



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE  
CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS”**

**CHAUCACHICAIZA ALEX FERNANDO  
OROZCO CANTOS LENIN SANTIAGO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Marzo, 15 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**CHAUCA CHICAIZA ALEX FERNANDO**

---

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA  
LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Lema M.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Rodrigo Díaz  
ASESOR DE TESIS

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CHAUCA CHICAIZA ALEX FERNANDO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS”

**Fecha de Exanimación:** Marzo, 15 de 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Geovanny Novillo A. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Jorge Lema M. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Rodrigo Díaz (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Marzo, 15 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**OROZCO CANTOS LENIN SANTIAGO**

---

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA  
LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Lema M.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Rodrigo Díaz  
ASESOR DE TESIS

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** OROZCO CANTOS LENIN SANTIAGO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS”

**Fecha de Exanimación:** Marzo, 15 de 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Geovanny Novillo A. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Jorge Lema M. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Rodrigo Díaz (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**f) Alex Fernando Chauca Chicaiza**

---

**f) Lenin Santiago Orozco Cantos**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, por su competente instrucción académica y ética

Al Ing. Jorge Lema, en calidad de director de tesis, que con mística característica guió la elaboración de los tópicos.

Al Departamento Técnico EMAPAREP, al Ing. Víctor Méndez en calidad de Director, a la Ing. Mónica Bayas y Dra. Sandra Escobar laboratoristas, que con su aporte profesional y humano dotaron de valiosa información a este trabajo.

A los ingenieros Edgar Asqui y Aníbal Armijos, personal directivo del Dpto. de Obras para el Sector Rural del MIDUVI, por su asesoría y apoyo en la investigación de la temática planteada.

A la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado de la Comunidad San Vicente, en especial a su presidente, Sr. José Moyón, por su confianza y ser un nexo para el financiamiento de los equipos.

**Alex Chauca Chicaiza**

**Lenin Orozco Cantos**

## **DEDICATORIA**

A Dios por la protección y las bendiciones recibidas en mi vida.

A mis padres: José y Olga por su apoyo incondicional para alcanzar una de mis metas, a mis hermanos José Luis, Alexandra y Carla que siempre han estado pendientes de mí.

A mis tíos, amigos y amigas que han demostrado su desinteresado aporte hacia conmigo.

**Alex Chauca Chicaiza**

Dedico este trabajo a mi madre, pilar de mi crecimiento. A mi tío Galo, que ha sido desde siempre un mentor.

A mi pequeño sobrino Jair, una fuente de inspiración, quien en su futuro arraigue con firmeza la dedicación y tenacidad.

**Lenin Orozco Cantos**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Situación del problema .....	2
1.3 Justificación social, técnica y económica. ....	2
1.3.1 <i>Justificación social</i> .. .....	2
1.3.2 <i>Justificación técnica</i> .....	3
1.3.3 <i>Justificación económica</i> .....	3
1.4 Objetivos: .....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .. .....	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1 Agua y desinfección.....	5
2.2 Enfermedades de origen hídrico. ....	6
2.3 Efectos en la salud. ....	6
2.4 Desinfección del agua .....	7
2.4.1 <i>Medios para desinfectar el agua</i> . ....	7
2.5 Teoría de la desinfección. ....	8
2.6 Desinfectantes del agua.....	10
2.6.1 <i>El cloro</i> .....	10
2.6.2 <i>Yodo</i> .....	12
2.6.3 <i>Bromo</i> .....	13
2.6.4 <i>Plata</i> .....	13
2.6.5 <i>Radiación ultravioleta</i> .....	13
2.6.6 <i>Ozono</i> .....	13
2.6.7 <i>Dióxido de cloro</i> .....	14
2.7 La cloración.....	14
2.7.1 <i>Química de la Cloración</i> .....	15
2.7.2 <i>Curva de demanda de cloro</i> . ....	17
2.7.3 <i>Parámetros técnicos que influyen en la eficiencia de la desinfección</i> .....	19
2.7.4 <i>Interferencias en la cloración</i> .....	19
2.7.5 <i>Subproductos de la Cloración</i> .....	20
<b>3. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA EL SECTOR RURAL</b> .....	22
3.1 Sistema de suministro de agua para el sector rural.....	22

3.2	Partes del sistema.....	22
3.2.1	<i>Captaciones</i> .....	22
3.2.2	<i>Conducción</i> .....	24
3.2.3	<i>Desarenador</i> .....	24
3.2.4	<i>Tratamiento</i> .....	25
3.2.5	<i>Reserva</i> .....	25
3.3	Evaluación hidráulica .....	26
3.3.1	<i>Bases de diseño</i> .....	27
3.3.2	<i>Comparación de datos</i> .....	34
3.3.3	<i>Determinación del diámetro de la tubería</i> .....	35
3.4	Red de distribución del agua potable en la comunidad .....	53
<b>4.</b>	<b>SISTEMA ACTUAL DE DOSIFICACIÓN DE CLORO</b> .....	<b>57</b>
4.1	Breve reseña del sistema actual de dosificación de cloro .....	57
4.2	Descripción de partes y funcionamiento.....	57
4.2.1	<i>Tanque de mezclado</i> .....	58
4.2.2	<i>Toma de agua para la mezcla</i> .....	58
4.2.3	<i>Conducción de la mezcla y válvula de dosificación</i> .....	59
4.3	Problemas en el funcionamiento .....	59
4.3.1	<i>Inexistencia del flotador</i> .....	60
4.3.2	<i>Inadecuada preparación de la solución de hipoclorito de calcio</i> .....	60
4.3.3	<i>Incorrecta dosificación de la solución de hipoclorito de calcio</i> .....	62
4.3.4	<i>Sistema inexacto y generalista.</i> .....	63
4.3.5	<i>Falta de monitoreo de cloro residual</i> .....	64
4.4	Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua y monitoreo de cloro residual. ....	64
4.4.1	<i>Análisis fisicoquímico y microbiológico</i> .....	65
4.4.2	<i>Monitoreo del cloro residual</i> .....	66
<b>5.</b>	<b>TIPOS DE DOSIFICADORES Y DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN</b> .....	<b>73</b>
5.1	Antecedentes .....	73
5.2	Tipos de dosificadores .....	73
5.2.1	<i>Sistema de dosificación de cloro en pastillas</i> .....	73
5.2.2	<i>Sistema de dosificación utilizando un Vénturi</i> .....	75
5.2.3	<i>Sistema automatizado de hipoclorito de calcio</i> .....	76
5.2.4	<i>Sistema automatizado de cloro gaseoso</i> .....	77
5.2.5	<i>Equipo automático de purificación de agua</i> .....	78
5.3	Evaluación de las alternativas propuestas .....	80

5.4	Selección de la alternativa de solución .....	81
5.5	Análisis y dimensionamiento de solución.....	83
5.5.1	<i>Dimensionamiento del sistema de solución.</i> .....	83
<b>6.</b>	<b>TECNOLOGÍA DE INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN</b> .....	<b>97</b>
6.1	Diagramas P&ID y diagramas eléctricos. ....	97
6.1.1	<i>Identificación del instrumento</i> .....	97
6.1.2	<i>Diagrama eléctrico.</i> .....	102
6.1.3	<i>Sistema de control.</i> .....	102
6.1.4	<i>Instalación de la válvula automática (SUPERIOR AutoValve Series 2000).</i> ..	110
6.1.5	<i>Instalación del analizador de cloro libre (WaterQualityAnalyzer WG-602).</i> ..	116
6.2	Programa sinóptico de instalación del sistema.....	118
6.2.1	<i>Instalación de la bomba de apoyo</i> .....	118
6.2.2	<i>Instalación del eyector</i> .....	120
6.2.3	<i>Prueba del eyector</i> .....	120
6.2.4	<i>Instalación del regulador de vacío (cilindros de 68 kg.)</i> .....	121
6.2.5	<i>Conexión de las líneas de vacío, y la de venteo al exterior.</i> .....	122
6.2.6	<i>Conexión del cambiador automático de cilindros y/o rotámetro remoto</i> .....	123
<b>7.</b>	<b>FASE EXPERIMENTAL Y MANTENIMIENTO</b> .....	<b>124</b>
7.1	Puesta en marcha del sistema manual.....	124
7.1.1	Determinación experimental de la demanda real de cloro de la comunidad... 124	
7.2	<i>Comparación del funcionamiento antes y después de la implementación del sistema automatizado</i> .....	125
7.3	Operación y mantenimiento .....	126
7.3.1	<i>Manual de operación</i> .....	127
7.4	Prueba del vacío del sistema clorador.....	140
7.5	Empezar la cloración .....	141
7.5.1	<i>Manual de mantenimiento</i> .....	141
7.5.2	<i>Problemas y soluciones</i> .....	143
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS FINANCIERO</b> .....	<b>146</b>
8.1	Generalidades .....	146
8.2	Costos directos .....	146
8.2.1	<i>Costos de materiales y equipos adquiridos</i> .....	146
8.2.2	<i>Costos de mano de obra</i> .....	146
8.2.3	<i>Costos por herramientas</i> .....	147
8.2.4	<i>Costos de transporte</i> .....	148
8.3	Costos indirectos .....	149

8.3.1	<i>Costo ingenieril.</i>	149
8.3.2	<i>Utilidad</i>	149
8.3.3	<i>Imprevistos.</i>	149
8.4	Costos totales del sistema	149
8.5	Estudio socio-económico y determinación del T.I.R.	150
8.5.1	<i>Flujo de caja cloro gas para una tarifa de 0,1 \$/m<sup>3</sup>, valor actual.</i>	153
8.5.2	<i>Flujo de caja para una tarifa de 0,15 \$/m<sup>3</sup> y 1,5 \$ el básico.</i>	155
8.5.3	<i>Flujo de caja proyectado para 5 años</i>	157
8.5.4	<i>Determinación del Valor Actual Neto (V.A.N).</i>	158
8.5.5	<i>Tasa Interna de Retorno o Retorno de la inversión (T.I.R).</i>	158
8.5.6	<i>Período de recuperación de la inversión</i>	159
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>161</b>
9.1	Conclusiones	161
9.2	Recomendaciones	166

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **LINKOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables .....	7
2	Formas comerciales del cloro.....	12
3	Efectividad bactericida de residuales de cloro .....	17
4	Parámetros técnicos que influyen en la eficiencia de la desinfección .....	19
5	Tasas de crecimiento poblacional.....	28
6	Nivel de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.....	29
7	Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistema de abastecimiento de agua.....	30
8	Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio. ....	30
9	Consumo mensual de agua comunidad San Vicente de Lacas año 2010-2011	30
10	Parámetros y valores de diseño, obra actual y evaluada según Norma 10.7-602 .....	35
11	Cotas de los rompe presiones. ....	36
12	Resultados del tramo 1.....	38
13	Resultados del tramo 2.....	39
14	Resultados del tramo 2.....	39
15	Resultados del tramo 4.....	40
16	Resultados del tramo 5.....	41
17	Diámetros calculados y seleccionados para el transporte de agua. ....	41
18	Valores de k para hallar la celeridad.....	43
19	Valores de celeridad para los distintos tramos de tubería.....	44
20	Condiciones para cierre lento o cierre rápido.....	48
21	Verificación mediante la presión de trabajo de la tubería seleccionada. ....	50
22	Comparación de los puntos propuestos y puntos actuales, cambio de material de tubería para el tramo 5.....	50
23	Catálogo de selección de diámetros de tubería .....	52
24	Tipos de tuberías para los distintos tramos de conducción.....	52
25	Comparación tubería actual y propuesta por evaluación hidráulica. ....	54
26	Cálculo del hipoclorito de calcio, según método del estimado .....	61
27	Ventajas y desventajas de las alternativas de solución. ....	80
28	Datos para la selección del clorinador operado por vacío .....	86
29	Resultados de la capacidad del clorinador. ....	86
30	Selección de la capacidad del clorinador. ....	86
31	Características de las tuberías de conexión.....	87
32	Datos para la selección de la bomba de refuerzo .....	88
33	Datos de la bomba de refuerzo .....	94
34	Selección de bomba sumergible .....	96
35	Apertura de la válvula para diferentes lecturas con una pb=10% .....	108

36	Tiempo de recorrido LAGFIX .....	115
37	Programa sinóptico de instalación del sistema.....	119
38	Determinación de la demanda real de cloro.....	125
39	Comparación de funcionamiento antes y después de la implementación del sistema automatizado.....	126
40	Porcentajes de comparación de funcionamiento de los sistemas .....	126
41	Pares de torsión para los equipos cloradores.....	133
42	Componentes del panel de control.....	134
43	Costos de mano de obra .....	146
44	Costos de materiales y equipos adquiridos .....	147
45	Costos horarios de herramientas.....	148
46	Costos de transporte.....	148
47	Costos total directo .....	148
48	Costos total indirecto .....	149
49	Costo total del sistema .....	149
50	Cantidad de cloro requerida .....	150
51	Costo del envase del cilindro de cloro gaseoso y hora hombre .....	151
52	Costo del consumo de cloro requerido .....	151
53	Ingreso mensual con diferentes tarifas.....	151
54	Datos para la depreciación .....	152
55	Depreciación del sistema .....	153
56	Flujo de caja de la JAAPA de San Vicente de Lacas con 0,10 \$/m <sup>3</sup> .....	154
57	Flujo de caja de la JAAPA de San Vicente de Lacas con 0,15 \$/m <sup>3</sup> .....	156
58	Proyección del flujo de caja .....	157
59	V.A.N. del proyecto.....	158
60	T.I.R. del proyecto .....	159
61	Período de recuperación de la inversión .....	159

