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

## **CAPÍTULO III**

### **3. CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **3.1. CÁLCULOS**

##### **3.1.1. PRUEBAS DE TRATABILIDAD**

Una vez determina la calidad de agua presente en la Parroquia San Isidro del Cantón Guano, y conociendo que los parámetros que la afectan son la dureza, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos y fosfatos, procedemos a realizar pruebas que permitan corregir sus valores. En primera instancia se debe optar por un método de ablandamiento, por intercambio iónico, para el efecto se aplica zeolita natural.

Las zeolitas son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 angstrom, Las zeolitas, debido a sus poros altamente cristalinos, se consideran un tamiz molecular, pues sus cavidades son de dimensiones moleculares, de modo que al pasar las aguas duras, las moléculas más pequeñas se quedan y las más grandes siguen su curso, lo cual permite que salga un líquido más limpio, blando y cristalino.

Las pruebas realizadas, se efectuaron elaborando un lecho de zeolita en dos granulometrías diferentes, en una bureta de 25 ml, el peso de la muestra colocada es de 25 gramos, y como medio de soporte algodón con gasa, se utilizó soluciones de NaCl de diferentes concentraciones y con diferentes tiempos de permanencia tanto de la solución de NaCl, como de la muestra en sí.

**Tabla XIII Pruebas de Filtración por zeolitas, diferentes granulometrías**

| <i>Bureta</i> | <i>Condición del Lecho</i> | <i>Granulometría</i> | <i>Dureza</i> |
|---------------|----------------------------|----------------------|---------------|
| <b>1</b>      | Con solución NaCl 5%       | 1 – 3 mm             | 270           |
| <b>2</b>      | Sin solución de NaCl       | 1 - 3 mm             | 560           |
| <b>3</b>      | Con solución NaCl 5%       | 1 – 2 mm             | 460           |
| <b>4</b>      | Sin solución de NaCl       | 1 – 2 mm             | 560           |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

A partir de estos datos, se considera que la granulometría más adecuada para que se lleve a cabo el intercambio iónico, es de 1 a 3 mm, además es indispensable el proceso de sodificación de la zeolita, para lo cual, se utiliza una solución de NaCl.

Con estos antecedentes se preparan nuevas muestras, para lo cual se utiliza 25 gramos de zeolita, que son colocados en el interior de una bureta, se trabaja con 3 soluciones de NaCl de diferentes concentraciones, una vez dado el proceso de sodificación el cual consiste en colocar dicha solución en el lecho y dejar que esta permanezca unos 10 minutos, se lava el lecho con agua destilada, para esto usamos 60 ml de agua destilada, y así el lecho está listo para que se lleve a cabo el intercambio iónico, la muestra de agua también se debe dejar 10 minutos antes de que empiece a filtrar. En las siguientes tablas se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

**Tabla XIV Muestra 1**

| <i>Bureta</i> | <i>Solución NaCl</i> | <i>Lavado con agua destilada</i> | <i>Tiempo de permanencia solución NaCl</i> | <i>Tiempo de permanencia muestra</i> | <i>Dureza</i> |
|---------------|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|
| <b>1</b>      | 5 %                  | 60 mL                            | 10 min                                     | 10 min                               | 56            |
| <b>2</b>      | 10 %                 | 60 mL                            | 10 min                                     | 10 min                               | 52            |
| <b>3</b>      | 25 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 36            |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013



**Tabla XV Muestra 2**

| <i>Bureta</i> | <i>Solución NaCl</i> | <i>Lavado con agua destilada</i> | <i>Tiempo de permanencia solución NaCl</i> | <i>Tiempo de permanencia muestra</i> | <i>Dureza</i> |
|---------------|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|
| <b>1</b>      | 5 %                  | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 54.4          |
| <b>2</b>      | 10 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 52            |
| <b>3</b>      | 25 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 36.8          |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

**Tabla XVI Muestra 3**

| <i>Bureta</i> | <i>Solución NaCl</i> | <i>Lavado con agua destilada</i> | <i>Tiempo de permanencia solución NaCl</i> | <i>Tiempo de permanencia muestra</i> | <i>Dureza</i> |
|---------------|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|
| <b>1</b>      | 5 %                  | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 56.8          |
| <b>2</b>      | 10 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 50.4          |
| <b>3</b>      | 25 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 34.4          |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

**Tabla XVII Muestra 4**

| <i>Bureta</i> | <i>Solución NaCl</i> | <i>Lavado con agua destilada</i> | <i>Tiempo de permanencia solución NaCl</i> | <i>Tiempo de permanencia muestra</i> | <i>Dureza</i> |
|---------------|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|
| <b>1</b>      | 5 %                  | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 55.2          |
| <b>2</b>      | 10 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 48            |
| <b>3</b>      | 25 %                 | 60 ml                            | 10 min                                     | 10 min                               | 38.4          |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

Las pruebas se realizaron a lo largo de un mes, con los datos recabados en este periodo, se determina que la operación llevada a cabo es eficiente y permite corregir los valores de aquellos parámetros que se encuentran fuera de norma.

Como se aprecia en la tabla XVIII la dureza se reduce de manera muy alentadora, y dicha reducción depende de la concentración de la solución de NaCl que se utiliza en el proceso de sodificación, mientras la solución es más concentrada, la dureza se reduce

más, es decir que la reducción de la dureza es directamente proporcional a la concentración de la solución de NaCl, que se utilice.

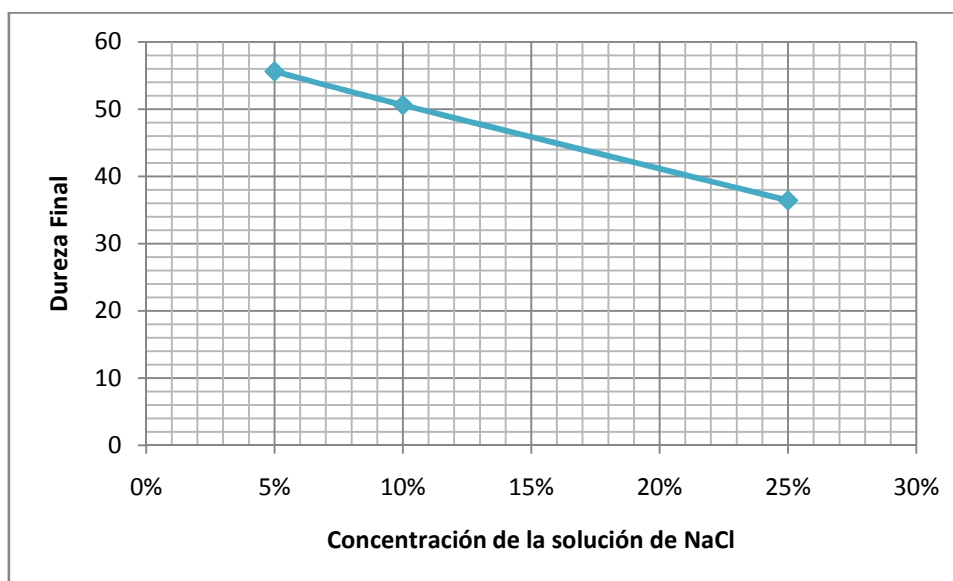
**Tabla XVIII Promedio de dureza final**

| SOLUCION | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 | MUESTRA 4 | PROMEDIO |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 5%       | 56        | 54,4      | 56,8      | 55,2      | 55,6     |
| 10%      | 52        | 52        | 50,4      | 48        | 50,6     |
| 25%      | 36        | 36,8      | 34,4      | 38,4      | 36,4     |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

**Gráfico 3**

**Promedio de dureza final**



FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

Los datos obtenidos son alentadores, puesto que los valores de la dureza están por debajo de los valores requeridos, por tanto la elección de las condiciones para realizar el ablandamiento se suscriben netamente al carácter económico. En este caso nos debemos inclinar por la solución de concentración más baja de cloruro de sodio, ya que implica un consumo mínimo de dicha solución.

### 3.1.2. DISEÑO DE INGENIERÍA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

#### 3.1.2.1. Cálculos de Ingeniería

##### Población futura o de diseño.

Datos:

- Población actual a la que se abastece: 280 habitantes
- Tasa media de crecimiento: 0.2%

3.1.2.1-1

$$N_t = N_o (1 + r)^t$$

Dónde:

- ***N<sub>o</sub>***: Población al inicio del período.
- ***N<sub>t</sub>***: Población futura, resultado de la proyección.
- ***r***: Tasa media anual de crecimiento.
- ***t***: Número de años que se va a proyectar la población.