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

1	Evolución de la cantidad de cloro residual. ....	18
2	Captación de río Paylahuaico hacia caja reguladora de caudal.....	23
3	Cámara de captación de vertientes de Paylahuaico .....	23
4	Sedimentador.....	24
5	Tanque de reserva de la comunidad San Vicente de Lacas .....	26
6	Esquema de un sistema hidráulico por gravedad .....	26
7	Medidor de agua potable de turbina .....	31
8	Esquema conducción de agua por gravedad .....	37
9	Líneas de presiones para un sistema de conducción por gravedad .....	47
10	Esquema Tramo 5 instalación actual de la tubería .....	51
11	Esquema Tramo 5, puntos propuestos de cambio de material de tubería .....	51
12	Croquis tubería para la red de distribución de agua San Vicente de Lacas .....	55
13	Sectores de la red de distribución San Vicente de Lacas.....	55
14	Redes para monitoreo de cloro residual.....	56
15	Esquema de dosificación, desinfección actual San Vicente de Lacas .....	57
16	Tanque para mezclado, desinfección actual San Vicente de Lacas.....	58
17	Toma de agua para la mezcla, desinfección actual San Vicente de Lacas .....	58
18	Conducción de la mezcla y válvula de dosificación, desinfección actual San Vicente de Lacas.....	59
19	Esquema de flotador, SSA .....	60
20	Sedimentación de hipoclorito de calcio. Desinfección actual en San Vicente ..	62
21	Incorrecta dosificación de la solución de hipoclorito de calcio, desinfección actual San Vicente de Lacas.....	63
22	Esquema de sectores para valores de monitoreo de cloro residual .....	67
23	Colorímetro de ortotolidina.....	69
24	Procedimiento para toma de muestra.....	71
25	Monitoreo colorímetro digital HACH .....	71
26	Tipos de dosificadores de cloro en pastillas .....	74
27	Clorador en línea .....	75
28	Inyector o Vénturi .....	75
29	Sistema de cloración utilizando un Vénturi .....	76
30	Sistema automatizado de hipoclorito de calcio .....	77
31	Sistema automatizado de cloro gaseoso.....	78
32	Equipo automático de purificación de agua .....	79
33	Equipo clorinador operado por vacío .....	83
34	Bomba de refuerzo.....	88
35	Curvas características para la selección de la bomba de refuerzo .....	93
36	Analizador de cloro residual. ....	95
37	Válvula automática y controlador de cloro gas.....	95
38	Bomba sumergible para muestreo .....	96

39	Letras y números para etiquetas .....	98
40	Identificación de instrumentos .....	98
41	Símbolos generales 99	
42	Símbolos NORMA ISA S 5.3 .....	100
43	Diagrama P&ID del sistema automatizado de cloración de San Vicente de Lacas .....	101
44	Diagrama eléctrico.....	102
45	Control retroalimentado, sistema de control de lazo cerrado.....	104
46	Diagrama del sistema controlado .....	104
47	Comportamiento de un control proporcional .....	107
48	Comportamiento de un control ON/OFF .....	109
49	SUPERIOR AutoValve Series 2000.....	111
50	Pantalla principal, controlador .....	113
51	Menú de programación .....	113
52	RES DP .....	114
53	GAS TYPE .....	114
54	P (GAIN) .....	115
55	LAGFIX .....	115
56	DEAD BAND .....	116
57	Instalación de la bomba de apoyo .....	118
58	Instalación del eyector .....	120
59	Instalación del regulador de vacío .....	121
60	Conexión de las líneas de vacío y venteo .....	122
61	Conexión del conmutador automático y del rotámetro remoto.....	123
62	Esquema de inyección de cloro con conmutador automático[18].....	128
63	Símbolo del cloro según la NFPA .....	129
64	Instalación del clorinador.....	132
65	Analizador de cloro libre.....	134
66	Válvula automática y analizador de cloro libre.....	136
67	Rotámetro remoto .....	138
68	Bomba de apoyo .....	139
69	Proyección del flujo de caja .....	157
70	Control proporcional .....	164

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>USEPA</b>	United State Environmental Protection Agency
<b>DBP</b>	Disinfection by products
<b>CIIC</b>	Centro Internacional de Investigaciones de Cáncer
<b>JAAP</b>	Junta Administradora de Agua Potable
<b>CNRH</b>	Consejo Nacional de Recursos Hídricos
<b>f'c</b>	Esfuerzo permisible del concreto sometido a compresión
<b>IEOS</b>	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
<b>MIDUVI</b>	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la salud
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>OTA</b>	Organic Trade Association
<b>BPD</b>	Dynamic Peer Detection

## LISTA DE ANEXOS

- A** Implantación y corte de la captación
- B** Desimentador
- C** Esquema general
- D** Plantación de los filtros y la reserva
- E** Detalle filtro lento doble
- F** Tanque de reserva de 100 m<sup>3</sup>
- G** Esquema conducción de agua San Vicente de Lacas
- H** Detalles válvulas y tanque R.R (Rompe presión)
- I** Resultados de exámenes físico-químico y microbiológico del agua EMAPAR.
- J** Catálogo tubería Rival
- K** Catálogo COVAL
- L** Resultados de análisis de cloro residual
- M** Fotos del sistema automatizado de cloración

## RESUMEN

Se ha implementado un sistema automático de dosificación de cloro para la comunidad San Vicente de Lacas-Riobamba, donde no se disponía de una adecuada cloración, con la finalidad de asegurar permanentemente la potabilidad del agua. Adicional a esto, se realiza una evaluación del sistema hidráulico que garantice el período de diseño en cuanto a su caudal y dimensiones de tubería.

Previo a seleccionar un mecanismo de desinfección eficaz que reemplace el obsoleto sistema original, se realizó un monitoreo de los niveles de cloro residual en las redes del sector por un período de 2 meses, basados en la Norma INEN 1108 y el apoyo del departamento Técnico de EMAPAR. Mientras que el dimensionamiento de las tuberías de conducción de agua, se apega a la Norma CO 10.7-602 del Código ecuatoriano para el diseño de la Construcción de Obras Sanitarias.

Con los resultados obtenidos, se evidencia que la alternativa más confiable es la automatización del proceso de cloración. Un sistema capaz de analizar constantemente los niveles de cloro libre con sensores amperométricos y en dependencia de este valor provea la cantidad necesaria de desinfectante a través de una válvula que responde un controlador. El Sistema de Control de lazo cerrado de función proporcional es la opción que mejor se ajusta al comprender el comportamiento que demanda una red de distribución con agua clorada. La parte mecánica del conjunto trabaja con una bomba que impulsa la línea de solución desinfectante, donde se inyecta el cloro gaseoso por la succión generada en un Vénturi, la alimentación del gas proviene de dos cilindros de 68 kg enlazados por una válvula selectora de circuito. En tanto que la evaluación hidráulica demuestra la selección de material y dimensión de la tubería para los diferentes tramos de la conducción.

Con la implementación de este sistema se alcanza independencia de un operador para la dosificación, y niveles de cloro libre en las redes de distribución entre 1.1 ppm y 0.5 ppm. Valores aceptados por la Norma INEN 1108.

Se recomienda la capacitación adecuada del personal que manipule los equipos dentro de la comunidad, quienes conciban el criterio de salud preventiva con agua de calidad.

## **ABSTRACT**

An automatic System of Chlorine Dosage has been implemented for the San Vicente de Lacas-Riobamba Community where there was not where was not any chlorine provision, to secure permanently the water potability. Moreover a hydraulic system evaluation guaranteeing the design period as to caudal and piping dimensions is carried out. Before selecting an efficient disinfection device replacing the original obsolete system a monitoring of the residual chlorine levels was carried out in the sector network for a period of two months based on the INEN 1108 Norm and the support of the Technical Department of EMAPAR, while the water conduction piping measurements are according to the CO 10.7-602 Norm of the Ecuadorian Code for design of Sanitary Works Construction. With the results it is evident that the most reliable alternative is the chlorine process automation. This is a system capable of constantly analyzing the free chlorine levels with amperometric sensors and based on these values providing the necessary disinfectant quantity through a valve which responds to a controller. The Control System of the close link of proportional function is the best option which fits in with understanding the behavior required by a chlorine water distribution network. The conjunct mechanical part works with a pump which propels the disinfectant solution line where the gas chlorine is injected through suction generated in a Venturi; the gas feeding comes from the 68-kg cylinders linked by a selecting circuit valve. On the other hand the hydraulic evaluation shows the material selection and piping dimension for the different conduction parts. With the implementation of this system independence of an operator is reached of dosage and the free chlorine levels in the distribution network between 1.1 ppm and 0.5 ppm, values accepted by the INEN 1108 Norm. It is recommended to train the personnel handling the equipment within the community who will understand the preventive health with water quality.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

La Comunidad San Vicente de Lacas a 2850 m.s.n.m., pertenece al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Los habitantes tienen como ocupación principal la agricultura, comercializan productos agrícolas y un número alto son jornaleros de la construcción.

Años atrás la comunidad se abastecía de agua potable dotada por el Municipio de Riobamba pero por la carencia del líquido vital surge la necesidad de buscar una solución para este inconveniente; es así que en el año 2001 se toma la decisión de realizar el proyecto del sistema de agua potable para la comunidad, en tal virtud el mismo año LA AGENCIA DE AGUAS DE RIOBAMBA DEL CONSEJO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, ADMINISTRANDO JUSTICIA EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA Y POR AUTORIDAD DE LA LEY, resuelve: En el Proceso # 3739-2001, conceder al directorio de aguas de la comunidad San Vicente de Lacas, el aprovechamiento del agua proveniente de las vertientes determinadas como 1, 2, 3 de la quebrada Pailaguayco en un tramo de 150 metros comprendido entre cotas 3060 y 3070 m.s.n.m. y de los remanentes que produce bajo la carretera y el canal de riego Quimiag en esa misma quebrada, el caudal de 3,54 l/seg para que lo destinen a uso doméstico de unos 1540 habitantes y abrevaderos de animales, en concesión a plazo indefinido y exentos de pago por razones de Ley.

En marzo del 2006 entra en funcionamiento el sistema de agua potable, el mismo que está conformado por la captación, un sedimentador ubicados en las vertientes, y la planta de tratamiento situada en la comunidad San Vicente de Lacas; esta a su vez está constituida por un filtro de arena lento y el tanque de distribución; lugar en el que se realizaba la cloración por goteo considerando un caudal de ingreso de agua constante sin tomar en cuenta la variación de las condiciones climáticas que influyen drásticamente en las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua y por lo tanto en la calidad de la misma.

En el transcurso del tiempo los beneficiarios del sistema han sentido el deficiente control que existe en la dosificación de cloro ya sea por déficit ó por el exceso de la solución de hipoclorito de calcio existente al momento de desinfectar el agua; es por ello que se hace necesario la existencia de un sistema automatizado para la dosificación de cloro, el mismo que garantice la calidad del agua y por lo tanto mejore las condiciones de vida de los moradores de la comunidad.

## **1.2 Situación del problema**

En todos los proyectos de agua potable del sector rural, para su tratamiento se utiliza como desinfectante el hipoclorito de calcio sea este granulado o en pastillas; es decir el sistema es dependiente del operador y un deficiente control al momento de realizar este proceso conlleva a que los consumidores del líquido vital tiendan a sufrir alguna enfermedad resultado de ingerir agua que no cumpla con las condiciones necesarias para el consumo humano.

En San Vicente de Lacas el problema que se ha podido evidenciar es variabilidad de la calidad de agua a lo largo del año, debido a factores climáticos, como la lluvia principalmente que al producirse el lavado de las laderas ocasiona un cambio en la cantidad de microorganismos y materia orgánica presentes; así como también la época de sequías. Estos inconvenientes tienen como consecuencia la existencia de un déficit ó un exceso de cloro residual en el tanque de repartición y por lo tanto en las tuberías de distribución, puesto que en la dosificación que se realiza actualmente no se toma en cuenta este parámetro y solo se lo hace empíricamente considerando un caudal de ingreso constante.

## **1.3 Justificación social, técnica y económica**

El proyecto *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS* presenta los siguientes justificativos:

**1.3.1 Justificación social.** Mediante el desarrollo de este proyecto se pretende alcanzar el buen vivir de las y los moradores del sector. El mismo que surge debido a la problemática actual presente en la comunidad “San Vicente de Lacas” en tema de

cloración por la variación de la calidad y cantidad de agua debido a cambios climáticos a lo largo del año, y se fortalece con el apoyo de los dirigentes de la misma, basados en el reglamento que la rige, el cual promueve el mejoramiento del sistema para garantizar un buen servicio, asegurar la salud y mejorar de esta manera el nivel de vida de los habitantes.

**1.3.2** *Justificación técnica.* Conociendo el riesgo que conlleva el consumir agua con un déficit de cloro por los moradores de la Comunidad, hecho que ha sido evidenciado por cierto porcentaje de los mismos y comprobado mediante exámenes realizados por personal de la EMAPAR-EP (anexo A); es de vital importancia trabajar en la prevención del brote de posibles enfermedades producto de los parásitos existentes en el agua, objetivo que se puede conseguir con un estricto control al momento de la dosificación el cloro. Cabe mencionar que si la dosis de desinfectante ni siquiera ha cubierto la demanda de cloro del agua se presentan sustancias tóxicas como cloraminas con elevado potencial cancerígeno.

En el caso contrario, cuando exista un exceso de cloro, las molestias que se pueden apreciar inmediatamente es el desagradable olor y sabor del líquido; a más de presentarse un problema aún mayor que es la aparición de subproductos de la cloración formando sustancias cancerígenas principalmente trihalometanos.

Con el planteamiento y desarrollo de este sistema será posible proporcionar un adecuado control al momento de la dosificación de cloro gaseoso durante todo el proceso de desinfección así como también disminuir totalmente el desperdicio del producto, garantizando de esta manera trabajar siempre dentro de los estándares indicados en la Norma INEN 1108.

**1.3.3** *Justificación económica.* La implementación de este sistema promueve la salud preventiva mejorando la calidad de vida de los moradores, aportando directamente en la productividad de las personas en su campo ocupacional; además garantiza el ahorro sustancial por gasto de medicamentos debido a enfermedades parasitarias. De esta manera la comunidad logra dar un paso hacia adelante haciendo buen uso de la tecnología existente actualmente en tratamiento de agua potable; dejando de utilizar métodos convencionales y referenciales de cloración que se han realizado desde el inicio de funcionamiento de la red de agua, los cuales no brindan una alta confiabilidad.

## **1.4 Objetivos**

**1.4.1** *Objetivo general.* Diseñar e implementar un sistema automatizado para la dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable en la comunidad San Vicente de Lacas.