**Tabla XIX Proyección de Población**

| <b>N</b>  | <b>Año</b> | <b>Población</b> |
|-----------|------------|------------------|
| <b>0</b>  | 2013       | 280              |
| <b>1</b>  | 2014       | 336              |
| <b>2</b>  | 2015       | 403              |
| <b>3</b>  | 2016       | 484              |
| <b>4</b>  | 2017       | 581              |
| <b>5</b>  | 2018       | 697              |
| <b>6</b>  | 2019       | 836              |
| <b>7</b>  | 2020       | 1003             |
| <b>8</b>  | 2021       | 1204             |
| <b>9</b>  | 2022       | 2570             |
| <b>10</b> | 2023       | 1734             |
| <b>11</b> | 2024       | 3700             |
| <b>12</b> | 2025       | 2497             |
| <b>13</b> | 2026       | 5328             |
| <b>14</b> | 2027       | 3595             |
| <b>15</b> | 2028       | 4314             |
| <b>16</b> | 2029       | 9207             |
| <b>17</b> | 2030       | 6212             |
| <b>18</b> | 2031       | 7455             |
| <b>19</b> | 2032       | 8945             |
| <b>20</b> | 2033       | 10735            |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### **Dotación básica de agua**

Se expresa en litros por personas al día y la OMS, recomienda que para zonas rurales en clima frío donde el número de habitantes es menor a 2000 la dotación de agua sea de 100 L/hab/día cuando la población oscile entre 2000 y 10 000 habitantes la dotación de agua debe ser de 120 L/hab/día.

### **Dotación futura de agua**

3.1.2.1-2

$$Df = FM * DB$$

**Dónde:**

- **FM:** Factor de Mayorización = 2,2<sup>22</sup>
- **DB:** Dotación Básica.

$$Df = 2,2 * 120 \frac{L}{hab * día}$$

$$Df = 264 \frac{L}{hab * día}$$

**Gasto medio diario (Qm)**

3.1.2.1-3

$$Q_{med} = \frac{P * D}{86400}$$

**Dónde:**

- Qm: Gasto medio diario, en L/s
- P: Número de habitantes, hab. (Proyectada)
- D: Dotación, en L/hab/día
- 86,400: Segundos/día, s/d

**Datos:**

- P: 10735 hab
- D: 120 L/hab/día

$$Q_m = \frac{10735 * 120}{86400}$$

$$Q_m = 14,9 L/s$$

---

<sup>22</sup>[http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/20/cap\\_iv.htm#\\_ftn1](http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/20/cap_iv.htm#_ftn1)

**Gasto máximo diario (QMd).**

3.1.2.1-4

$$QMd = k * Qm$$

**Dónde:**

- QMd: Gasto máximo diario, en L/s
- K: Coeficiente de variación diaria, adimensional (1.3)<sup>23</sup>
- Qm: Gasto medio diario, en L/s

**Datos:**

- $Qm = 14,9 \text{ L/s}$

$$QMd = k * 14,9$$

$$QMd = 1,3 * 14,9 \text{ L/s}$$

$$QMd = 19,37 \text{ L/s}$$

**Gasto máximo horario (QMh).**

3.1.2.1-5

$$QMh = K * QMd$$

**Dónde:**

- QMh: Gasto máximo horario, en L/s
- K: Coeficiente de variación horaria, adimensional (2,00)<sup>24</sup>
- QMd: Gasto máximo diario, en L/s

**Datos:**

- $QMd = 19,37 \text{ L/s}$

---

<sup>23</sup><http://www.fcpa.org.pe>

<sup>24</sup> <http://guiadelconstructor.com.do/wp-content/uploads/2012/06/Normas-de-Dise%C3%B1o.pdf>

$$QMh = 2,00 * 19,37 \text{ L/s}$$

$$QMh = 38,74 \text{ L/s}$$

### Caudales de Diseño

### Caudal de captación

3.1.2.1-6

$$Q_{\text{captación}} = 1,05 * QMh$$

$$Q_{\text{captación}} = 1,05 * 19,37 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{captación}} = 20,34 \text{ L/s}$$

### Caudal de la Planta de Tratamiento.

3.1.2.1-7

$$Q_{\text{tratamiento}} = 1,10 * QMh$$

$$Q_{\text{tratamiento}} = 1,10 * 19,37 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{tratamiento}} = 21,3 \text{ L/s}$$

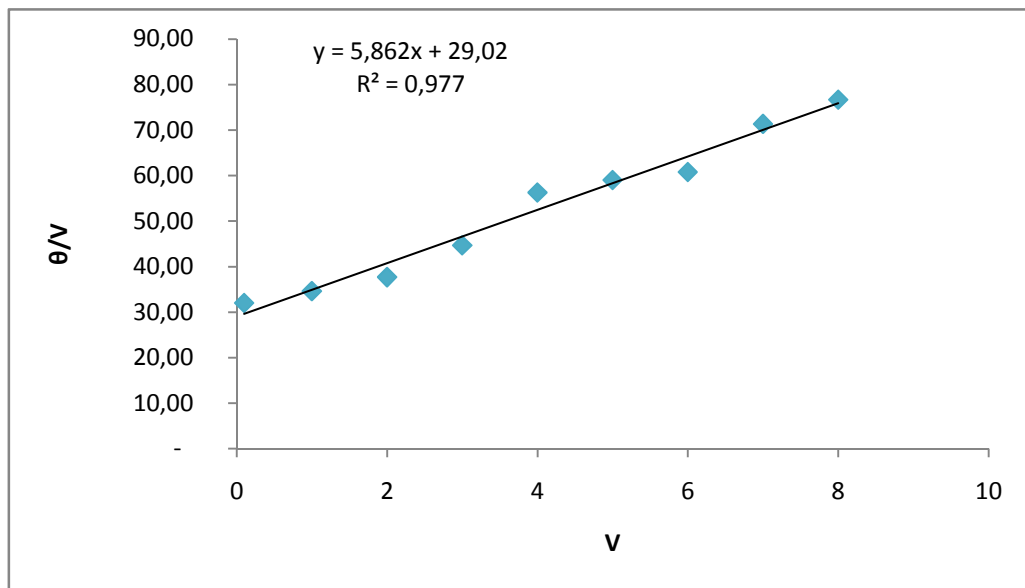
### Cálculos de filtración

Tabla XX Simulación de filtración

| V(L) | $\Theta$ (min) | $\Theta/V$ (min/L) |
|------|----------------|--------------------|
| 0,1  | 3,2            | 32,00              |
| 1    | 34,6           | 34,60              |
| 2    | 75,32          | 37,66              |
| 3    | 133,97         | 44,66              |
| 4    | 225            | 56,25              |
| 5    | 294,99         | 59,00              |
| 6    | 364,43         | 60,74              |
| 7    | 499,17         | 71,31              |
| 8    | 613,02         | 76,63              |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

**Gráfico 4**  
 $\theta/V$  vs.  $V$



FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### Cálculo del área del filtro

3.1.2.1-8

$$A = \frac{\pi * \phi_i^2}{4}$$

Dónde:

- $\phi_i = 0,01 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi * 0,01^2}{4}$$

$$A = 0,000078 \text{ m}^2$$

### Cálculo del área total de filtración

3.1.2.1-9

$$A_{MF} = 2 * \pi * r * h_{FM} + 2 * \pi * r^2$$



Dónde:

- $A_{MF}$  = *area total de filtracion*
- $h_{FM}$  = *altura del material filtrante*

$$A_{MF} = 2 * \pi * 0,005m * 0,32m + 2 * \pi * (0,005 m)^2$$

$$A_{MF} = 0,01 m^2$$

### Cálculo del caudal

3.1.2.1-10

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

Dónde:

- $V$  = *volumen filtrado*
- $\theta$  = *tiempo que demora la filtración*

$$Q = \frac{0,1 L}{3,2 \text{ min}}$$

$$Q = 0,03 \frac{L}{\text{min}} * \frac{1m^3}{1000 L} * \frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ día}} = 0,043 \frac{m^3}{\text{día}}$$

### Cálculo de la tasa media de filtración

3.1.2.1-11

$$\text{tasa media de filtración} = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- $Q = 0,043 \frac{m^3}{\text{día}}$
- $A = 0,000078 m^2$

$$\text{tasa media de filtración} = \frac{0,043 \text{ m}^3/\text{día}}{0,000078 \text{ m}^2}$$

$$\text{tasa media de filtración} = 551,28 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

### Cálculo de la resistencia específica de la torta

A partir de la ecuación de la recta obtenida de la gráfica anterior tenemos:

$$m = 5,862 \frac{\text{min}}{\text{L}^2} = 97700 \frac{\text{h}}{\text{m}^6}$$

3.1.2.1-12

$$\alpha = \frac{2 * m * P * A^2}{\mu * W}$$

Dónde:

- $\mu = 3.6 \text{ kg/m} * \text{h}$
- $W = \text{contenido de solidos} * \text{vol líquido}$
- $P = \text{presión de trabajo } 10197 \text{ kg/m}^2$

$$\alpha = \frac{2 * 97700 * 10197 * (0,01 \text{ m}^2)^2}{3,6 * 0,776}$$

$$\alpha = 71 \ 323,5 \frac{\text{h}^2}{\text{Kg}}$$

### Cálculo de la resistencia específica del medio filtrante

A partir de la ecuación de la recta obtenida de la gráfica anterior tenemos:

$$b = 29,025 \frac{\text{min}}{\text{L}^2} = 483,75 \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$$

$$b = \frac{\beta * \mu}{P * A} \Rightarrow \beta = \frac{b * P * A}{\mu}$$

3.1.2.1-13

$$\beta = \frac{483,75 * 10197 * 0,01}{3,6}$$

$$\beta = 13\,702,2 \frac{h^2}{m^2}$$

**Cálculo del tiempo de filtración (escala industrial)**

$$\frac{\theta}{V} = \frac{\alpha * \mu * W}{2 * P * A^2} V + \frac{\beta * \mu}{P * A}$$

3.1.2.1-14

$$\theta = \frac{\alpha * \mu * W}{2 * P * A^2} V^2 + \frac{\beta * \mu}{P * A} V$$

Asumiendo:

- $A = 0,44 \text{ m}^2$  ( $\phi = 0,75$  y altura de 2,25 m)
- $V = 1 \text{ m}^3$

$$\theta = \frac{71323,5 * 3,6 * 0,776}{2 * 10197 * 0,44^2} 1^2 + \frac{13702,2 * 3,6}{10197 * 0,44} 1$$

$$\theta = 25 \text{ horas}$$

**Cálculo del tiempo y volumen de la solución de lavado para el filtro**

- **Cálculo de la velocidad de lavado**

3.1.2.1-15

$$v_L = \frac{Q_L}{A}$$

Dónde:

- $Q_L = 1 \frac{\text{m}^3}{h}$  (equivalente al volumen del medio filtrante)

$$v_L = \frac{1 \text{ m}^3/\text{h}}{0,44 \text{ m}^2}$$

$$v_L = 2,27 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{h}}$$

- **Cálculo del tiempo de lavado**

$$2.303 \frac{L}{kq} = \frac{\theta}{\log c_0 - \log c}$$

Dónde:

- $k =$  constante característica (0.3 – 0.5)
- $L =$  espesor de la torta 0,04 m
- $c_0 =$  turbidez al comienzo (70 FTU)
- $c =$  turbidez al final (5 FTU)

3.1.2.1-16

$$\theta_L = \frac{2.303L}{k * v_L} \log \frac{c_0}{c}$$

$$\theta_L = \frac{2.303 * 0,04}{0,3 * 2,27} \log \frac{70}{5}$$

$$\theta_L = 0,16 \text{ h}$$

- **Cálculo del volumen de lavado**

3.1.2.1-17

$$V_L = Q_L * \theta_L$$

$$V_L = 1 * 0,16$$

$$V_L = 0,16 \text{ m}^3$$

## Análisis de la resina

### Consumo de resina para el volumen de agua de 1 m<sup>3</sup>

- 25 g de zeolita natural sirve para tratar 451,6 ml de agua, antes de la regeneración.

Cantidad de resina para el volumen de 1m<sup>3</sup> de agua:

$$\frac{25 \text{ g zeolita}}{451,6 \text{ mL agua}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L agua}} * \frac{1000 \text{ L agua}}{1 \text{ m}^3 \text{ agua}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g zeolita}} = 55,4 \frac{\text{Kg zeolita}}{\text{m}^3 \text{ agua}}$$

### Determinación del peso específico

3.1.2.1-18

$$s = \frac{Pm}{Vm}$$

Dónde:

- $S$  = peso específico (g/ml)
- $Pm$  = peso de la muestra
- $Vm$  = volumen de la muestra

$$s = \frac{25 \text{ g}}{28,21 \text{ mL}}$$

$$s = 0,886 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

### Cantidad de sal utilizada en la regeneración de la resina

Se conoce que la zeolita natural elimina 7000 gramos de dureza por metro cubico de agua, y que por cada 1000 gramos de dureza removidos se requiere 3 Kg de sal para su regeneración.

$$\frac{7000 \text{ gr dureza eliminados}}{1 \text{ m}^3 \text{ de agua}} * \frac{3 \text{ Kg de sal}}{1000 \text{ gr dureza eliminada}} = 21 \frac{\text{Kg de sal}}{\text{m}^3 \text{ de agua}}$$

### Tiempo de recirculación del sistema

La recirculación se efectuará en un tiempo de 30 minutos por cada 1 m<sup>3</sup> de agua a ser tratada.

### Cálculo del tanque de almacenamiento y la potencia de la bomba

#### Tanque de almacenamiento repartidor de caudales

3.1.2.1-19

$$V_{\text{tanque}} = Q * t_r$$

$Q$ : caudal de diseño = 0,0203 m<sup>3</sup>/s

$t_r$ : tiempo de retención = 10 minutos<sup>25</sup> = 600 s

$V_{\text{tanque}}$ : volumen del tanque repartidor de caudales

$$V_{\text{tanque}} = 0,0203 \text{ m}^3/\text{s} * 600\text{s}$$

$$V_{\text{tanque}} = 12,2 \text{ m}^3$$

Asumimos una base cuadrada de 6 m<sup>2</sup>

$$h_t = \frac{V_{\text{tanque}}}{3 \text{ m} * 2 \text{ m}}$$

$$h_t = \frac{12,2 \text{ m}^3}{6 \text{ m}^2}$$

$$h_t = 2,03 \text{ m} \cong 2 \text{ m}$$

Tomamos 50 cm como superficie libre, de tal manera la altura del tanque es:

$$h_t = 2,50 \text{ m}$$

---

<sup>25</sup>Se adopta  $t_r = 10$  min para que el volumen calculado sea capaz de abastecer y mantener la planta funcionando si se requiere realizar alguna reparación en la conducción.

**Diseño de bomba del tanque repartidor de caudales**

- $Q_d = 20,34 \frac{L}{s}$

**Tubería de impulsión**

Velocidad de impulsión entre 0,6 – 2 m/s, se toma la velocidad de 2 m/s

Dónde:

$$Q_d = 20,34 \frac{L}{s} = 0,0203 \frac{m^3}{s}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

3.1.2.1-20

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_i}{v * \pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,0203}{2 * \pi}}$$

$$D = 0,11 \text{ m}$$

Se adopta un D= 200 mm =0,2 m

**Altura estática de bombeo H1**

- $h_t = 2,5 \text{ m}$
- $h_A = 2,5 \text{ m}$
- $H_1 = 5 \text{ m}$

**Pérdida por fricción H<sub>2</sub> en tubería de impulsión**

3.1.2.1-21

$$H_2 = 10,674 * \left( \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right) * L$$

Dónde:

- Caudal de diseño  $Q = 0,0203 \text{ m}^3/\text{s}$
- Coeficiente de Hazen Williams  $C = 150$
- Diámetro tubería impulsión  $D = 0,2 \text{ m}$
- Longitud tubería impulsión  $L = 4,03 \text{ m}$

$$H_2 = 10,674 * \left( \frac{0,0203^{1,852}}{150^{1,852} * 0,2^{4,871}} \right) * 4,03$$

$$H_2 = 0,007$$

### Pérdida por accesorios H3

**Tabla XXIPérdidas por accesorios**

| ACCESORIOS            | CANTIDAD | LONG. EQ EN N° DE DIÁMETRO | DIÁMETRO<br>mm | LONGITUD<br>T.E. m |
|-----------------------|----------|----------------------------|----------------|--------------------|
| Codo 90°              | 3        | 5,4                        | 200            | 16,2               |
| Válvula Check bronce  | 1        | 13,9                       | 200            | 13,9               |
| Unión                 | 1        | 2,6                        | 200            | 2,6                |
| Universal             | 2        | 2,6                        | 200            | 5,2                |
| <b>Longitud total</b> |          |                            |                | <b>37,9</b>        |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

3.1.2.1-22

$$H_3 = 10,674 * \left( \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right) * L$$

$$H_3 = 10,674 * \left( \frac{0,0203^{1,852}}{150^{1,852} * 0,2^{4,871}} \right) * 37,9$$

- $Q = 0,0203$
- $C = 150$
- $D = 0,2$
- $L = 37,9$

$$H_3 = 0,07$$



$$ADT = H_1 + H_2 + H_3$$

Dónde:

- *Altura dinámica de bombeo ADT*
- *Altura estática de bombeo  $H_1 = 5 \text{ m}$*
- *Pérdidas por fricción  $H_2 = 0,007 \text{ m}$*
- *Pérdidas por accesorios  $H_3 = 0,07 \text{ m}$*

$$ADT = 5 + 0,007 + 0,07$$

$$ADT = 5,077$$

**Cálculo de W (flujo másico)**

$$W = \rho * Q$$

Donde

- $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$
- $Q = 20,34 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0,0203 \text{ m}^3/\text{s}$
- $W = \rho * Q$

$$W = 1000 * 0,0203$$

$$W = 20,3 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

**Cálculo de la potencia de la bomba**

$$Hp = \frac{W * ADT}{75 * 0,75}$$

$$H_p = \frac{20,3 * 5,077}{75 * 0,75}$$

$$H_p = 1,83 \frac{Kgm}{s} \cong 2 \frac{Kgm}{s}$$

Se adopta una eficiencia teórica de 75%

**Tabla XXII Parámetros de Diseño**

| Resultado             | Valor  | Símbolo   | Unidad                               |
|-----------------------|--------|-----------|--------------------------------------|
| Población futura      | 10 735 | $N$       | $h$                                  |
| Dotación básica       | 120    | $DB$      | $\frac{litros}{habitante \cdot día}$ |
| Dotación futura       | 264    | $DF$      | $\frac{litros}{habitante \cdot día}$ |
| Gasto medio diario    | 14,9   | $Q$       | $\frac{L}{s}$                        |
| Gasto máximo diario   | 19,37  | $Q_{max}$ | $\frac{L}{s}$                        |
| Gasto máximo horario  | 38,74  | $Q_{max}$ | $\frac{L}{s}$                        |
| Caudal de captación   | 20,34  | $Q$       | $\frac{L}{s}$                        |
| Caudal de tratamiento | 21,3   | $Q$       | $\frac{L}{s}$                        |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