### **1.4.2** *Objetivos específicos*

- Describir y evaluar el sistema de conducción de suministro de agua.
- Evaluar el sistema actual de dosificación de hipoclorito de calcio.
- Plantear alternativas de sistemas de dosificación de cloro para desinfección de agua y seleccionar la mejor propuesta
- Diseñar, seleccionar e implementar el nuevo sistema de cloración

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Agua y desinfección**

El agua es una sustancia esencial para la supervivencia de todo ser vivo ya que hidrata y además constituye un aporte de sales minerales que regulan el buen funcionamiento del organismo. Sin embargo, ésta también es, junto con el aire, uno de los mayores vectores de transmisión de enfermedades y agentes patógenos por lo cual es de suma importancia un control exhaustivo así como un correcto y adecuado tratamiento de desinfección que elimine cualquier tipo de riesgo asociado a la ingesta de agua. [1]

La desinfección del agua para consumo humano, constituye el proceso primordial en la entrega del líquido vital de buena calidad a una población y no es otra cosa que la destrucción de microorganismos patógenos que causan enfermedades, la misma que se la puede hacer mediante diversos medios físicos o químicos.

Existen varios métodos para la potabilización del agua pero el más habitual es la cloración ya que se consigue una correcta desinfección a partir de determinadas concentraciones de cloro libre en un tiempo de contacto determinado.

Por lo general, en el sector rural el tratamiento más utilizado pero no adecuado para la desinfección del agua es la utilización del hipoclorito de calcio; es decir la dosificación se realiza de forma manual y depende en gran medida de la experiencia y el método que emplee el operador. Existe un proceso mucho más confiable y efectivo que consiste en un sistema automático de dosificación, medición y control de cloro libre en un depósito de tratamiento.

De esta forma, se establecerá como consigna un valor adecuado de cloro libre en el depósito que se mantendrá estable en el tiempo mediante medición del equipo.

## **2.2 Enfermedades de origen hídrico**

Hoy en día el control de las enfermedades transmitidas producto de ingerir agua contaminada por gérmenes muy virulentos, como son los del cólera, las fiebres tifoideas o la hepatitis vírica es evidente y los riesgos epidemiológicos relacionados con ésta causa un gran impacto.

En 1854; los señores Snow y York determinaron que el agua contaminada era la causa principal que produjo el deceso de miles de personas en Londres con la epidemia conocida como cólera. En 1991 surgió nuevamente la epidemia de cólera que se extendió a 21 países, ocasionando 1 207 000 casos hasta 1997.

A nivel mundial, la falta de servicio de drenaje y agua potable son la causa de más de 12 millones de defunciones por año. Más de 1200 millones de personas están en riesgo porque carecen de acceso a agua dulce salubre. Las principales enfermedades transmitidas por el agua causan la muerte de 3 a 4 millones de personas, sobre todo niños.

## **2.3 Efectos en la salud**

Existen una gran cantidad de gérmenes que pueden ser la causa de epidemias de origen hídrico. Según, la publicación “Soluciones para un mundo con escasez de agua. Population Reports” de la Escuela de Salud Pública de Johns Hopkins, las enfermedades transmitidas por el agua contaminada son: cólera, fiebre tifoidea, shigella, poliomielitis, meningitis y hepatitis A y E.

Las enfermedades diarreicas o trastornos ocasionados por estos gérmenes son de una gravedad moderada presentándose a menudo en forma de gastroenteritis asociada a dolores abdominales o vómitos. Dichos trastornos son por lo general de corta duración y pueden afectar a una persona o incluso a comunidades enteras, todo depende de la calidad o del tipo de germen presente en el agua. Junto a estas epidemias “benignas”, aparecen ocasionalmente enfermedades de origen hídrico mucho más graves. [2]

Los grupos de población más susceptibles a contraer una infección de origen hídrico están constituidas por niños de corta edad, personas mayores, inmunodeficientes o

enfermos, y esta puede ocurrir como resultado de beber agua contaminada, o a través de sus diversos usos cotidianos: preparación de alimentos, aseo o incluso inhalación.

Tabla 1. Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables

<b>ENFERMEDADES</b>	<b>AGENTES</b>
<b>Origen bacteriano</b> Fiebres tifoideas y paratifoideas  Disentería bacilar Cólera Gastroenteritis agudas y diarreas	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A y B Shigellasp. Vibrio cholerae Escherichiacolienterotoxinógena Campylobacter Yersiniaenterocolitica, Salmonella sp.
<b>Origen vírico</b> Hepatitis A y E Poliomelitis Gastroenteritis agudas y diarreas	Virus hepatitis A y E Virus de la polio Virus de Norwk Rotavirus, Enterovirus Adenovirus
<b>Origen parasitario</b> Disentiría amebiana Gastroenteritis	Entamoebahistolytica Giardialamblia Cryptosporidium

Fuente: Desinfección del agua, 1999 [2]

## 2.4 Desinfección del agua

**2.4.1 Medios para desinfectar el agua.** La operación de importancia incuestionable y que asegura protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico se denomina desinfección y constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo. Este tratamiento debe aplicarse prioritariamente cuando el agua está contaminada, o cuando no se puede garantizar su potabilidad natural de forma permanente y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal. La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución.

La desinfección del agua se puede conseguir por diversos medios físicos o químicos:

**2.4.1.1 Ebullición.** Consiste en hervir el agua para desinfectarla, a nivel del mar este procedimiento debe realizarse por un minuto y por cada aumento de 1000 metros de altitud debe agregarse un minuto adicional de ebullición.

**2.4.1.2 Rayos ultravioletas.** Esta técnica se utiliza en casos particulares, la eficiencia de la desinfección está estrechamente ligada a la calidad del agua que va a ser tratada. Además, debe considerarse que este tratamiento no tiene efecto residual y no genera ningún subproducto.

**2.4.1.3 Procesos químicos.** Los reactivos más comunes son el cloro y sus derivados y el ozono junto con el bióxido de cloro. De todos ellos el cloro en forma de cloro gaseoso, de hipoclorito de sodio (lejía) o de hipoclorito de calcio (en polvo), es el biocida más empleado y el más antiguo.

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una desinfección insuficiente, y es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección.

## **2.5 Teoría de la desinfección**

En general, la tasa de mortalidad de los microorganismos obedece a la ley Chick:

$$\frac{dN}{dt} = -KN \quad (1)$$

Donde:

K = constante de velocidad de reacción para un desinfectante determinado.

N = número de organismos viables

t = tiempo de contacto.

Esta ley establece que la rapidez con que disminuye la cantidad de microorganismos es proporcional al número de ellos.

Integrando,

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_o}\right) = -Kt \quad (2)$$

$$N_t = N_o * e^{-kt}$$

O,

$$\log\left(\frac{N_t}{N_o}\right) = -Kt \quad (3)$$

$$N_t = N_o * 10^{-kt}$$

Donde:

$N_o$  = número inicial de organismos.

$N_t$  = número de organismos para el tiempo

$K = 0.4343 K$

Además,

$$t = \frac{1}{K} \log\left(\frac{N_o}{N_t}\right) \quad (4)$$

Puesto que N nunca alcanzará un nivel igual a cero, es claro especificar la mortalidad como un porcentaje, es decir 99.99%. La constante de reacción dependerá de: tipo y concentración del desinfectante, la temperatura, el pH y otros factores ambientales.

La desinfección con cloro no obedece la ley anterior; la relación aplicable es la siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = -KNt \quad (5)$$

Integrando y cambiando a base 10, se obtiene:

$$t^2 = \frac{2}{K} \log\left(\frac{N_o}{N_t}\right) \quad (6)$$

Para pH 0 7

$K = 1.6 \times 10^{-2}$  para residuales de cloro libre

$K = 1.6 \times 10^{-5}$  para residuales de cloro combinado

Resumiendo, la tasa de desinfección con cloro es función del tiempo de contacto, del número y clase de organismos, de la dosis de cloro, del tipo de residual de cloro, del pH y de la temperatura, principalmente.

## 2.6 Desinfectantes del agua

Existen diversos tipos de desinfectantes o sistemas para desinfectar el agua de consumo, pero ninguno es perfecto puesto que todos presentan ventajas e inconvenientes; por ejemplo no eliminan todos los tipos de microorganismos, así como también producen subproductos indeseables en el agua tratada, es por eso que su utilización no puede ser viable por motivos de infraestructura y de instalaciones necesarias, o incluso por el elevado costo.

El procedimiento más utilizado para desinfectar el agua de consumo humano es la cloración mediante la aplicación de cloro gas o de soluciones de hipoclorito de calcio (el que más se usa en pequeños abastecimientos). No obstante, hay otros sistemas de desinfección (con o sin contenido en cloro), alguno de los cuales se describen a continuación.

**2.6.1 El Cloro.** Es uno de los elementos más comunes para la desinfección del agua y se puede aplicar para la desactivación de la actividad de la gran mayoría de los microorganismos, además es relativamente barato, práctico y efectivo al momento de entrar en contacto con los microorganismos patogénicos.

No fue después de 1880, y gracias a los trabajos de científicos como Pasteur y Escherich, se descubrió el origen microbiológico de las enfermedades hídricas y se explicó la acción bactericida del cloro.

La máxima ventaja del cloro es su potencia como desinfectante y oxidante, y su persistencia como bactericida de amplio espectro ya que posee una acción desinfectante para muchos tipos de bacterias y microorganismos en general.

Además brinda los siguientes beneficios:

- Es el único desinfectante que presenta propiedades residuales que perduran a lo largo del tiempo; de este modo, puede evitar un nuevo crecimiento microbiano y la contaminación del agua desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llega al grifo del consumidor.

- Es un germicida potente con una actuación muy eficaz frente a microorganismos patógenos que provocan enfermedades. Elimina muy bien las bacterias, los hongos y las algas, y también puede desactivar muchos virus.
- Posee una buena actuación frente a los sabores y olores contaminantes del agua.
- Destruye el amonio y otros compuestos nitrogenados del agua que pueden interferir en la desinfección.

Se debe tener en cuenta la calidad física-química del agua que se va a tratar, para determinar cuál es la correcta concentración y tiempo de contacto. La concentración de reactivo químico biocida, así como el tiempo de contacto agua-biocida son los principales elementos que determinan la buena desinfección de una agua.

**2.6.1.1 Formas comerciales del cloro.** Los productos disponibles para realizar la desinfección con cloro son:

- Cloro gaseoso.
- El hipoclorito de sodio o lejía
- El hipoclorito de calcio
- La preparación sobre el terreno de cloro mediante electrolisis de una solución de cloruro de sodio (electro cloración)

La elección de uno u otro de estos productos irá en función de diversos parámetros:

- Cantidad necesaria de reactivo.
- Posibilidad de abastecimiento.
- Facilidad de operación
- Seguridad (riesgos relativos al almacenamiento y a las manipulaciones)
- Costo.

En la Tabla 2 se presenta las características de las diferentes formas comerciales del cloro.

Tabla 2. Formas comerciales del cloro

	<b>Forma en que se presenta el producto</b>	<b>Contenido de cloro</b>	<b>Estabilidad en el tiempo</b>	<b>Seguridad</b>
<b>Cloro gaseoso</b>	Gas licuado a presión	99 %	Muy buena, tener mucho cuidado con las fugas	Gas muy tóxico
<b>Hipoclorito de sodio</b>	Solución líquida amarilla	Máximo 15 %	Pérdida mensual del 2 al 4 %. Pérdida aún mayor si la temperatura supera los 30 °C.	Líquido corrosivo, contiene sosa.
<b>Hipoclorito de calcio</b>	Sólido blanco	Del 60 al 70 %	Pérdida anual del 2 al 2,5 %	Corrosivo. Posible inflamación en caso de contacto con ciertos materiales.
<b>Electro-cloración chlorung</b>	Solución NaCl	De 1 a 3 g/L tras electrodiálisis	Muy grande como NaCl	

Fuente: Desinfección del agua, 1999 [2]

**2.6.2 Yodo.** Por sobre el grupo de halógenos, tiene las siguientes características: es el de mayor masa atómica y el menos soluble en el agua, 339 mg/L, así como el menos hidrolizable y el de menor potencial de oxidación; ofrece reactividad mínima con los compuestos orgánicos; por estas particularidades los residuales de yodo son más estables y persisten más tiempo en presencia de materiales orgánicos o sustancias oxidables.

Se ha usado para el tratamiento de agua potable desde comienzos del siglo XX, aplicado por el ejército francés para desinfectar aguas en 1915 y recomendado como desinfectante de emergencia para aguas en dosis de 2.5 mg/L a 7 mg/L.

**2.6.3 Bromo.** Posee características químicas y desinfectantes similares a las del cloro pero por su escasez y costo es poco probable que lo reemplace. Su uso es poco factible por estar involucrado en la formación de hidrocarburos halógenos y por la falta de experiencia en su manipulación.

**2.6.4 Plata.** En la antigüedad los romanos utilizaban la plata coloidal para preservar el agua en jarras de almacenamiento ya que es un buen desinfectante en concentraciones de 25 – 40 ug/L. Es costoso; pero para desinfectar caudales pequeños existen equipos dotados con una columna de carbón activado impregnado de plata, donde el agua al entrar en contacto con la plata desprende cantidades desinfectantes de este elemento.

**2.6.5 Radiación ultravioleta.** Se aplicó por primera vez en Marsella (Francia) en 1910. El agua, el aire y los alimentos pueden desinfectarse mediante radiación ultravioleta, luz de 30 - 3650 Å, emitida por una lámpara de vapor de mercurio y cuarzo. Las ondas bacterianas se extienden entre los 2537 y 2950 Å, con un efecto máximo a una longitud de onda de 2537 Å. No tiene efecto residual pero la baja producción de subproductos, en la desinfección con la luz ultravioleta, y su efectividad en dosis bajas para inactivar virus han hecho que se constituya en un método posible de desinfección de agua a bajo costo.

**2.6.6 Ozono.** El ozono, O<sub>3</sub>, es una forma alotrópica del oxígeno producida mediante el paso del oxígeno o aire seco a través de una descarga eléctrica de 5000 - 20000 V, 50 -500 Hz, con un consumo energético de 10 -25 KWh/Kg de O<sub>3</sub>. Es un gas azul muy tóxico e inestable, con olor de heno recién secado, y uno de los germicidas usados en tratamientos de agua.