**Tabla XXIII Parámetros de diseño para el sistema de filtración**

| Resultado                                  | Valor   | Símbolo  | Unidad                   |
|--|---------|----------|--------------------------|
| Caudal                                     | 0,043   | $Q$      | $\frac{m^3}{día}$        |
| Resistencia específica de la torta         | 71323,5 | $\alpha$ | $\frac{Kg}{m^2 \cdot h}$ |
| Resistencia específica del medio filtrante | 13702,2 | $\beta$  | $\frac{Kg}{m^2 \cdot h}$ |
| Tiempo de filtración                       | 25      | $t$      | $h$                      |
| Velocidad de lavado                        | 2,27    | $v$      | $\frac{m}{h}$            |
| Tiempo de lavado                           | 0,16    | $t$      | $H$                      |
| Volumen de lavado                          | 0,16    | $V$      | $m^3$                    |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### 3.1.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

#### Aireador

Se prevé diseñar un equipo de aireación, para un caudal de 86,34 L/s, este equipo será utilizado con el fin de incorporar oxígeno al agua para oxidar los compuestos ferrosos, con una eficiencia del 70-80% y con una efectividad del 80-90%<sup>26</sup>

#### Área Total

3.1.2.2-1

$$At = \frac{Q}{TA}$$

#### Dónde:

- At: Área total del aireador (m<sup>2</sup>)
- Q: Caudal (L/s)
- TA: Carga Hidráulica (L/sm<sup>2</sup>)

#### Datos:

- Caudal de diseño (Qd): 20,34 L/s
- Carga Hidráulica: 6 (L/sm<sup>2</sup>)<sup>27</sup>

$$At = \frac{20,34 \text{ L/s}}{6 \text{ L/sm}^2}$$

$$At = 3,4 \text{ m}^2$$

#### Área de aireación

$$A_i = 1,05 \text{ m}^2$$

---

<sup>26</sup> Tesis TESO 19P. Ing. Jorge Montero Oxidación de hierro por medio de aireadores de bandejas múltiples, capítulo 5.2.2.

<sup>27</sup> Tomado tesis TESO19P del Ing. Jorge Montero Oxidación de hierro por medio de aireadores a gravedad de bandejas múltiples capítulo 5.2.2

### Número de unidades de aireación requerida

3.1.2.2-2

$$N = \frac{A_t}{A_i}$$

Dónde:

- Área total de aireación:  $A_t = 3,4 \text{ m}^2$
- Área de cada unidad de aireación:  $A_i = 1,05 \text{ m}^2$

$$N = \frac{3,4 \text{ m}^2}{1,05 \text{ m}^2}$$

$$N = 3,2 \cong 3$$

### Altura total

La altura total recomendada para remoción de hierro se encuentra entre 2-2.5 m, recomendando para una eficiencia del 90 % que se adopte una altura de 2m.<sup>28</sup>

Número de torres

Tomando en cuenta que el caudal que entra a cada torre debe ser de 3,5 – 7 L/s, adoptamos un caudal de 6 L/s.

3.1.2.2-3

$$N_{torres} = \frac{Q_d}{Q_t}$$

Dónde:

- $N_{torres}$ : Número de torres
- $Q_d$ : Caudal de diseño 20,34 L/s
- $Q_t$ : Caudal que ingresa a cada torre 6 L/s

---

<sup>28</sup>Tomado tesis TES019P del Ing. Jorge Montero Oxidación de hierro por medio de aireadores a gravedad de bandejas múltiples capítulo 5.2.1

$$N_{torres} = \frac{20,34}{6}$$

$$N_{torres} = 3,4 \approx 4$$

Para nuestro rediseño se requiere 4 torres de aireación con 3 bandejas en cada torre con la finalidad de que toda el agua captada pase por este proceso.

### Separación entre bandejas

- Separación entre bandejas de 40 cm<sup>29</sup>.

### Tiempo de exposición (t)

3.1.2.2-4

$$t = \sqrt{\frac{2 * H * n}{g}}$$

### Dónde:

- **t:** Tiempo de exposición (s)
- **H:** Altura total de la torre (2 m)
- **n:** Número de bandejas (3)
- **g:** Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$$t = \sqrt{\frac{2 * 2m * 3}{9,8 m/s^2}}$$

$$t = 1,1 s$$

---

<sup>29</sup>Tomado tesis TES019P del Ing. Jorge Montero Oxidación de hierro por medio de aireadores a gravedad de bandejas múltiples capítulo 5.2.3

Tabla XXIV Parámetros de diseño de un aireador de bandejas

| <i>Resultado</i>                 | <i>Valor</i> | <i>Símbolo</i> | <i>Unidad</i>  |
|----------------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Área total del aireador          | 3,4          |                | m <sup>2</sup> |
| Área de cada unidad de aireación | 1,05         |                | m <sup>2</sup> |
| Número de unidades de aireación  | 3            |                |                |
| Número de torres                 | 4            |                |                |
| Altura total                     | 2            |                | m              |
| separación entre bandejas        | 40           |                | cm             |
| Tiempo de exposición             | 1,1          | t              | s              |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

## Filtración

### Tamaño del tanque de tratamiento

3.1.2.2-5

$$V_T = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * h_T$$

Dónde:

- $V_T$  = volumen del tanque de tratamiento
- $d$  = diámetro del tanque 0,75 m
- $h_T$  = 2,25m

$$V_T = \pi * \left(\frac{0,75 \text{ m}}{2}\right)^2 * 2,25 \text{ m}$$

$$V_T = 0,99 \text{ m}^3 \cong 1 \text{ m}^3$$

### Volumen de los filtros

Los datos reales para la base de cálculo del dimensionamiento de los filtros son la altura y el diámetro ya que viene especificado por los fabricantes.

3.1.2.2-6

$$V_F = \pi * r^2 * h$$

Dónde:

- $V_F = \text{volumen del filtro}$
- $r = \text{radio del filtro } 0,375 \text{ m}$
- $h = \text{altura del filtro } 2,25 \text{ m}$

$$V_F = \pi * (0,375\text{m})^2 * 2,25 \text{ m}$$

$$V_F = 0,04 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1\text{m}^3} = 40 \text{ L}$$

Material = Plástico para almacenamiento de líquidos. Sílice (anhídrido silícico  $\text{SiO}_4$ ) como medio filtrante. Tamaño del tanque de salmuera

### Volumen del tanque de salmuera

3.1.2.2-7

$$V_S = \pi * r^2 * h$$

Dónde:

- $V_S = \text{volumen del tanque de salmuera}$
- $r = \text{radio del tanque} = (0,75/2) 0,375 \text{ m}$
- $h = \text{Altura del tanque} = 2,25 \text{ m}$

$$V_S = \pi * (0,375 \text{ m})^2 * 2,25 \text{ m}$$

$$V_S = 0,99\text{m}^3 \cong 1\text{m}^3$$

### Cálculo del área del filtro

3.1.2.2-8

$$A = \frac{\pi * \phi_i^2}{4}$$

Dónde:

- $\phi_i = 0,75 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi * 0,75^2}{4}$$

$$A = 0,44 \text{ m}^2$$

### Cálculo del área total de filtración

3.1.2.2-9

$$A_{MF} = 2 * \pi * r * h_{FM} + 2 * \pi * r^2$$

Dónde:

- $A_{MF}$  = *area total de filtración*
- $h_{FM}$  = *altura del material filtrante*

$$A_{MF} = 2 * \pi * 0,375\text{m} * 2,25\text{m} + 2 * \pi * 0,375\text{m}^2$$

$$A_{MF} = 6,19 \text{ m}^2$$

### Cálculo de la tasa media de filtración

3.1.2.2-10

$$\text{tasa media de filtración} = \frac{Q_f}{A}$$

Dónde:

- $Q_f = 0,33 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 0,475 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$
- $A = 0,44 \text{ m}^2$

$$\text{tasa media de filtración} = \frac{0,475 \text{ m}^3/\text{día}}{0,44 \text{ m}^2}$$

$$\text{tasa media de filtración} = 1,08 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$



**Tubería de entrada al filtro**

3.1.2.2-11

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}}$$

- $v_f = 0.003 \frac{m}{h} = 0.00005 \frac{m}{s}$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 3.7 * 10^{-7} m^3/s}{0.00005 m/s * \pi}}$$

$$D = 0,097 m \cong 0,10 m$$

**Sistema de drenaje**

Sirve para sustentar al medio filtrante y evitar que este sea acarreado con el agua filtrada y asegurar una tasa de filtración uniforme sobre toda el área filtrante. Para el presente diseño de drenaje que utilizan tubos perforados se usa como base los parámetros de la siguiente tabla.