Tiene alta efectividad germicida y habilidad para remover problemas de color, olor y sabor; además su potencia no se altera por compuestos de amoníaco ni por el pH. Como desventaja presenta que no deja residual en el agua y además se debe producir *in situ* mediante generadores de ozono de alto consumo eléctrico, lo cual limita su uso.

Al utilizar el O<sub>3</sub> como desinfectante se debe tener en cuenta y controlar la concentración de bromato, por sus efectos sobre el riñón, el oído y el intestino. El límite permisible es de 0.01 mg/L según la USEPA.

**2.6.7 Dióxido de cloro.** El Dióxido de cloro,  $\text{ClO}_2$ , es un gas sintético que no ocurre de manera natural en el ambiente y que tiene un color verde-amarillento y un olor irritante parecido al cloro. Tiene una concentración de cloro del 26.3 % y un gran potencial en la desinfección del agua así como también en la remoción de olores y sabores.

Se produce *in situ* mediante la cloración del clorito de sodio, en una relación de un mol de cloro por dos moles de clorito. Como ventajas presenta que no reacciona con el amoníaco ni tampoco es influenciado por el pH, es un poderoso oxidante y bactericida; no forma hidrocarburos halogenados con compuestos orgánicos, destruye los compuestos fenólicos que se combinan con otras formas de cloro y provee residuales al agua.

Su principal desventaja es la formación de subproductos inorgánicos como el ión clorito,  $\text{ClO}_2^-$ , y el clorato  $\text{ClO}_3^-$ .

Al trabajar con este desinfectante se debe controlar la concentración de clorito; que según establece la USEPA es de 1 mg/L.

## **2.7 La cloración**

Se entiende por cloración la operación que consiste en añadir cloro al agua con el propósito de desinfectarla y se puede realizar mediante la aplicación de cloro gas, soluciones de hipoclorito sódico o calcio.

La popularidad del cloro como desinfectante se debe a las razones indicadas anteriormente y además por las siguientes:

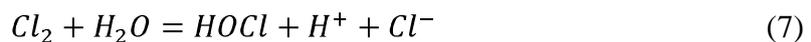
- Existe disponible como gas, líquido o en forma granular.
- Es relativamente barato.
- Es fácil de aplicar, por cuanto su solubilidad está cerca de 7000 mg/L a 20 °C y presión atmosférica. Sin embargo, a temperaturas menores de 9,6 °C se combina con el agua para formar un sólido cristalino, hielo de cloro o  $\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; y a 100 °C y una atmosfera de presión es insoluble.
- Deja un residual en la solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.

- Tiene una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- Es un agente oxidante poderoso.

Entre sus desventajas se señalan:

- Es un gas venenoso que requiere un manejo cuidadoso.
- Es altamente corrosivo en solución.
- Forma clorofenoles con los fenoles, los cuales originan problemas serios de olores.
- Forma trihalometanos con algunas sustancias orgánicas, de los cuales el cloroformo es de máximo interés por sospecharse que es un agente cancerígeno, cuando no existe una adecuada dosificación.

**2.7.1** *Química de la Cloración.* Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua en la siguiente forma:



En la ecuación anterior, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso, HOCl. Para concentraciones de cloro menores de 1.0 mg/L y con el pH mayor de tres la *hidrólisis* es prácticamente completa.

El ácido hipocloroso se ioniza para formar el ión hipoclorito:



La disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración de ión de hidrógeno, o sea del pH; es decir:

- A pH bajo la disociación del HOCl se inhibe;
- A pH igual a seis o menor el residual es predominante HOCl;
- A pH igual a 7,7 los residuos del HOCl y OCl<sup>-</sup> son aproximadamente similares
- A pH igual o mayor que nueve casi todo el residual es OCl<sup>-</sup>.

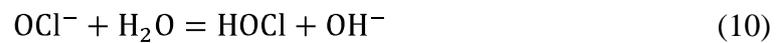
Las especies HOCl y OCl<sup>-</sup> en el agua constituyen lo que se denomina cloro residual disponible o residual de cloro libre.

El ácido hipocloroso, HOCl, es el desinfectante más efectivo mientras que el ion hipoclorito  $\text{OCl}^-$  es relativamente inefectivo en comparación con este; por ello la desinfección más letal con cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. Es por eso que se considera que el HOCl es 80 a 100 veces más efectivo que el  $\text{OCl}^-$  para exterminar E. coli.

Si el cloro se dosifica como *hipoclorito de sodio*, se tiene:



Y,



En este caso se presentará un incremento de alcalinidad, dependiente de la magnitud con que el  $\text{OCl}^-$  reaccione con el agua. Finalmente, si el cloro se agrega como *hipoclorito de calcio*, HTH, se tiene:

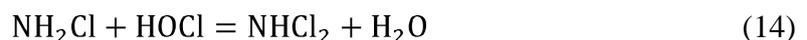


El efecto será, entonces, un aumento tanto de alcalinidad como de la dureza total del agua. Dependiendo de la dosis de cloro, del pH, de la cantidad de amoníaco, del tiempo de contacto y de la temperatura, el cloro eventualmente oxida el amoníaco en nitrógeno gaseoso, nitrato y otros compuestos de nitrógeno; es decir si existe amoníaco, el *ácido hipocloroso* reaccionará con él para producir:

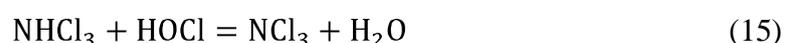
- **Monocloramina:** a temperatura ambiente y pH mayor de 8,5



- **Dicloramina:** con pH alrededor de 4,5



- **Tricloramina:** con pH menor de 4,4



Vale mencionar que entre pH 4,5 y 8,5 se forman mono y dicloraminas. Todo cloro presente en el agua en forma de *cloramina* se lo que se conoce como *cloro combinado disponible o residual de cloro combinado*.

Los residuales de cloro combinado son más estables que los residuales libres, pero menos efectivos como desinfectantes. Para una mortalidad determinada, con residual constante, las formas de cloro combinado requieren un tiempo de contacto cien veces mayor que el requerido por el residual libre.

En la siguiente tabla se resume la efectividad bactericida de los residuales de cloro.

Tabla 3. Efectividad bactericida de residuales de cloro

<b>Tipo de residual</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Efectividad relativa</b>
Ácido hipocloroso	HOCL	1
Ion hipoclorito	OCl <sup>-</sup>	1/100
Tricloramina	NCl <sub>3</sub>	Posiblemente >1/80
Dicloramina	NHCl <sub>2</sub>	1/80
Monocloramina	NH <sub>2</sub> Cl	1/150

Fuente: Desinfección del agua, 1999 [2]

**2.7.2 Curva de demanda de cloro.** Cuando se añade cloro al agua se producen una serie de reacciones químicas, según la cantidad de producto que se utiliza.

*Etapa 1.* Las primeras cantidades de cloro reaccionan con la materia orgánica del agua. El cloro medido en esta etapa es cero, porque se gasta todo en esa reacción.

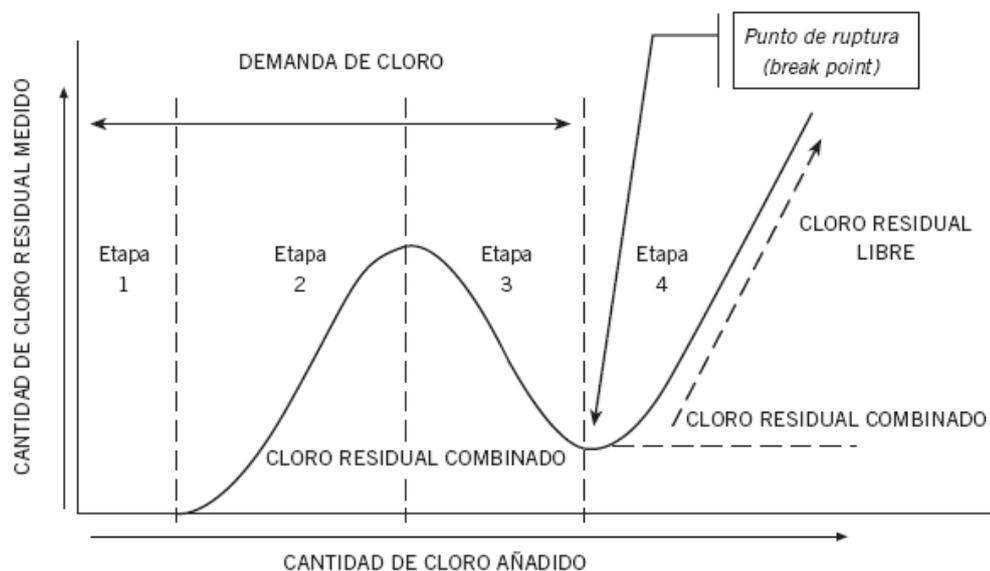
*Etapa 2.* El cloro empieza a reaccionar con los compuestos nitrogenados: amoníaco y compuestos aminonitrogenados que pueda haber.

Si hay presencia de amonio, el cloro reacciona formando cloraminas: monocloramina, dicloramina y tricloramina. Se puede medir la cantidad de cloro residual, pero no corresponde a cloro activo libre, sino a esas cloraminas: formas combinadas del cloro que tienen menos capacidad desinfectante que el cloro libre.

*Etapa 3.* Si se añade más cloro, el cloro medido disminuye. En esta etapa, el nuevo cloro introducido destruye los compuestos formados durante la etapa anterior, hasta el llamado punto de ruptura o break point, que marca el final de la demanda de cloro del agua.

*Etapa 4.* En esta etapa final, el cloro que se añade sí se puede medir ya como cloro residual libre, y es en este momento cuando se puede garantizar una desinfección eficaz del agua y un efecto residual adecuado.

Figura 1. Evolución de la cantidad de cloro residual



FUENTE. (Autocontrol en el servicio de suministro de agua - Manual básico de gestión de los riesgos para la salud, 2008)

En conclusión, los primeros miligramos de cloro introducidos no garantizan la desinfección. De hecho; antes de que éste pueda garantizar realmente una acción eficaz, se deberá agregar una cantidad variable de desinfectante para que se produzca todas las reacciones químicas secundarias. Esta cantidad se denomina: Demanda de Cloro.

Antes de iniciar la desinfección, deben realizarse pruebas sistemáticas para determinar la cantidad de cloro que se debe agregar para lograr superar la fase de las reacciones secundarias.

**2.7.3** *Parámetros técnicos que influyen en la eficiencia de la desinfección.* La eficiencia de la desinfección final es máxima cuando el agua ya ha sido tratada para eliminar toda turbiedad y más exactamente para eliminar toda sustancia que pueda reaccionar y “consumir” el cloro. Si los tratamientos precisos no se aplican o no se pueden aplicar, o se aplican de forma errónea en un momento dado, una sobredosis de cloro permitirá obtener una desinfección correcta del agua, si bien, como consecuencia de ello, aparecerán subproductos de desinfección.

La cantidad de cloro que hay que añadir al agua para la desinfección depende:

- De la temperatura del agua.
- Del tiempo de contacto (tiempo transcurrido entre la inyección del cloro y el consumo del agua).
- Del contenido residual de desinfectante deseado en la red.

Desde un punto de vista general, la desinfección será óptima cuando se cumplan los parámetros descritos en el siguiente cuadro:

Tabla 4. Parámetros técnicos que influyen en la eficiencia de la desinfección

<b>Parámetros técnicos que influyen en la eficiencia de la desinfección</b>	
Turbiedad	< 0,5 NTU
pH	< 8,0
Tiempo de retención	> 30 min
Cloro libre residual	> 0,5 mg/l

Fuente: Desinfección del agua, 1999 [2]

### **2.7.4** *Interferencias en la cloración*

**2.7.4.1** *Turbiedad.* Hace más lenta la acción del cloro, debido a que ciertos microorganismos como el E. coli tienden a crecer en colonias y encapsularse en los microfragmentos de materias fecales o depositarse dentro de partículas orgánicas y minerales. Esto haría necesario aumentar el tiempo de contacto o la concentración para obtener resultados satisfactorios.

**2.7.4.2 Nematodos.** El cloro, aún en altas dosis, no destruye los nematodos que son un tipo de gusanos delgados como por ejemplo las lombrices, que pueden contener en su tracto intestinal bacterias y virus patógenos. Wen – TungWei y sus colaboradores, demostraron que si los nematodos están muertos, el 96 % son removidos por filtros.

**2.7.4.3 Temperatura.** Se ha demostrado que para que una cierta concentración de cloro destruya el 99% de los microorganismos presentes, queda reducido aproximadamente, a un 50% por cada 10 grados centígrados que aumente la temperatura. Es beneficioso que la temperatura del agua donde se requiera la cloración se mantenga en valores bajos, en un punto cercano al de ebullición el cloro perdería su efectividad.

**2.7.4.4 Calcio.** Concentraciones pequeñas, del orden de 1 mg/L pueden perjudicar la eficiencia de la cloración.

**2.7.4.5 Potencial de hidrógeno (pH).** Los altos pH del agua (mayor a 9) desaceleran las reacciones químicas entre el cloro y el amoníaco e inducen la formación de compuestos clorados de baja efectividad. Debe por eso alcalinizarse el agua después de la cloración y no antes de ella.

**2.7.4.6 Fenoles.** Es la interferencia más detectable, ya que el fenol actúa con el cloro para formar compuestos tales como clorofenol y diclorofenol los cuales producen un típico sabor a yodoformo que se puede detectar en concentraciones muy pequeñas, del orden de 0.002 mg/l. Estos olores se remueven con el filtro de carbón activado.

**2.7.5 Subproductos de la Cloración.** Los subproductos de la desinfección (DBP, por sus siglas en inglés) son sustancias químicas que se forman cuando el cloro se añade al agua durante el proceso de tratamiento dando lugar a reacciones químicas particulares. En especial el amoníaco, el hierro, el manganeso y los sulfuros, reaccionan fácilmente con el cloro.

Es decir los DBP aparecen cuando el cloro reacciona con la materia orgánica natural presente en el agua, como las algas y las plantas en descomposición.

$$\text{Cloro} + \text{Plantas en descomposición} = \text{DBP} \quad (16)$$

La materia orgánica puede introducirse en las aguas superficiales desde zonas circundantes, como granjas y zonas boscosas. Los residuos urbanos también

transportan materia orgánica a las aguas superficiales cuando llueve. Durante los meses más calurosos, el agua superficial suele contener una cantidad elevada de materia orgánica. En consecuencia, los niveles de DBP son generalmente más altos en verano que en el resto del año.

Los DBP están formados por:

- Trihalometanos (THM)
- Ácidos haloacéticos (HAA)
- Haloacetoneitrilos (HAN)

De estos productos químicos, los THM y los HAA son los más habituales en el agua potable clorada. Otro subproducto, como el HAN, se forma en cantidades menores durante el proceso de cloración. Cabe señalar que algunos DBP aún no han sido identificados químicamente.

Los THM y los HAA son dos familias de productos químicos relacionados que contienen distintas cantidades de cloro y bromo. Durante el proceso de tratamiento del agua, el bromo se forma cuando el cloro reacciona con el bromuro presente en el agua. El bromo, al igual que el cloro, puede combinarse con materiales orgánicos procedentes del agua para formar los THM y los HAA

*Los trihalometanos (THM).* Son compuestos químicos formados principalmente por cloro y metano. Se los puede dividir en cuatro grupos, que son: cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), bromo\_diclorometano ( $\text{CHBrCl}_2$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) y bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ). Para entender un poco esta nomenclatura química, se considera que siendo la molécula de metano ( $\text{CH}_4$ ), se reemplaza a tres átomos de hidrógeno (H) por igual número de átomos de cloro (Cl) o bromo (Br), quedando:  $\text{CHX}_3$ . Los THM causan daños al hígado y riñón y se lo relaciona con el cáncer de vejiga.<sup>[2]</sup>

Algunos estudios han demostrado pequeñas asociaciones estadísticas con los cánceres de estómago, de intestino grueso, de recto o, más recientemente, de páncreas. El Centro Internacional de Investigación sobre el cáncer (CIIC) ha evaluado estos estudios, concluyendo que no es posible afirmar que el consumo de agua potable clorada pueda derivar en cánceres en el hombre.

## CAPÍTULO III

### 3. SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA EL SECTOR RURAL

#### 3.1 Sistema de suministro de agua para el sector rural

Los proyectos de suministros de agua que adoptan las JAAP inician por un estudio de las fuentes cercanas para abastecimiento del líquido vital a los moradores beneficiarios del sistema a implantarse.

Para la comunidad San Vicente de Lacas el estudio de las vertientes denotó que no existen fuentes cercanas de abastecimiento. Las que servirán a los moradores de acuerdo a la adjudicación por parte del CNRH son dos vertientes de afloramiento superficial que suministran un caudal de 0,10 l/s, y una fuente de agua superficial, río Paylahuaico, que tiene un caudal medido en verano de 10,50 l/s, las mismas que se encuentran ubicadas en el sector de la quebrada de Paylahuaico, cantón Chambo, provincia del Chimborazo.

#### 3.2 Partes del sistema

El sistema de suministro de agua potable para la comunidad San Vicente de Lacas está conformado por las siguientes unidades:

- Captaciones
- Desarenador
- Conducción
- Tratamiento
- Reserva
- Red de distribución

**3.2.1 Captaciones.** Las captaciones se ubican, en la quebrada de Paylahuaico a una cota de 3050,41 msnm y están constituidas por dos vertientes de afloramiento superficial y una fuente de agua superficial (río Paylahuaico).

La captación de la fuente superficial se la realiza mediante un azud con rejilla de fondo, construido en hormigón ciclópeo  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, la rejilla y sus respectivas dimensiones se encuentra en el Anexo A.

El agua que ingresa por la rejilla se conduce a través de una tubería de PVC de 160 mm y es trasladada hacia una caja reguladora de caudal, la misma que es de hormigón simple de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Esta caja reguladora de caudal posee un vertedero de excesos por donde se elimina el agua sobrante que ingresa, lo cual garantiza que la captación sea de 5,2 l/s. Desde dicha caja el agua se conduce hacia el sedimentador a través de una tubería de hierro galvanizado de 3 plg, las dimensiones del sedimentador se encuentra en el Anexo B.

Figura 2. Captación de río Paylahuaico hacia caja reguladora de caudal



En tanto que la captación de agua para cada una de la vertientes se la realiza desde una cámara de captación construida en hormigón armado junto a la quebrada, dentro de estas cámaras el agua cae en el piso y es conducida por tuberías de hierro galvanizado de 2 plg hacia el sedimentador, en el mismo punto donde desemboca el agua proveniente del río.

Figura 3. Cámara de captación de vertientes de Paylahuaico



Junto a los puntos de captación está el sedimentador, cuya salida se encuentra a 3049,81 m.s.n.m.

Figura 4. Sedimentador



**3.2.2 Conducción.** La conducción que se realiza desde la captación hacia la comunidad San Vicente de Lacas es totalmente por gravedad, habiéndose establecido tramos de tubería bien diferenciados de acuerdo a las características del terreno, los diámetros y longitudes de tuberías se encuentran en los planos, Anexo C. En todos los casos la tubería es de PVC y está enterrada, a excepción de un tramo de 90m debido a que en esta parte la conducción pasa por encima del río Chambo. La longitud total de tubería desde la captación hasta la llegada al tanque de distribución es de 7222,1 m.

Por cuestión de la diferencia de alturas entre la captación y el tanque de distribución que es de 262,31 m; la conducción se compone de cuatro tanques rompe presiones con sus respectivas válvulas para la operación y el mantenimiento. Las cotas a las que se encuentran estos rompe presiones consecutivamente son: rompe presión 1 = 2996,36 msnm; rompe presión 2 = 2951,69 msnm; rompe presión 3 = 2881,8 msnm; rompe presión 4 = 2832,25 msnm. Consecuentemente el tanque de distribución se encuentra a 2787,5 msnm.

**3.2.3 Desarenador.** El desarenador tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua y que tienen un tamaño superior a 200  $\mu\text{m}$ , sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras y semillas que eventualmente puede arrastrar el agua que fue conducida. La manera en la que cumple su objetivo es disminuyendo la velocidad del fluido que lleva partículas, ya por su forma alargada produce el descenso de estas por gravedad.

En la comunidad, por tratarse de captaciones de tipo superficial se hace necesaria la presencia de este elemento, que está construido en hormigo simple, dimensionado para

un caudal de 5,2 l/s y un período de retención de 34 minutos con una carga superficial de 55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día y una profundidad de 1,3 m. Las dimensiones del desarenador cumplen con normas de diseño.

El desarenador consta de una estructura de entrada en hormigón simple de tal manera que se reparta el agua de manera uniforme dentro del desarenador. La estructura de salida también será de del mismo material y se construirá para que no produzca turbulencia a la salida del agua; además, para el lavado del desarenador se ha considerado una compuerta metálica con volante de 0,3 x 0,4 m y se conectará a una caja de revisión.

**3.2.4 Tratamiento.** De acuerdo con los análisis fisicoquímico y microbiológico efectuados al agua de las vertientes, el líquido a tratarse presenta aceptables características que lo hace apto para el consumo humano debiendo tener un proceso de potabilización necesariamente.

Como parte de este proceso de potabilización consta un filtro convencional lento descendente diseñado para un caudal de 5,68 l/s; con una tasa de filtración de 0,19 m/h y una profundidad de 2,6 m. La construcción realizada en hormigón armado, consta de dos unidades paralelas de filtración cada uno de 10 m de largo y 5,50 m de ancho, los detalles se muestran en el Anexo E.

Para asegurar la potabilidad del agua se realiza la desinfección mediante la adición de hipoclorito de calcio mediante un dosificador de carga constante. El tiempo de contacto del desinfectante se efectuará en el tanque de reserva, y para alojar el hipoclorador existe una caseta donde se prepara la solución desinfectante.

**3.2.5 Reserva.** El volumen de reserva que posee la comunidad es de 100 m<sup>3</sup>, el tanque que contiene este volumen es de forma circular y construido de ferrocemento. Está constituido por una cámara de válvulas para desagüe, desborde y salida del líquido a la red de distribución. Refiérase al Anexo F.

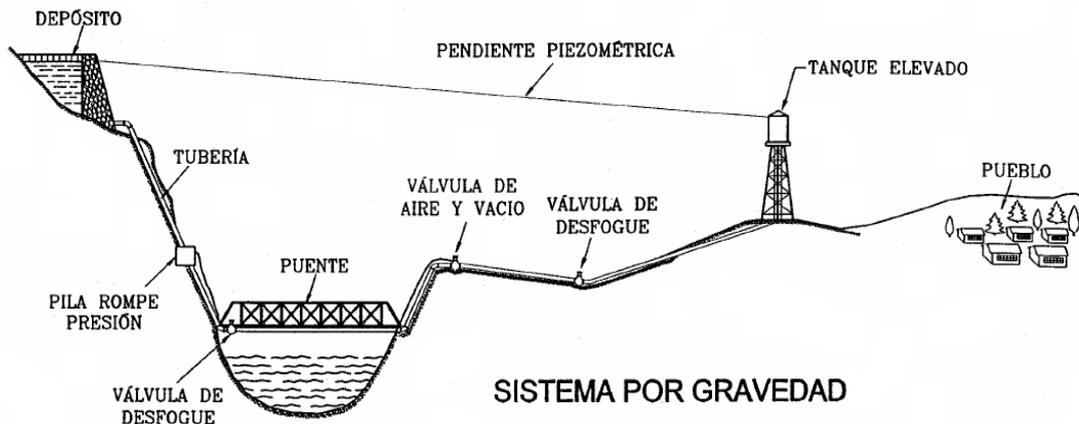
La alimentación a la reserva desde los filtros lentos es por medio de una tubería de 90 mm de PVC con sus respectivos accesorios, además una parte del líquido que se conduce por esta tubería servirá para preparar la solución de hipoclorito de calcio.

Figura 5. Tanque de reserva de la comunidad San Vicente de Lacas



### 3.3 Evaluación hidráulica

Figura 6. Esquema de un sistema hidráulico por gravedad [3]



Es importante que los diseños de sistemas de agua potable, así como los de disposición de excretas y residuos líquidos, se realicen dentro de un marco adecuado para la realidad de las poblaciones rurales ecuatorianas. En este sentido existe una norma que considera la aplicación de tecnologías apropiadas para dicho fin, se trata del **“Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias”** NORMA CO 10.7–602. Norma que forma parte del código ecuatoriano de la construcción.

Esta norma ofrece un conjunto de especificaciones básicas para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable con un alcance nacional, es decir que instituciones públicas o privadas que tengan a cargo el diseño o fiscalización de sistemas de abastecimiento de agua potable deberán cumplir con las obligaciones de esta norma.

*“Con el motivo de verificar el dimensionamiento del sistema en cuanto a los parámetros de funcionamiento actual como la proyección de su funcionamiento con el tiempo, es pertinente realizar esta evaluación”.*

La comunidad San Vicente de Lacas muestra un creciente aumento poblacional, y un desarrollo en cuanto a obras de servicio público se refiere, lo que la hace acreedora a una acogida favorable para futuros moradores.

**3.3.1 Bases de diseño.** Se trata de definir los parámetros que se utilizan en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, según la NORMA antes mencionada, estas bases de diseño se compone de los siguientes parámetros:

- Período de diseño
- Población futura o de diseño
- Nivel de servicio
- Fugas
- Dotaciones
- Caudal medio
- Caudal máximo diario
- Caudal máximo horario
- Caudales y volumen para diseño

**3.3.1.1 Período de diseño.** Es el lapso durante el cual la obra cumple su función satisfactoria y eficientemente sin necesidad de ampliaciones; se toma en cuenta la durabilidad de las instalaciones, factibilidad de construcción, tendencia de crecimiento poblacional, entre otras. Según la normativa se considera un período de diseño de 20 años para construcciones civiles, los equipos están diseñados para un período de vida determinado por el fabricante.

En nuestro caso de estudio, el sistema ha funcionado a partir del año 2006, en tal razón el período de diseño para la evaluación es de 15 años.

**3.3.1.2 Población futura o de diseño.** La población de diseño se calcula en base a la población actual mediante un censo o recuento poblacional.

La comunidad San Vicente de Lacas alberga a 1280 habitantes, representadas en 280 jefes de familia. Debido a las características socio económicas de la comunidad, no

presenta población flotante, pero por cuestiones de seguridad en el diseño se asume el valor del 2%, que significan 26 habitantes. Resultando una población actual  $P_a = 1306$  habitantes.

Para el cálculo de la población futura se emplea el método de porcentaje uniforme de crecimiento. Que consiste en suponer que la proporción de crecimiento sigue una ley de interés compuesto, correspondiendo a la expresión:

$$P_f = P_a \times (1 + r)^n \quad (17)$$

En donde:

$P_f$ : Población futura

$P_a$ : Población actual

$r$ : Tasa de crecimiento poblacional

$n$ : Período de diseño (años)

Tabla 5. Tasas de crecimiento poblacional

AÑO	POBLACIÓN (miles)	TASA DE CRECIMIENTO (%)
1950	3 387	-
1960	4 439	2,70
1970	5 970	2,96
1980	7 961	2,88
1990	10 264	2,54
1995	11 460	2,20
1998	12 174	1,99
2000	12 646	1,97
2005	13 798	1,74
2010	14 899	1,54
2015	15 936	1,35

Fuente: CONDE, INEC, CELADE, Ecuador. Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2010

Esta ecuación está indicada para comunidades jóvenes con buenas perspectivas de futuro, horizontes libres y porvenir económico despejado.

Para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, se tomará como base los datos estadísticos proporcionados por los censos nacionales y recuentos sanitarios. A esta comunidad es preferible tratarla como un sector urbano marginal y no como sector rural, dado que los sectores rurales, actualmente poseen índices de crecimiento negativos.