**Tabla XXV Parámetros de diseño para drenajes por tuberías**

| Parámetro                                | Valor                          | Unidades                       |
|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Velocidad máxima en el distribuidor      | 0,3                            | m/s                            |
| Velocidad máxima en los laterales        | 0,3                            | m/s                            |
| Área máxima en los laterales             | 0,3                            | $(1,5 \text{ a } 5) * 10^{-3}$ |
| Área total de orificios                  | $(1,5 \text{ a } 5) * 10^{-3}$ |                                |
| Área del lecho                           | 1,5 a 3                        | 1,5 a 3                        |
| Área del principal                       | 1,5 a 3                        |                                |
| Área del lateral                         | 2 a 4                          |                                |
| Área del lateral al                      | 2 a 4                          | 2 a 4                          |
| Área del lateral al                      | 2 a 4                          |                                |
| Área de orificios servida por el lateral | 2 a 4                          |                                |

Fuente: Potabilización. Milton Silva. Capítulo 6

Tabla XXVI Parámetros de diseño de laterales

| <i>Parámetro</i>                                       | <i>Valor</i> | <i>Unidades</i> |
|--|--------------|-----------------|
| <b>Espaciamiento de los laterales</b>                  | 1,2          | m               |
| <b>Diámetro de los orificios laterales</b>             | 6,5 – 15,8   | mm              |
| <b>Espaciamiento de los orificios de los laterales</b> | 7,5 – 25     | cm              |
| <b>Altura entre tubo y fondo del filtro</b>            | 3,5          | cm              |
| <b>Velocidad en orificio</b>                           | 3 – 5        | m/s             |

Fuente: ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua, Pp. 480

### Diámetro de los orificios laterales

Teniendo en cuenta los parámetros de diseño asumimos que:

- Diámetro: 10mm
- Velocidad en el orificio: 3m/s

### Área de cada orificio

3.1.2.2-12

$$A_0 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi * (0,01m)^2}{4}$$

$$A_0 = 7,85 * 10^{-5} m$$

### Caudal que ingresa a cada orificio

3.1.2.2-13

$$Q_0 = A_0 * v_0$$

$$Q_0 = (7,85 * 10^{-5}) (3)$$

$$Q_0 = 2,36 * 10^{-4} m^3/s$$

### Cálculo del número de laterales

Tomando una separación de 1m entre los laterales tenemos

3.1.2.2-14

$$\# \text{ laterales} = n * \frac{L}{el}$$

**Dónde:**

- **L:** Longitud total del filtro (2,25 m)
- **el:** Separación entre laterales (1m)
- **n:** número de laterales por lado (2)

$$\# \text{ laterales} = 2 * \frac{2,25}{1}$$

$$\# \text{ laterales} = 4,5 \approx 5$$

**Tabla XXVII Parámetros de diseño de un filtro de Zeolita**

| Resultado                        | Valor | Símbolo | Unidad |
|----------------------------------|-------|---------|--------|
| Tamaño del tanque de tratamiento | 1     |         |        |
| Tamaño de los filtros            | 40    |         |        |
| Tamaño del tanque de salmuera    | 1     |         |        |
| Área del filtro                  | 0,44  |         |        |
| Área total de filtración         | 6,19  |         |        |
| Tasa media de filtración         | 1,08  |         |        |
| Tubería de entrada al filtro     | 0,10  |         |        |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### Desinfección

Una vez terminada la etapa de filtración, el afluente sigue a la etapa de cloración, cuyo caudal es de 20,34 L/s; la desinfección es directa y se realiza con la adición de hipoclorito de calcio, para conocer su concentración debemos basarnos en los datos de la tabla 3.1.2.2-5

**Tabla XXVIII Demanda de cloro para aguas**

|               |          |
|---------------|----------|
| Aguas claras  | 0,3 mg/L |
| Aguas turbias | 1,5 mg/L |

FUENTE: MUÑOZ M. BALAREZO A., (1992)

En este caso, una vez realizados los analices correspondientes y conociendo que el agua a tratar no es turbia en lo absoluto optaríamos por los 0,3 mg/L, sin embargo al provenir de una fuente subterránea, debemos considerar que el agua está contaminada, por tanto la mejor opción en este caso específico es el de dosificar 1,5mg/L.

### Volumen del Tanque de cloración

3.1.2.2-15

$$V_{\text{tanque}} = Q * T$$

**Dónde:**

- **Q:** Caudal (0,0203 m<sup>3</sup>/s)
- **tr:** tiempo de retención (15 min o 600 s)

$$V_{\text{tanque}} = 0,0203 * 900$$

$$V_{\text{tanque}} = 18,3 \text{ m}^3$$

### Altura del tanque de cloración

3.1.2.2-16

$$H_{\text{tanque}} = \frac{V_{\text{tanque}}}{A}$$

- Asumimos una base cuadrada de 2,5 m x 2,5 m

$$H_{\text{tanque}} = \frac{18,3 \text{ m}^3}{2,5 * 2,5 \text{ m}^2}$$

$$H_{\text{tanque}} = 2,9 \text{ m}$$

Dejamos un espacio libre de 35 cm es decir que la altura es de 3,25 m

**Peso de cloro necesario**

3.1.2.2-17

$$P = \frac{Q * D * T}{1000 I}$$

**Dónde:**

- **Q:** Caudal(0,0203 m<sup>3</sup>/s)
- **D:** Dosis cloro necesaria(1,5mg/L)
- **T:** Periodo de almacenamiento de la solución (8h = 28800 s)
- **I:** Porcentaje del cloro (65% = 0,65)

$$P = \frac{20,34 \frac{L}{s} * \frac{1,5mg}{L} * 28800s}{1000 (0,65)}$$

$$P = 1,3 \text{ kg}$$

**Volumen del Hipoclorador**

3.1.2.2-18

$$V = \frac{P}{5 * C}$$

**Dónde:**

- **C:** Concentración de hipoclorito de calcio (5)
- **D:** Dosis cloro necesaria(1,5mg/L)

$$V = \frac{1,3}{5 * 5}$$

$$V = 0,052 \text{ m}^3$$

Se diseña un tanque cuya capacidad sea de 100 L, que permita dosificar 1,5 mg/L, de hipoclorito, durante el día dicha dosificación será automática y para la noche se buscará almacenar la solución utilizada en la desinfección durante 8 horas.

**Tabla XXIX Parámetros de diseño del proceso de cloración**

| <i>Cálculo</i>                  | <i>Valor</i> | <i>Símbolo</i> | <i>Unidad</i>  |
|---------------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Volumen del tanque de cloración | 18,3         |                |                |
| Altura del tanque de cloración  | 3,25         |                |                |
| Peso de cloro necesario         | 1,3          | P              | Kg             |
| Volumen del hipoclorador        | 0,052        | V              | m <sup>3</sup> |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### Dimensionamiento del tanque de almacenamiento y distribución

3.1.2.2-19

$$V_{\text{tanque}} = Q * t_r$$

- $Q$ : caudal de diseño = 0,0203 m<sup>3</sup>/s
- $t_r$ : tiempo de retención = 10 minutos<sup>30</sup> = 600 s
- $V_{\text{tanque}}$ : volumen del tanque de almacenamiento y distribución

$$V_{\text{tanque}} = 0,0203 \text{ m}^3/\text{s} * 600\text{s}$$

$$V_{\text{tanque}} = 12,2 \text{ m}^3$$

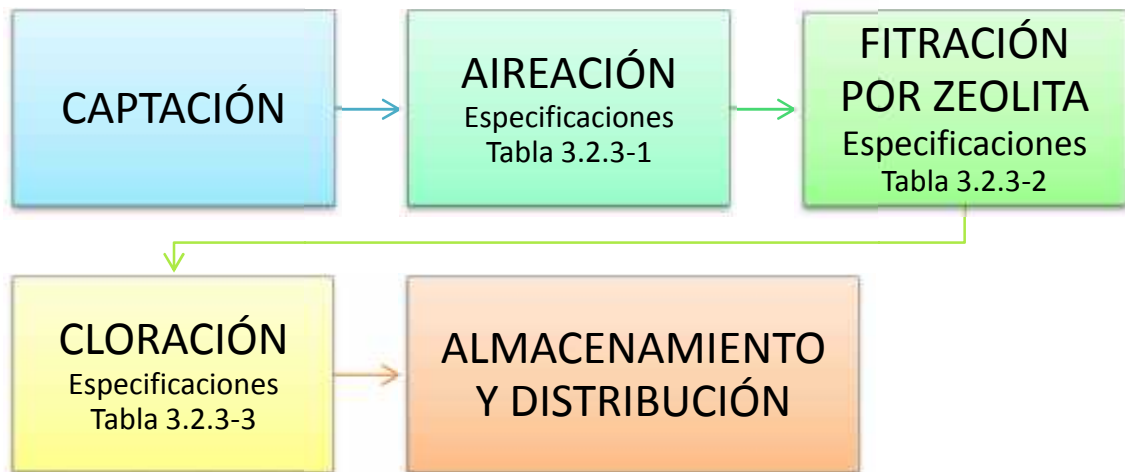
Se contara con 2 tanques cuyo volumen será el mismo es decir de 12,2 m<sup>3</sup>, de tal manera que cuando uno se llena el otro empieza a funcionar, hasta que el primero se descargue.