Contando con todos los datos se obtiene:

$$P_f = P_a \times (1 + r)^n = 1306 \text{ hab} \times (1 + 0,0154)^{15} = 1642,48 \text{ hab.}$$

Se adopta una población de diseño de 1642 *hab.*

**3.3.1.3 Niveles de servicio.** La tabla 6 muestra los niveles de servicio aplicables para programas de abastecimiento de agua. El nivel que corresponde nuestro sistema es IIb, conexiones domiciliarias con más de un grifo por casa y sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 6. Nivel de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario
Ia	AP EE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP EE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP EE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP ERL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa Sistema de alcantarillado sanitario
Simbología utilizada: AP: Agua potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

Fuente: Código ecuatoriano de la construcción. NORMA 10.7 – 602 PAG 21 [4]

**3.3.1.4 Fugas.** Para el cálculo de los diferentes caudales de diseño, se tomará en cuenta por concepto de fugas los porcentajes indicados en la siguiente tabla que se indica a continuación:

Tabla 7. Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistema de abastecimiento de agua

NIVEL DE SEVICIO	PORCENTAJE DE FUGAS
Ia y Ib	10 %
IIa y IIb	20 %

Fuente: Código ecuatoriano de la construcción. NORMA 10.7 – 602 [4]

El porcentaje de fugas obtenido es del 20%

**3.3.1.5 Dotaciones.** La tabla siguiente muestra las dotaciones, según los niveles de servicio.

Tabla 8. Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (l/hab*día)	CLIMA CALIDO (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Fuente: Código ecuatoriano de la construcción. NORMA 10.7 – 602 [4]

Este valor es muy bajo, en la realidad de la comunidad. El consumo de agua en San Vicente a partir del mes de diciembre del año pasado es el que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Consumo mensual de agua comunidad San Vicente de Lacas año 2010-2011

GRUPO	Numero de Usuarios	DIC	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
1	47	811	764	781	744	742	778	867	628	850
2	38	631	1316	914	1027	993	957	395	944	1252
3	40	652	710	701	844	698	724	1091	689	705
4	33	670	494	547	649	675	594	799	580	535
5	49	486	502	486	569	594	587	576	495	510
6	15	237	225	236	267	264	260	302	278	246
7	21	246	209	199	278	199	218	326	279	203
8	23	479	456	421	497	479	350	526	399	496
TOTAL	266	4212	4676	4285	4875	4644	4468	4882	4292	4797
PROMEDIO MENSUAL									4570,11 m <sup>3</sup>	

El pico de consumo ocurre en el mes de marzo con 4875 m<sup>3</sup>

Si la población actual es  $P_a = 1306$  habitantes el consumo de agua diario de cada habitante sería:

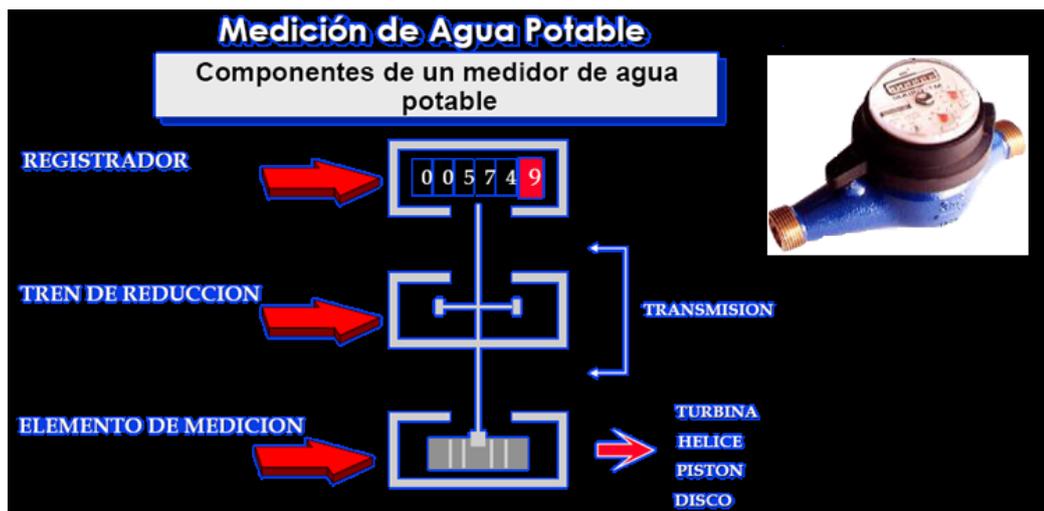
$$\text{dotación} = \frac{4875\text{m}^3}{1306\text{hab}\cdot\text{mes}} \quad (18)$$

$$\text{dotación} = 124,426 \frac{l}{\text{hab}\cdot\text{día}}$$

Considerando que las medidas del caudal se las realiza con medidor de agua potable de turbina de chorro simple, el margen de error se lo considera de  $\pm 5\%$ , la dotación futura para cálculos de diseño sería, considerando el valor más alto:

$$\text{dotación} = 130,65 \frac{l}{\text{hab}\cdot\text{día}}$$

Figura 7. Medidor de agua potable de turbina



**3.3.1.6 Caudal medio ( $Q_m$ ).** El caudal medio se calcula mediante la ecuación

$$Q_m = \frac{f \times (P \times D)}{86400} \quad (19)$$

En donde:

$Q_m$ : Caudal medio (l/s)

$f$ : Factor de fugas

$P$ : Población de diseño

$D$ : Dotación futura (l/hab día)

En consecuencia tenemos:

$$Q_m = \frac{f \times (P \times D)}{86400}$$
$$Q_m = \frac{1,2 \times (1642 \times 130,65 \text{ l/s})}{86400}$$
$$Q_m = 2,98 \text{ l/s}$$

**3.3.1.7 Caudal máximo diario ( $QMD$ ).** El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMD = KMD \times Q_m \quad (20)$$

En donde:

$QMD$ : Caudal máximo diario

$KMD$ : Factor de mayoración máximo diario, cuyo valor es de 1,25 para todos los niveles de servicio; según la NORMA 10.7 – 602

El factor de mayoración, se utiliza en virtud de que los consumos diarios pueden verse afectados por cambios fuertes en las actividades de la población según las diferentes épocas del año.

Entonces tenemos:

$$QMD = 1,25 \times 2,98 \text{ l/s}$$

$$QMD = 3,725 \text{ l/s}$$

**3.3.1.8 Caudal máximo horario ( $QMH$ ).** El caudal máximo horario se lo determinará con la siguiente ecuación:

$$QMH = KMH \times Q_m \quad (21)$$

En donde:

$QMH$ : Caudal máximo horario

$KMH$ : Factor de mayoración máximo diario, cuyo valor es de 3 para todos los niveles de servicio; según la NORMA 10.7 – 602

El factor de mayoración, en este caso, es un valor con el cual se puede cubrir los consumos máximos más frecuentes en las horas pico de utilización del líquido vital.

Entonces tenemos:

$$Q_{MH} = 3 \times 2,98 \text{ l/s}$$

$$Q_{MH} = 8,94 \text{ l/s}$$

### 3.3.1.9 Caudales y volumen de diseño

*Fuente de abastecimiento.* La norma indica que la fuente de donde se captará el líquido, deberá asegurar un caudal mínimo de dos veces el caudal máximo diario calculado.

$$Q_{\text{minf.abastec.}} = 2 \times Q_{MD} \quad (22)$$

$$Q_{\text{minf.abastec.}} = 2 \times 3,725 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{minf.abastec.}} = 7,45 \text{ l/s}$$

La determinación del caudal mínimo de la fuente se efectuará por métodos debidamente justificados y aprobados por la fiscalización. En la quebrada de Paylahuaico se ha aforado un caudal superior a 10 l/s. como valor mínimo en época de verano.

*Captación.* La estructura de captación, según la norma, deberá estar dimensionada para un caudal mínimo equivalente a 1,2 veces el caudal máximo diario correspondiente al final del período de diseño.

$$Q_{\text{mincaptación}} = 1,2 \times Q_{MD} \quad (23)$$

$$Q_{\text{mincaptación}} = 1,2 \times 3,725 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{mincaptación}} = 4,47 \text{ l/s}$$

*Caudal de diseño para la conducción.* Cuando la conducción no requiera de sistema de bombeo, la norma indica que el caudal de diseño será 1,1 veces el caudal máximo diario.

$$Q_{\text{diseño}} = 1,1 \times Q_{MD} \quad (24)$$

$$Q_{\text{diseño}} = 1,1 \times 3,725 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 4,0975 \text{ l/s}$$

Cuando se realice la conducción se deberá cuidar que el fluido circule a velocidades muy bajas para evitar problemas de sedimentación en la tubería, la presión total mínima en la línea de conducción deberá ser de 5 m.c.a., en ningún punto la tubería deberá trabajar a presiones mayores que las indicadas por el fabricante. El diámetro mínimo de la tubería deberá ser de 25mm (1plg).

*Tratamiento.* La planta de tratamiento del agua deberá ser dimensionada para un caudal igual a 1,1 veces el caudal máximo diario. Según norma.

$$Q_{tratamiento} = 4,0975 \text{ l/s}$$

*Almacenamiento.* La capacidad del tanque de almacenamiento será el 50% del volumen medio diario futuro. Según norma. En cualquier caso el reservorio no tendrá una capacidad menor a 10 m<sup>3</sup>.

Sabemos que el caudal medio tiene un valor de  $Q_m = 2,98 \text{ l/s}$

El volumen medio de consumo en un día resultaría:

$$V_m = 2,98 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 86400\text{s} = 257472 \text{ l} = 257,472 \text{ m}^3 \quad (25)$$

$$V_{almacenamiento} = 0,5 \cdot V_m = 0,5 \times 257,472 \text{ m}^3 = 128,736 \text{ m}^3$$

**3.3.2 Comparación de datos.** Según la memoria técnica, del Sistema de agua potable para la Comunidad San Vicente de Lacas, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo; realizada para llevar a cabo la obra de abastecimiento actual de la comunidad, dimensiona el sistema a partir de datos del IEOS.

La siguiente tabla detalla los valores de los parámetros de diseño con los que se realizó la obra existente, y los que se obtuvo mediante el código ecuatoriano para construcción de obras sanitarias Norma 10.7 - 602.

La obtención de los datos para la evaluación se la realizó bajo las mismas circunstancias con las que se obtuvieron los parámetros en la memoria técnica, estos son:

- Tiempo de duración de la obra 20 años.
- No se considera dotaciones de agua para sectores comerciales, industriales, público y usos especiales. Es netamente doméstico.

- La tasa de crecimiento tiene mucha concordancia ya que las características topográficas de la zona otorgan factibilidad de expansión y crecimiento poblacional.

Tabla 10. Parámetros y valores de diseño, obra actual y evaluada según Norma 10.7-602

No.	PARÁMETROS DE DISEÑO	VALORES DE DISEÑO	
		Obra existente	Según Norma 10.7 - 602
1	Periodo de diseño	20 años	20 años, menos 5 años de tiempo transcurrido desde su ejecución.
2	Población de diseño	1700 hab. ( $i_c = 2,5$ )	1642 hab. ( $i_c = 2,5$ )
3	Dotación	$160 \frac{l}{hab \cdot día}$	$130,65 \frac{l}{hab \cdot día}$ Según datos recopilados del último año
4	Caudal medio $Q_m$	3,15 l/s	2,98 l/s
5	Caudal máximo diario $QMD$	4,73 l/s	3,725 l/s
6	Caudal máximo horario $QMH$	14,19 l/s	8,94 l/s
<b>Caudales y volumen de diseño</b>			
7	Captación	5,68 l/s	4,47 l/s
8	Conducción	5,2 l/s	4,0975 l/s
9	Tratamiento	5,2 l/s	4,0975 l/s
10	Tanque de reserva	100 m <sup>3</sup>	128,736 m <sup>3</sup>

**3.3.3 Determinación del diámetro de la tubería.** Para determinar el diámetro de la tubería se han considera los tramos correspondientes a las indicaciones en el esquema Anexo G, los mismos que se delimitan por los reductores de presiones que intervienen, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 11. Cotas de los rompe presiones

No.	Punto	Altura (m.s.n.m.)
1	Rompe presión TRP#1	2996,36
2	Rompe presión TRP#2	2951,69
3	Rompe presión TRP#3	2881,80
4	Rompe presión TRP#4	2832,25
5	Tanque de distribución	2787,50
	$\Delta Z$ total	262,31 m

Los detalles del dimensionamiento de los rompe presiones se presentan en el Anexo H.

### 3.3.3.1 Tramo 1

- $z_1 = 3049,81 \text{ m}$  Lugar de captación del agua
- $z_2 = 2996,36 \text{ m}$  Primer reductor de presión
- $L = 721,34 \text{ m}$
- $Tempagua = 15^\circ C$
- $\nu = 1,141 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  Viscosidad cinemática
- $Q = 4,0975 \text{ l/s}$
- $\varepsilon = 0,000009 \text{ m}$  Rugosidad PVC

*Algoritmo de solución:*

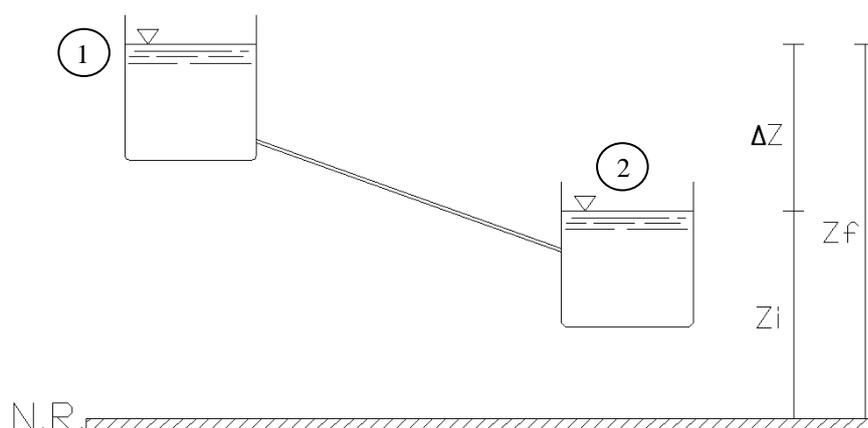
1. Se plantea el balance de energía mecánica entre el punto 1 y el punto 2:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (26)$$

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + 3049,81\text{m} + \frac{v_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + 2996,36\text{m} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$H_{r1-2} = 53,45 \text{ m}$$

Figura 8. Esquema conducción de agua por gravedad



2. Sabemos, que si la relación  $\frac{L}{D} > 1000$ , entonces se desprecia las pérdidas secundarias, teniendo para el análisis únicamente Pérdidas primarias o por longitud de tubería. Utilizando la ecuación de Darcy Weisbach  $H_{r1-2} = \lambda \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g}$  y la ecuación de caudal  $Q = V \cdot A$ , se despeja la incógnita a resolver en este caso sería el D.

$$H_{r1-2} = \lambda \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad (27)$$

$$53,45 \text{ m} = \lambda \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g}$$

Si  $V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}$  reemplazando y despejando la incógnita en la ecuación tenemos:

$$D = \sqrt[5]{\lambda \frac{L \cdot Q^2}{(z_1 - z_2) \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 \cdot 2 \cdot g}} \quad (28)$$

$$D = \sqrt[5]{\lambda \frac{721,34 \text{ m} \cdot \left(4,0975 \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}}\right)^2}{(53,45 \text{ m}) \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 \cdot 2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

3. El término  $\lambda$ , no lo conocemos. Así que la resolución se lo hace de manera iterativa, postulando como primer valor  $\lambda = 0.02$  ( $\lambda$  no puede ser mayor a 0.1 en ningún caso). Par determinar  $\lambda$ , se lo hace por ecuaciones o por el diagrama de Moody. Preferimos

hacerlo por la ecuación de Fanno al considerar que es un flujo turbulento cuyo número de Reynolds estará dentro del intervalo  $5 \times 10^3 \leq Re \leq 10^8$ .