<sup>30</sup>Se adopta  $t_r = 10$  min para que el volumen calculado sea capaz de abastecer la dotación básica diaria de agua potable.

### 3.1.3. DIAGRAMA DEL PROCESO

Figura 3

Diagrama del proceso de tratamiento de agua potable



FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

### 3.2. RESULTADOS

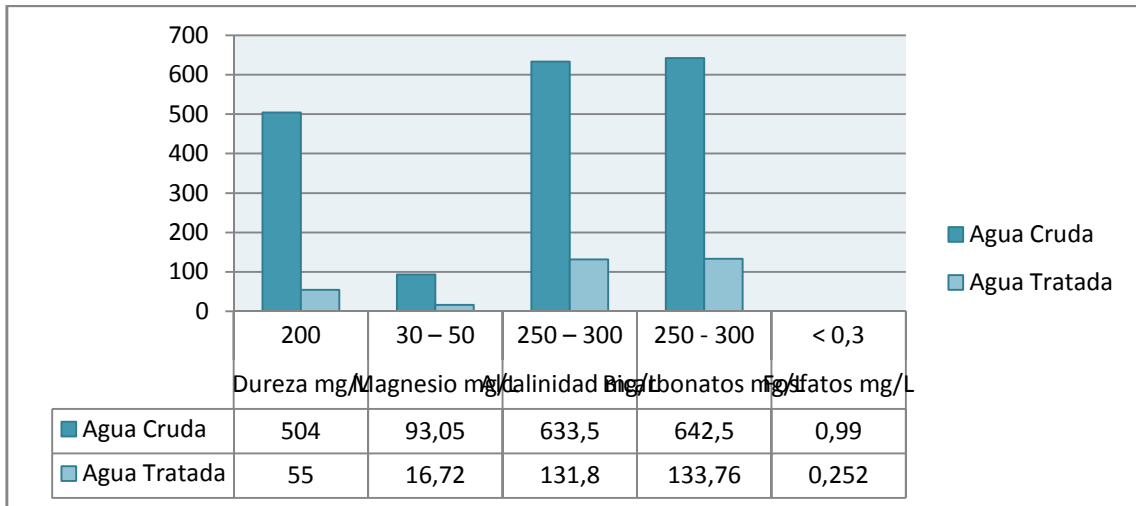
Tabla XXX Caracterización final del agua

| PARÁMETO          | LIMITE MÁXIMO | AGUA CRUDA | AGUA TRATADA |
|-------------------|---------------|------------|--------------|
| Dureza mg/L       | 200           | 504        | 55           |
| Magnesio mg/L     | 30 – 50       | 93,05      | 16,72        |
| Alcalinidad mg/L  | 250 – 300     | 633,5      | 131,8        |
| Bicarbonatos mg/L | 250 - 300     | 642,5      | 133,76       |
| Fosfatos mg/L     | <0,3          | 0,99       | 0,252        |

FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

Gráfico 5

## Caracterización final del agua



FUENTE: RUIZ, Clara, I. 2013

## 3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- a) Al finalizar las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio, y comparar los valores obtenidos en la caracterización final con aquellos de la caracterización inicial, de los 5 parámetros que no cumplían con lo estipulado en la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1108:2011, se constató que dichos valores fueron corregidos de manera satisfactoria, es decir que se logró que cumplan con lo estipulado en la norma antes mencionada, transformando el agua inicial cuyas características la hacían poco aceptable, en agua aceptable, una vez concluido el tratamiento aplicado.
- b) La corrección del valor de aquellos parámetros que no cumplen con la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1108:2011, se alcanza mediante el intercambio iónico para lo cual se utiliza un filtro cuyo lecho consta de zeolitas naturales, la activación del lecho se consigue mediante el lavado con solución de cloruro de sodio, a este proceso se lo denomina sodificación, de esta manera se logra eliminar los iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), que son los principales causantes de la dureza del agua, ya que esta sustancia tiene la



propiedad de absorber dichos elementos, debido a que sus bases son permutables. De esta manera, en el proceso del ablandamiento o rectificación, el sodio de la zeolita pasa a la solución en forma de carbonato, sulfato o cloruro, debido a que el calcio y magnesio del agua son absorbidos por la zeolita.

## **CAPÍTULO IV**

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- Se analizaron 20 parámetros, de los cuales 5 físicos – químicos, y 2 microbiológicos no cumplen con la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1108:2011, por tanto se puede determinar la calidad del agua como poco aceptable para el consumo humano.
- Tomando como referencia la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1108:2011 de los 18 parámetros analizados, 5 no cumplen y corresponden a: dureza 472 mg/L (máx. permisible 200 mg/L), magnesio 93,05 mg/L (máx. permisible 30 – 50 mg/L), alcalinidad 633,5 mg/L (máx. permisible 250 – 300 mg/L), bicarbonatos 642,5 mg/L (máx. permisible 250 – 300 mg/L), fosfatos 0,99 (máx. permisible < 0,3 mg/L).
- De los resultados de caracterización y de las pruebas de tratabilidad del agua de alimentación se procedió a realizar el diseño de ingeniería para el sistema de tratamiento el cual constara de las operaciones siguientes etapas: captación, aireación por bandejas, filtración por zeolitas, cloración, almacenamiento y distribución para usuarios.
- Una vez realizado la pruebas de tratabilidad y diseñado el sistema de tratamiento, se puede garantizar un agua de buena calidad y apta para el consumo humano, en base a los resultados de caracterización final, que al compararlos con los valores obtenidos en la caracterización inicial del agua de alimentación, indican una reducción, así tenemos dureza 55 mg/L (máx. permisible 200 mg/L), magnesio 16,72 mg/L (máx. permisible 30 – 50 mg/L), alcalinidad 131,8 mg/L (máx. permisible 250 – 300 mg/L), bicarbonatos 133,76 mg/L (máx. permisible 250 – 300 mg/L), fosfatos 0,252 (máx. permisible < 0,3 mg/L).

### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Aplicar el estudio realizado para así mejorar el sistema de tratamiento cambiando el sistema actual a un sistema de tipo convencional con mezcla

rápida para el uso de productos químicos floculantes, y procesos de floculación, sedimentación y filtración rápida para proveer a la población de la parroquia agua que cumpla con la norma de calidad establecida.

- Se debe hacer un plan de concienciación a la ciudadanía para enseñarle a usar de forma óptima el agua y así poder cuidar nuestro recurso natural más valorado que es el agua.
- Al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Isidro del cantón Guano, se recomienda continuar con la presente investigación, de tal manera que se llegue a la construcción e implementación del sistema de Potabilización, pues ello garantizara en la actualidad y a futuro la cantidad y calidad de agua de suministro para la población.
- Para la localización de la planta, se deberá realizar un estudio de impacto social, económico y ambiental, valorando aspectos tales como: facilidades de acceso, cercanías a la fuente de captación y distribución, topografía del área del proyecto entre otros

**BIBLIOGRAFÍA**

1. **APHA, AWWA, WPCF.**, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater., 17va Ed., España - Madrid: Diaz de Santos., 1992
2. **ARBOLEDA J.**, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3a.ed. Colombia – Bogotá: Mc. Graw Hill. 2000. Pp. 205- 234
3. **BRITO H.**, Fenómenos de Transporte I: Texto Básico. Ecuador– Riobamba, 2004. Pp. 62-67; 76-77.
4. **BRITO H.**, Operaciones Unitarias: Texto Básico. Ecuador– Riobamba, 2000. 33, 34, 35, 36 p.
5. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN).** Quito. Requisitos para el agua de Potable. 2a. ed. Ecuador– Quito: INEN 2011. Pp. 1-5. (INEN 1108:2011).
6. **GUERRERO R.**, Manual de tratamiento de aguas.,México D.F: Limusa, 2000. Pp. 1-10.

7. **PERRY R, GREEN, D.**, Manual del Ingeniero Químico de Perry. 7a. ed. Colombia– Bogotá: McGraw-Hill, 2001. V.1, Pp. 16-4, 16-5, 16-64, 16-65; V.2, Pp. 18-110, 18-111, 18-112, 18-113.
8. **ROMERO, J.**, Calidad del agua., 3ª ed., Colombia– Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., Pp. 273 – 302.
9. **WALTER J, WEBWER JR.**, Control de Calidad del Agua, Procesos Fisicoquímicos. Madrid – España: Reverte S.A., 1979. Pp. 60-71.

## **INTERNET**

### **1. AGUA POTABLE**

- [http://mimosa.pntic.mec.es/vgarc14/agua\\_potable.htm](http://mimosa.pntic.mec.es/vgarc14/agua_potable.htm)  
(2013-03-17)

### **2. ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEA**

- [http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2\\_TH/art1/pdf/ricardo.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art1/pdf/ricardo.pdf)  
(2013-03-18)

### **3. PROPIEDADES DEL AGUA**

- <http://platea.pntic.mec.es/~iali/personal/agua/agua/propieda.htm>  
(2013-03-18)

### **4. PROCESOS DE POTABILIZACIÓN**

- <http://neetescuela.com/proceso-de-potabilizacion-del-agua/>  
(2013-03-19)

### **5. CALIDAD DE AGUA**

- [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)

(2013-04-01)

**6. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

- <http://www.slideshare.net/lucasburchard/plantas-tratamiento-agua-potable>

(2013-04-10)

**7. ABLANDAMIENTO DE AGUA**

- [http://www.cadepimpianti.com/lang3/ablandamiento\\_del\\_agua.html](http://www.cadepimpianti.com/lang3/ablandamiento_del_agua.html)

(2013-05-10)

**8. ZEOLITAS**

- <http://www.lenntech.es/zeolitas-aplicaciones.htm>

(2013-05-23)

# **ANEXOS**



**ANEXO 1****NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE.****REQUISITOS****1. Objeto**

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo.

**2. Alcance**

Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento público y privado a través de redes de distribución y tanqueros.

**3. Definiciones**

Agua Potable. Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

Agua Cruda. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

Límite máximo permisible. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apto para el consumo humano.

UFC/ml. Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias

NMP. Forma la expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los Tubos múltiples.

µg/L. (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

mg/L. (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

Microorganismos patógenos. Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

Pesticidas. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar, insectos, hongos bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.

Desinfección. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedades que puede presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

Subproductos de desinfección. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

Radio Nucleido. Nucleidos radioactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico  $Z$  y másico  $A$ .

MBAS, ABS. Sustancias activas al azul de metileno; alquil benceno sulfonato.

Cloro residual. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

Dureza total. Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.

Sólidos totales disueltos. Fracción filtrante de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

#### **4. Requisitos.**

##### 4.1. Requisitos Específicos

4.1.1. El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

| PARÁMETRO                       | UNIDAD                            | Límite máximo | Permisible   |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| <b>Características físicas</b>  |                                   |               |              |
| Color                           | Unidades de color verdadero (UTC) |               | 15           |
| Turbiedad                       | NTU                               |               | 5            |
| Olor                            | --                                |               | no objetable |
| Sabor                           | --                                |               | no objetable |
| pH                              | --                                | 6,5 – 8,5     |              |
| Sólidos totales disueltos       | mg/l                              |               | 1000         |
| <b>Inorgánicos</b>              |                                   |               |              |
| Manganeso, Mn                   | mg/l                              |               | 0,1          |
| Hierro, Fe                      | mg/l                              |               | 0.3          |
| Sulfatos, SO <sub>4</sub>       | mg/l                              |               | 200          |
| Cloruros, Cl                    | mg/l                              |               | 250          |
| Nitratos, N – NO <sub>3</sub>   | mg/l                              |               | 10           |
| Nitritos, N – NO <sub>2</sub>   | mg/l                              |               | 0.0          |
| Dureza Total, CaCO <sub>3</sub> | mg/l                              |               | 300          |
| Arsénico, As                    | mg/l                              |               | 0.01         |
| Cadmio, Cd                      | mg/l                              |               | 0.003        |
| Cromo, Cr como hexavalente      | mg/l                              | 0.05          |              |
| Cobre, Cu                       | mg/l                              |               | 1.0          |
| Cianuros, CN                    | mg/l                              |               | 0.0          |
| Plomo, Pb                       | mg/l                              |               | 0.01         |
| Mercurio, Hg.                   | mg/l                              |               | 0.0          |
| Selenio, Se                     | mg/l                              |               | 0.01         |
| Cloro libre residual*           | mg/l                              |               | 0.3 – 1.5    |
| Aluminio, Al                    | mg/l                              |               | 0.25         |
| Amonio, (N – NH <sub>3</sub> )  | mg/l                              |               | 1.0          |
| Antimonio, Sb                   | mg/l                              |               | 0.005        |
| Bario, Ba                       | mg/l                              |               | 0.7          |
| Boro, B                         | mg/l                              |               | 0.3          |
| Cobalto, Co                     | mg/l                              |               | 0.20         |
| Estaño, Sn                      | mg/l                              |               | 0.1          |
| Fósforo, (P – PO <sub>4</sub> ) | mg/l                              |               | 0.1          |
| Litio, Li                       | mg/l                              |               | 0.2          |
| Molibdeno, Mo                   | mg/l                              |               | 0.07         |
| Níquel, Ni                      | mg/l                              |               | 0.02         |
| Plata, Ag                       | µg/l                              |               | 0.13         |
| Potasio, K                      | mg/l                              |               | 20           |
| Sodio, Na                       | mg/l                              |               | 200          |
| Vanadio, V                      | g/l                               |               | 6            |
| Zinc, Zn                        | mg/l                              |               | 3            |
| Flour, F                        | mg/l                              |               | 1.5          |
| <b>Radioactivos</b>             |                                   |               |              |
| Radiación Total **              | Bq/l                              |               | 0.1          |

Radiación Total \*\*\* Bq/l 1.0

\* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

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

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

|                         |                  |     |
|-------------------------|------------------|-----|
|                         | <b>Orgánicos</b> |     |
| Tensoactivos ABS (MBAS) | mg/l             | 0.0 |
| Fenoles                 | mg/l             | 0.0 |

**Sustancias Orgánicas**

Límite máximo µg/l

|  |      |
|--|------|
| Alcanos clorinados                           |      |
| - tetracloruro de carbono                    | 2    |
| - Diclorometano                              | 20   |
| - 1,2 dicloetano                             | 30   |
| - 1,1,1 – tricloetano                        | 2000 |
| Etanos clorinados                            |      |
| - Cloruro de vinilo                          | 5    |
| - 1,1 dicloroetano                           | 30   |
| - 1,2 dicloroetano                           | 50   |
| - tricloroetano                              | 70   |
| - Tetracloroetano                            | 40   |
| Hidrocarburos Aromáticos                     |      |
| - Benceno                                    | 10   |
| - Tolueno                                    | 170  |
| - Xileno                                     | 500  |
| - Etilbenceno                                | 200  |
| - Estireno                                   | 20   |
| Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)      | 0.3  |
| Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) |      |
| - benzo (a)pireno                            | 0.01 |
| - benzo (a)fluoranteno                       | 0.03 |
| - benzo (k)Fluoranteno                       | 0.03 |
| - benzo (ghi)pirileno                        | 0.03 |
| - indeno (1,2,3-cd)pireno                    | 0.03 |
| Bencenos clorinados                          |      |
| - monoclorobenceno                           | 300  |
| - 1,2-diclorobenceno                         | 1000 |
| - 1,3-diclorobenceno                         |      |

|   |                                     |     |
|---|-------------------------------------|-----|
| - | 1,4-diclorobenceno                  | 300 |
| - | triclorobenceno (total)             | 20  |
|   | di(2-etilhexil)adipato              | 80  |
|   | di(2-etilhexil) ftalato             | 8   |
|   | acrylamida                          | 0.5 |
|   | epiclorohidrin                      | 0.4 |
|   | hexaclorobutadieno                  | 0.6 |
|   | Ácido etilendiaminatetracético EDTA | 200 |
|   | Ácido nitrotriacético               | 200 |
|   | Dialquil                            |     |
|   | Oxido tributiltin                   | 2   |

**Pesticidas**

|  | Límite máximo | g/l |
|--|---------------|-----|
| Alaclor  |               | 20  |
| Aldicarb   | 10            |     |
| Aldrin/dieldrin  | 0.03          |     |
| Atrazina   | 2             |     |
| Bentazona  | 30            |     |
| Carbofuran   | 5             |     |
| Clordano   | 0.2           |     |
| Clorotoluron   | 30            |     |
| Diclorodifeniltricloroetano DDT                          | 2             |     |
| 1,2-dibromo-3-cloropropano                               | 1             |     |
| 2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D                     |               | 30  |
| 1,2- dicloropropano                                      | 20            |     |
| 1,3-dicloropropeno                                       | 20            |     |
| Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide         | 0.03          |     |
| Hexaclorobenceno   | 1             |     |
| Isoproturon  | 9             |     |
| Lindano  | 2             |     |
| Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA                  | 2             |     |
| Metoxycloro  | 10            |     |
| Molinato   | 6             |     |
| Pendimetalin   | 20            |     |
| Pentaclorofenol  | 9             |     |
| Permetrin  | 20            |     |
| Propanil   | 20            |     |
| Piridato   | 100           |     |
| Simazina   | 2             |     |
| Trifluralin  | 20            |     |
| Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB | 90            |     |
| Dicloroprop  | 100           |     |
| Fenoprop   | 9             |     |
| Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB                 | 2             |     |
| Mecoprop   | 10            |     |
| 2,4,5-T  | 9             |     |