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[ \log\left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right) \right]^2} \quad (29)$$

4. Con ello se determina el valor del diámetro y a partir de esto se determina:

$$\frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu} = \text{Número de Reynolds.} \quad (30)$$

$$\frac{\varepsilon}{D_i} = \text{Rugosidad relativa.} \quad (31)$$

5. El objetivo de las iteraciones es llegar a que los valores de  $\lambda$  coincidan. En este momento se aceptará el valor del diámetro correspondiente.

Tabla 12. Resultados del tramo 1

$\lambda$	<b>D [m]</b>	<b>V [m/s]</b>	<b>Re</b>	<b><math>\varepsilon/D</math></b>	<b><math>\lambda</math> calculado</b>
0,02	0,05185193	1,94043114	71358,2249	0,00017357	0,02002453
0,02002453	0,05186464	1,93947979	71340,7301	0,00017353	0,02002525
0,02002525	0,05186502	1,93945194	71340,2178	0,00017353	0,02002527
0,02002527	0,05186503	1,93945112	71340,2028	0,00017353	0,02002528
0,02002528	<b>0,05186503</b>	1,9394511	71340,2024	0,00017353	0,02002528

### 3.3.3.2 Tramo 2

- $z_1 = 2996,36 \text{ m}$  Primer reductor de presión
- $z_2 = 2951,69 \text{ m}$  Segundo reductor de presión
- $\Delta z = 44,67 \text{ m}$
- $L = 1671,92 \text{ m}$
- $Tempagua = 15^\circ C$
- $\nu = 1,141 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  Viscosidad cinemática
- $Q = 4,0975 \text{ l/s}$
- $\varepsilon = 0,000009 \text{ m}$  Rugosidad PVC

Tabla 13. Resultados del tramo 2

$\lambda$	D [m]	V [m/s]	Re	$\varepsilon/D$	$\lambda$ calculado
0,02	0,06358671	1,2903138	58189,2274	0,00014154	0,02068408
0,02068408	0,06401586	1,27307165	57799,1356	0,00014059	0,02070786
0,02070786	0,06403057	1,27248673	57785,8561	0,00014056	0,02070867
0,02070867	0,06403108	1,27246671	57785,4015	0,00014056	0,0207087
0,0207087	0,0640311	1,27246603	57785,3859	0,00014056	0,0207087
0,0207087	<b>0,0640311</b>	1,272466	57785,3854	0,00014056	0,0207087

### 3.3.3.3 Tramo 3

- $z_1 = 2951,69 \text{ m}$  Segundo reductor de presión
- $z_2 = 2881,80 \text{ m}$  Tercer reductor de presión
- $\Delta z = 69,89 \text{ m}$
- $L = 707,64 \text{ m}$
- $Tempagua = 15^\circ C$
- $\nu = 1,141 \times 10^{-6} m^2/s$  Viscosidad cinemática
- $Q = 4,0975 \text{ l/s}$
- $\varepsilon = 0,000009 \text{ m}$  Rugosidad PVC

Tabla 14. Resultados del tramo 2

$\lambda$	D [m]	V [m/s]	Re	$\varepsilon/D$	$\lambda$ calculado
0,02	0,048956	2,17678845	75579,3291	0,00018384	0,01986108
0,01986108	0,0488878	2,1828658	75684,7601	0,0001841	0,01985725
0,01985725	0,04888591	2,18303455	75687,6855	0,0001841	0,01985714
0,01985714	0,04888586	2,18303923	75687,7666	0,0001841	0,01985714
0,01985714	<b>0,04888586</b>	2,18303936	75687,7689	0,0001841	0,01985714

### 3.3.3.4 Tramo 4

- $z_1 = 2881,80 \text{ m}$  Tercer reductor de presión
- $z_2 = 2832,25 \text{ m}$  Cuarto reductor de presión
- $\Delta z = 49,55 \text{ m}$

- $L = 340,46 \text{ m}$
- $Tempagua = 15^\circ C$
- $\nu = 1,141 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  Viscosidad cinemática
- $Q = 4,0975 \text{ l/s}$
- $\varepsilon = 0,000009 \text{ m}$  Rugosidad PVC

Se utiliza el mismo algoritmo de solución:

Tabla 15. Resultados del tramo 4

$\lambda$	D [m]	V [m/s]	Re	$\varepsilon/D$	$\lambda$ calculado
0,02	0,04530341	2,5419452	81672,9067	0,00019866	0,0196569
0,0196569	0,0451469	2,55960047	81956,0485	0,00019935	0,01964823
0,01964823	0,04514292	2,56005202	81963,2772	0,00019937	0,01964801
0,01964801	0,04514282	2,5600635	81963,4611	0,00019937	0,01964801
0,01964801	<b>0,04514282</b>	2,5600638	81963,4658	0,00019937	0,01964801

**3.3.3.5 Tramo 5.** Después del último reductor de presión existe el tramo de tubería más largo 3,78 Km; en el cual también existe la cota más baja de ubicación de la tubería, alcanzando un  $\Delta z = 329,29 \text{ m}$  desde el TRP #4 hasta el Puente que cruza el río Chambo.

Debido a esta diferencia de altura que se traduce en una elevada presión en la tubería, es necesario seccionar este tramo en tres partes de manera que el sector inicial y final soporte presiones moderadas y el sector intermedio sea el de alta presión.

La determinación del diámetro de la tubería, se lo hace de la misma manera como en los anteriores casos, salvo que en este tramo será necesario determinará los puntos en donde se deba cambiar el material de la tubería debido a la presión que se maneja.

Esto se lo determina más adelante en la verificación de la selección de tuberías por presiones.

- $z_1 = 2832,25 \text{ m}$  Cuarto reductor de presión
- $z_2 = 2787,5 \text{ m}$  Tanque de distribución
- $L = 30780,74 \text{ m}$
- $Tempagua = 15^\circ C$

- $\nu = 1,141 \times 10^{-6} m^2/s$  Viscosidad cinemática
- $Q = 4,0975 l/s$
- $\varepsilon = 0,000009 m$  Rugosidad PVC

Tabla 16. Resultados del tramo 5

$\lambda$	D [m]	V [m/s]	Re	$\varepsilon/D$	$\lambda$ calculado
0,02	0,07483129	0,93166901	49445,3829	0,00012027	0,02129452
0,02129452	0,07577585	0,90858692	48829,0372	0,00011877	0,02134451
0,02134451	0,07581139	0,90773519	48806,1451	0,00011872	0,02134639
0,02134639	0,07581272	0,90770327	48805,2868	0,00011871	0,02134646
0,02134646	0,07581277	0,90770207	48805,2547	0,00011871	0,02134646
0,02134646	<b>0,07581277</b>	0,90770203	48805,2534	0,00011871	0,02134646

Se tabula los diámetros encontrados para proceder a la selección del diámetro de la tubería que exista comercialmente. El diámetro seleccionado proviene de la marca rival según el catalogo, como se indica en el anexo J.

Tabla 17. Diámetros calculados y seleccionados para el transporte de agua

TRAMO	Ø CALCULADO [mm]-[plg]	Ø SELECCIONADO Comercial [mm]-[plg]	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍA		
			Ø EXTERIOR [mm]	ESPEJOR DE PARED máximo. [mm]	SERIE TUBERÍA
1	51,87 - 2,04	63	63	3,5	10.0
2	64,03 - 2,52	75	75	3,4	12.5
3	48,89 - 1,92	63	63	3,5	10.0
4	45,14 - 1,78	63	63	3,5	10.0
5	75,81 - 2,98	90	90	5	10.0

Se revisan los valores de la presión a las cuales están expuestas las tuberías, la presión máxima a la que se encuentran sometidas será igual la suma de la presión estática o por columna de agua, más la presión cinética o por velocidad de fluido y más la presión producida por el golpe de ariete.

### 3.3.3.6 Evaluación de la tubería seleccionada por presión

*Cálculo del golpe de ariete.* El fenómeno del golpe de ariete consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua dentro de la tubería, es una variación de presión que se puede producir tanto en sistemas de bombeo como en abastecimientos por gravedad.

El valor de esta sobrepresión debe tenerse en cuenta en el dimensionamiento de la tubería para evitar sobredimensionamientos que encarezcan la instalación o diámetros calculados por defecto que en el peor de los casos conlleven a una rotura.

Describiendo este fenómeno se puede decir que si el fluido está circulando por una tubería a una velocidad determinada y mediante una válvula se le corta el paso totalmente, el agua más próxima a la válvula se detendrá bruscamente y será empujada por la que viene detrás. Como el agua es algo compresible, empezará a comprimirse en las proximidades de la válvula, y el resto del líquido comprimirá al que le precede hasta que se anule su velocidad. Esta compresión se va trasladando hacia el origen conforme el agua va comprimiendo al límite la que le precede, de manera que al cabo de un cierto tiempo toda el agua de la tubería está en estas condiciones, concluyendo la primera etapa del golpe de ariete.

En definitiva, se forma una onda de máxima compresión que se inicia en las proximidades de la válvula y se traslada al origen. La energía cinética que lleva el agua se transforma en energía de compresión. Cuando el agua se detiene, ha agotado su energía cinética y se inicia la descompresión en el origen de la conducción trasladándose hacia la válvula, y por la ley pendular esta descompresión no se detiene en el valor de equilibrio, sino que lo sobrepasa para repetir el ciclo. Esta descompresión supone una depresión, que retrocede hasta la válvula para volver a transformarse en compresión, repitiendo el ciclo y originando en el conducto unas variaciones ondulatorias de presión que constituyen el golpe de ariete. En definitiva, se producen transformaciones sucesivas de energía cinética en energía de compresión y viceversa, comportándose el agua como un resorte.

Para calcular el valor de esta sobrepresión en el caso de abastecimientos por gravedad se determinan los siguientes parámetros:

*Valor de la celeridad o velocidad de onda.* La celeridad ( $a$ ) es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería, por tanto sus dimensiones son  $LT^{-1}$ . Una expresión práctica propuesta por Allievi, que permite una evaluación rápida del valor de la celeridad cuando el fluido circulante es agua, es la siguiente:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k \frac{D}{e}}} \quad (32)$$

Siendo:

$k$ : Coeficiente en función del modulo de elasticidad ( $\epsilon$ ) del material constitutivo de la tubería

$D$ : Diámetro interior de la tubería

$e$ : Espesor de la tubería

En el caso de que la conducción esté constituida por tramos de tubería de diferentes características (diámetros, material, espesor, etc), se debe calcular una celeridad media.

Tabla 18. Valores de  $k$  para hallar la celeridad

**Valores de  $K$  para hallar la celeridad**

Material de la tubería	$\epsilon$ (kg/m <sup>2</sup> )	K
Palastros de hierro y acero	$2 \cdot 10^{10}$	0.5
Fundición	$10^{10}$	1
Hormigón (sin armar)	$2 \cdot 10^9$	5
Fibrocemento	$1.85 \cdot 10^9$	5.5 (5-6)
PVC	$3 \cdot 10^8$	33.3 (20-50)
PE baja densidad	$2 \cdot 10^7$	500
PE alta densidad	$9 \cdot 10^7$	111.11

Fuente: Ingeniería rural. Golpe de ariete [5]

A pesar de que en nuestro caso tenemos varias características de tuberías, el tramo que se ve afectado por el golpe de ariete solamente sería el final (tramo 5), ya que todos se encuentran enlazados por medio de rompe presiones.

La tabla siguiente detalla los valores de la celeridad para los 5 tramos de tubería que existe nuestro caso de estudio.

Tabla 19. Valores de celeridad para los distintos tramos de tubería

<b>TRAMO</b>	<b>Ø EXTERIOR [mm]</b>	<b>ESPESOR [mm]</b>	<b>Ø INTERIOR [mm]</b>	<b>CELERIDAD (a) [m/s]</b>
1	63	3,5	59,5	399,4014076
2	75	3,4	71,6	361,6032575
3	63	3,5	59,5	399,4014076
4	63	3,5	59,5	399,4014076
<b>5</b>	<b>90</b>	<b>5</b>	<b>85</b>	<b>399,4014076</b>

El valor que nos interesa manejar, debido a la explicación anterior es de  $a=399,401\text{m/s}$

*Tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de la bomba. Cierre lento y cierre rápido.* Se define el tiempo (T) como el intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, total o parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del fluido. Este concepto es aplicable tanto a conducciones por gravedad como a sistemas de bombeo, conociéndose en el primer caso como tiempo de cierre de la válvula y como tiempo de parada en el segundo. El tiempo de cierre de una válvula puede medirse con un cronómetro, es un tiempo físico y real, fácilmente modificable, por ejemplo, con desmultiplicadores, cambiando la velocidad de giro en válvulas motorizadas, etc.

Por el contrario, en el caso de las bombas, el tiempo de parada no puede medirse de forma directa y es más difícil de controlar.

Puesto que  $L$  es la longitud de la tubería, y  $a$  es la velocidad de propagación de la onda de presión,  $\frac{2L}{a}$  será el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa.