**Residuos de Desinfectantes**

Límite máximo µg/l

|  |     |
|--|-----|
| Monocloramina, di y tricloramina           | 3   |
| Cloro                                      | 5   |
| <b><i>Subproductos de desinfección</i></b> |     |
| Límite máximo µg/l                         |     |
| Bromato                                    | 25  |
| Clorito                                    | 200 |
| Clorofenoles                               |     |
| - 2,4,6-triclorofenol                      | 200 |
| Formaldehído                               | 900 |
| Trihalometanos                             |     |
| - bromoformo                               | 100 |
| - diclorometano                            | 100 |
| - bromodiclorometano                       | 60  |
| - cloroformo                               | 200 |
| Ácidos acéticos clorinados                 |     |
| - ácido dicloroacético                     | 50  |
| - ácido tricloroacético                    | 100 |
| Hidrato clorado                            |     |
| - Tricloroacetaldeido                      | 10  |
| Cloroacetona                               |     |
| Acetonitrilos Halogenados                  |     |
| - Dicloroacetoneitrilo                     | 90  |
| - Dibromoacetoneitrilo                     | 100 |
| - Tricloroacetoneitrilo                    | 1   |
| Cianógeno clorado (como CN)                | 70  |

4.1.2. El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos bacteriológicos:

*Requisitos Bacteriológicos*

|   | <b>Máximo</b> |
|---|---------------|
| Coliformes totales (1) NMP/100 ml             | < 2*          |
| Coliformes fecales NMP/100 ml                 | < 2*          |
| Criptosporidium número de quistes//100 litros | ausencia      |
| GiardiaLambdia número de quistes/100 litros   | ausencia      |

\* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo

(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

## 4.2. Requisitos Complementarios

4.2.1 Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml

## **5. Inspección**

### **5.1. Muestreo**

5.1.1. El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods)

5.1.2. El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo a lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods).

### **6. Métodos de Ensayo**

6.1. Los Métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods) especificados en su última edición.

## ANEXO 2

## Ficha Técnica Zeolita

|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <p>Ficha Técnica</p> <p>Zeolita Natural <b>AQUA</b></p> |  |
|---|---|---|

| IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO |  |
|-----------------------------|--|
| Nombre del Producto         | Zeolita Natural AQUA   |
| Descripción del producto    | Zeolita natural tipo clinoptilolita, secado a 350 °C, triturado y clasificado. |
| Granulometrías disponibles  | U.s 1mm, 1.2mm, 2.5mm, 4.0mm, 8.0mm y 16.0mm.                                  |
| Nombre químico              | Aluminosilicato potásico cálcico sódico hidratado.                             |
| Numero CAS                  | 12113-10-3   |

| CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS |  |
|-------------------------------|--|
| Componente principal          | Clinoptilolita, 82-86% (Análisis DRX)                  |
| Otros componentes             | Feldespato, Illita, Cristobalita, y rastros de Cuarzo. |
| Color                         | Gris verdoso   |
| Densidad de la roca           | 2200 – 2440 kg/m <sup>3</sup>                          |
| Dureza MOHS                   | 3 – 3,5  |

| CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS          |   |
|--|---|
| Composición química                      | SiO <sub>2</sub> : 68,15 %<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 12,30 %<br>K <sub>2</sub> O : 2,00 %<br>CaO : 1,95 %<br>Na <sub>2</sub> O : 0,75 %<br>MgO : 0,90 %<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1,30 %<br>H <sub>2</sub> O : 0,20 % |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | Ca <sup>2+</sup> : 1,20 a 1,96 meq/g      NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 1,2 a 1,5 meq/g  |
| Porosidad                                | 24 – 32 %   |
| Superficie Específica (Método BET)       | 30 – 50 m <sup>2</sup> /g   |
| Estabilidad Térmica                      | < 450 °C  |
| Estabilidad Química (pH)                 | 1 < pH < 11   |
| Densidad Aparente                        | 0,50 – 0,04 g/cm <sup>3</sup> (según granulometría)   |

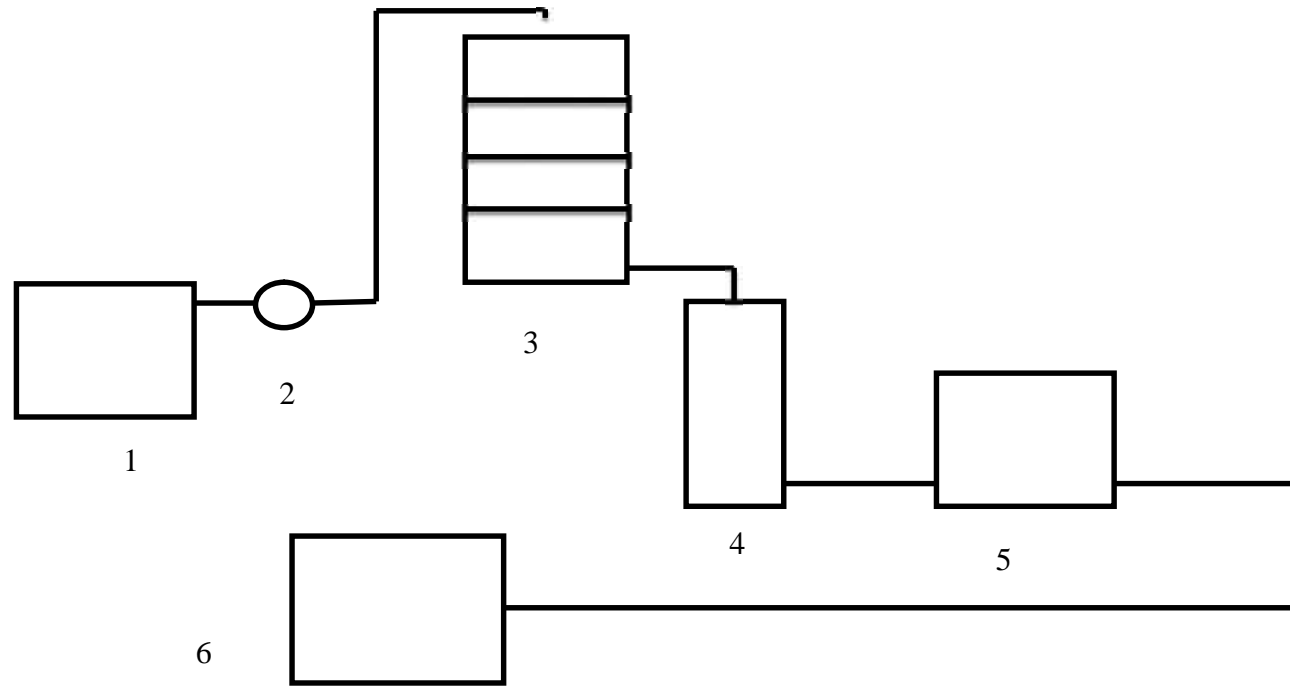
| Presentación del Producto |  |
|---------------------------|--|
| Tipos de Envase           | Sacos de papel de 25 kgs. Palets de 40 sacos (1000 kgs).<br>Bigbags de 1000kgs |

| Aplicaciones Recomendadas:  |  |
|---|--|
| Filtración de aguas de pluviales, estancadas, urbanas, piscicultura, aguas residuales.    |  |
| Tratamiento de aguas municipales o industriales, eliminación de amonio y metales pesados. |  |

|  |  |
|--|--|
| Zeocat Soluciones Ecológicas S.L.U.<br>C/Mosen Cinto Verdagué, 40<br>03460 Santa María de Palautordera<br>Barcelona, España. | Tel: (0034) 93 848 2554<br>Fax: (0034) 93 848 3838<br><a href="http://www.zeolitanatural.com">www.zeolitanatural.com</a><br><a href="http://www.zeocat.es">www.zeocat.es</a> |
|--|--|



**ANEXO 3**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA**



|       |   |   |   |                        |            |       |
|-------|---|---|---|------------------------|------------|-------|
| NOTAS | INFORMACIÓN   |   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERÍA<br>QUÍMICA<br>CLARA RUIZ | ABLANDADOR Y TANQUE DE |            |       |
|       | <input type="checkbox"/> Certificado<br><input type="checkbox"/> Correc. Certificado<br><input type="checkbox"/> Para Información | <input type="checkbox"/> Para Calificación<br><input type="checkbox"/> Para Revisión<br><input type="checkbox"/> Preliminar |   | LÁMINA                 | ESCALA     | FECHA |
|       |   |   | 1/2   | A4                     | 03/06/2013 |       |

**ANEXO 4**  
**PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO**



| NOTAS | INFORMACIÓN                                  |  | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERÍA<br>QUÍMICA<br><br>CLARA RUIZ | ABLANDADOR Y TANQUE DE |        |            |
|-------|--|--|---|------------------------|--------|------------|
|       | <input type="checkbox"/> Certificado         | <input type="checkbox"/> Para Calificación |   | LÁMINA                 | ESCALA | FECHA      |
|       | <input type="checkbox"/> Correc. Certificado | <input type="checkbox"/> Para Revisión     |   |                        |        |            |
|       | <input type="checkbox"/> Para Información    | <input type="checkbox"/> Preliminar        |   | 2/2                    | A4     | 03/06/2013 |