Por lo tanto si  $T < \frac{2L}{a}$  la maniobra ya habrá concluido cuando se produzca el regreso de la onda de presión y tendremos un *cierre rápido*, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Sin embargo si  $T > \frac{2L}{a}$ , se tratara de un *cierre lento* y ningún punto alcanzará la sobrepresión máxima, ya que la primera onda positiva reflejada (descompresión) regresa antes de que se genere la nueva onda negativa (compresión).

$$T < \frac{2L}{a} \text{ CIERRE RAPIDO} \quad (33)$$

$$T > \frac{2L}{a} \text{ CIERRE LENTO} \quad (34)$$

Como a mayor tiempo  $T$ , menor sobrepresión, si podemos controlar  $T$ , limitaremos en gran medida los problemas en tuberías, siendo éste el caso de los abastecimientos por gravedad.

En el caso de estudio el valor de este tiempo sería:

$$\frac{2 L_{Tramo 5}}{a} = \frac{23780,74m}{399,401m/s} = 18,932 s$$

De lo que podemos concluir que si la válvula al final del trayecto de conducción de agua se cierra antes de los 19s, se considera un cierre rápido; y un tiempo más prolongado acortaría el valor de la sobrepresión del ariete.

*Valor de la sobrepresión por golpe de ariete.* Ecuaciones de Michaud y Allieve. Una vez conocido el valor del tiempo  $T$  y determinado el caso en el que nos encontramos (cierre lento o cierre rápido), el cálculo del golpe de ariete se realizará de la forma siguiente:

**a) Para cierre rápido**

Se utiliza la ecuación de Allieve, la cual calcula el valor máximo del golpe de ariete que puede producirse en una conducción. Como se observa en la expresión este valor es independiente de la longitud de la tubería.

Se calcula el valor máximo de presión que puede producirse por el efecto de ariete.

$$\Delta H_A = \frac{a \cdot v}{g} \quad (35)$$

Donde:

$\Delta H_A$ : Sobrepresión debida a golpe de ariete según Allieve (m.c.a.)

$a$ : Celeridad (m/s)

$v$ : Velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ )

$$\Delta H_A = \frac{399,401 \text{ m/s} \cdot 0,908 \text{ m/s}}{9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta H_A = 37,006 \text{ m}$$

**b) Para cierre lento**

Se utiliza la ecuación de Michaud, en donde ese involucra la longitud de la tubería y también el tiempo de cierre de la válvula, pero no toma en cuenta la compresibilidad del agua ni la elasticidad de la tubería, por cuanto no aparece el termino de celeridad.

$$\Delta H_M = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T} \quad (36)$$

Donde:

$\Delta H_M$ : Sobrepresión debida a golpe de ariete según Michaud (m.c.a.)

$L$ : Longitud de tubería (m)

$v$ : Velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$T$ : Tiempo de cierre (s)

$$\Delta H_M = \frac{2 \cdot 3780,74 \text{ m} \cdot 0,908 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 18,932 \text{ s}}$$

$$\Delta H_M = 37,006 \text{ m}$$

El valor de sobrepresión resulta ser el mismo, pues en este caso estamos utilizando el valor del tiempo crítico, al tener la posibilidad de manipular este tiempo, por ser las válvulas manuales, se evidencia entonces que al mayorar dicho tiempo la sobrepresión disminuye; por ejemplo en un cierre que dure 30 s:

$$\Delta H_M = \frac{2 \cdot 3780,74 \text{ m} \cdot 0,908 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 30 \text{ s}}$$

$$\Delta H_M = 23,353 \text{ m}$$

Representando gráficamente las ecuaciones de Allievi y de Michaud, se observa que, si la conducción es lo suficientemente larga, las dos rectas se cortan en un punto, denominado *punto crítico*. La longitud del tramo de tubería regido por la ecuación de

Michaud se conoce como **longitud crítica** ( $L_c$ ), y su valor se obtiene, lógicamente, igualando las fórmulas de Michaud y Allievi.

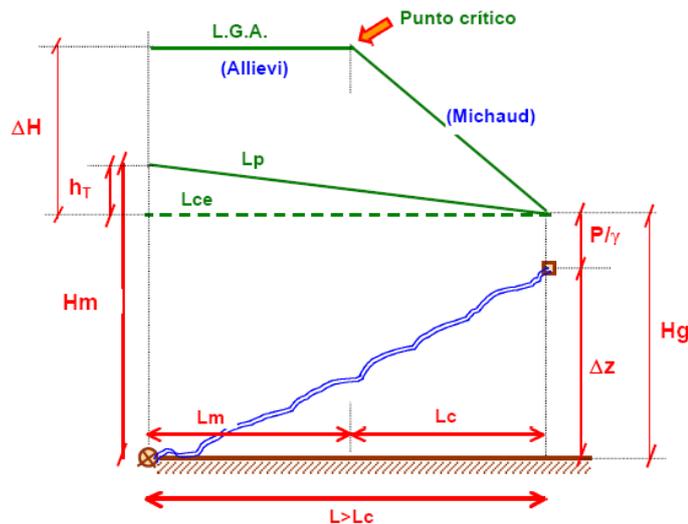
$$\frac{2 \cdot L_c \cdot v}{g \cdot T} = \frac{a \cdot v}{g}$$

$$L_c = \frac{a \cdot T}{2} \quad (37)$$

Excepto en el caso de ser la pendiente hidráulica mayor del 50% ( $\alpha = 26.6^\circ$ ), en que se recomienda considerar la sobrepresión de Allievi en toda la conducción, el valor así calculado lo soportará el tramo de tubería de longitud  $L_m$ , siendo  $L_m = L - L_c$ . La velocidad del fluido será tomada a partir del diámetro calculado.

La pendiente en nuestro caso es del 3,5% ( $\alpha = 2^\circ$ ).

Figura 9. Líneas de presiones para un sistema de conducción por gravedad [5]



Entonces tendríamos como longitud crítica:

$$L_c = \frac{399,401 \frac{m}{s} \cdot 30 s}{2}$$

$$L_c = 5991,015 m$$

Si  $L < L_c$ , se trata de una **impulsión (conducción) corta**, que se correspondería con un **cierre lento**, calculándose el golpe de ariete mediante la fórmula de Michaud.

Si  $L > L_c$  entonces la *impulsión (conducción) es larga* y el *cierre rápido*, siendo el valor del golpe de ariete el dado por Allievi desde la válvula hasta el punto crítico y por Michaud en el resto.

Tabla 20. Condiciones para cierre lento o cierre rápido

$L < L_c$	Impulsión corta	$T > \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$
$L > L_c$	Impulsión larga	$T < \frac{2 \cdot L}{a}$	Cierre rápido	Allievi	$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$

Fuente: Golpe de ariete, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de ciudad Real [5]

Para la conducción de San Vicente de Lacas,  $L < L_c$  (5991,015 m < 3780,74 m) se tiene una impulsión corta con cierre lento, utilizando la ecuación de Michaud, donde fácilmente se puede manipular el tiempo de cierre de la válvula.

A continuación se evalúa la tubería previamente seleccionada, en función de las presiones de trabajo.

Las presiones estáticas que se muestran en la tabla 21 corresponden a la columna de agua que soporta la tubería; en el caso del tramo 5, al tener un valor muy elevado el material de P.V.C. no satisface las necesidades. Refiérase a la Tabla 21.

Se propone el seccionamiento de este tramo de tubería en tres partes de manera que el sector inicial y final soporte presiones moderadas y el sector intermedio sea el de alta presión. Ver figura 10.

Los puntos donde se debería hacer el cambio del material de la tubería deben ubicarse a una diferencia de altura no mayor a 100 m (dado que es la presión de trabajo de la tubería considerando un margen de seguridad del 21,4%; aunque tomando como analogía la ubicación de los rompe presiones, existen referencias de que estos no se deben ubicar a un  $\Delta z$  mayor a 70 m) desde TRP#4 y desde el tanque reservorio, respectivamente como punto P1 y P2; estos seccionarían al tramo 5 en tramo 5A, 5B y 5C respectivamente como se indica en la figura 11.

La Tabla 22 muestra comparativamente los puntos propuestos y puntos actuales, cambio de material de tubería en el tramo 5.

La ubicación del punto P1 propuesto en comparación con el existente tiene una diferencia de apenas 2,25 m por lo que se da como aceptado. Mientras que la ubicación del punto P2 actual está excediendo el valor que se propone al utilizar la tubería de P.V.C. para presión que se ha seleccionado. Se propone en este caso, que el punto P2 se ubicara a 284,57 m aguas arriba, conforme a la pendiente topográfica del sector, asegurando que la diferencia de alturas es de 100 m como se propone en el punto P2m.

De esta manera quedaría demostrado que, el material de la tubería en los tramos 5A y 5C, funcionará correctamente con aquel que se seleccionó anteriormente (P.V.C. para alta presión).

Para el tramo 5B se selecciona tubería de acero bajo la norma ASTM A53, Los tubos ordenados bajo esta especificación son productos que se obtiene por laminación en caliente de un tocho de acero estructural y se destinan para usos a presión media, alta y mecánicos y son también aceptables para usos comunes en líneas de fluidos poco corrosivos como vapor, agua, gas y aire. Son adecuados para soldado y para operaciones de conformado que involucren enrollado, doblado y formación de bridas según su tipo.

Tabla 21. Verificación mediante la presión de trabajo de la tubería seleccionada

TRAMO	PRESIÓN ESTÁTICA $\Delta z$ [m. c. a.]	PRESIÓN DINÁMICA $\frac{v^2}{2g}$ [m. c. a.]	P. GOLPE DE ARIETE $\Delta H_M$ [m. c. a.]	PRESIÓN TOTAL [m. c. a.] [psi]	PRESIÓN TRABAJO TUBERÍA [m. c. a.] [psi]	TIPO TUBERÍA
1	53,45	0,111	-	53,561 - 76,174	127,259 - 181	P.V.C. para presión
2	44,67	0,053	-	44,723 - 63,605	101,948 - 145	P.V.C. para presión
3	69,89	0,111	-	70,001 - 99,555	127,259 - 181	P.V.C. para presión
4	49,55	0,111	-	49,661 - 70,627	127,259 - 181	P.V.C. para presión
<b>5</b>	<b>329,29</b>	<b>0,027</b>	<b>37,006</b>	<b>366,32 - 520,98</b>	<b>127,259 - 181</b>	<b>P.V.C. para presión</b>

Tabla 22. Comparación de los puntos propuestos y puntos actuales, cambio de material de tubería para el tramo 5

PUNTOS PROPUESTOS	$\Delta z$ propuesto	PTOS ACTUAL	$\Delta z$ actual	$\Delta z_p - \Delta z_a$	OBSERVACIÓN
<b>P1</b>	100 $(Z_{TRP\#4} - Z_{P1})$	P1	102,25 $(Z_{TRP\#4} - Z_{P1})$	2,25	Aceptado
<b>P2m</b>	100 $(Z_{RSRVA} - Z_{P2m})$	P2	129,32 $(Z_{RSRVA} - Z_{P2})$	29,32	Cambio de ubicación del punto P2

Figura 10. Esquema Tramo 5 instalación actual de la tubería

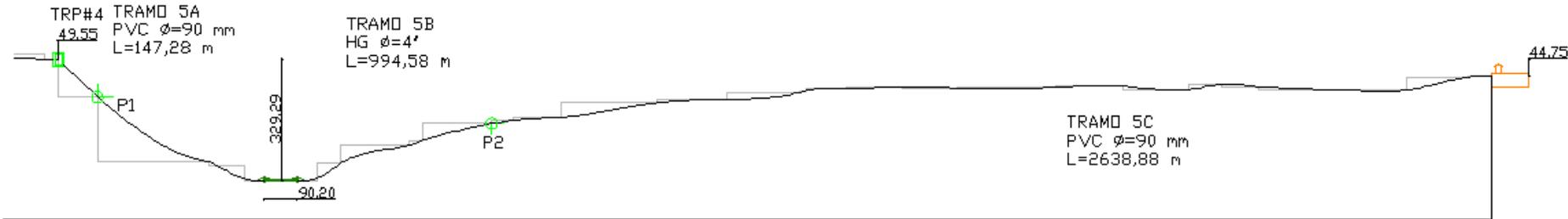
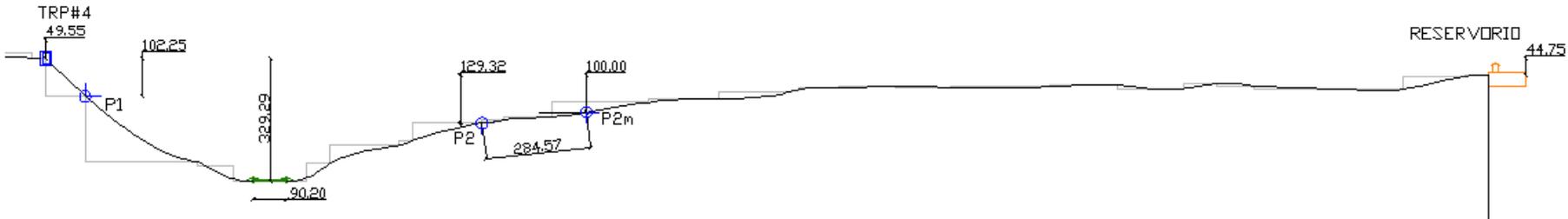


Figura 11. Esquema Tramo 5, puntos propuestos de cambio de material de tubería



Según el catálogo de tubos de acero para conducción de fluidos COVAL, el cual se encuentra en el Anexo K, se selecciona el diámetro de la tubería. Con las siguientes características:

Tabla 23. Catálogo de selección de diámetros de tubería

DIAMETRO NOMINAL NPS	DIAMETRO EXTERIOR (Pulg.)	ESPESOR DE PARED (Pulg.)	PESO TUBO 6 M.		LARGO DEL TUBO (M)	PRESION DE PRUEBA (psi)
			Negro (kg)	Galvanizado (Kg)		
1/4"	0.540	0.088	3.793	4.137	6.00	700
3/8"	0.675	0.091	5.067	5.512	6.00	700
1/2"	0.840	0.109	7.597	8.155	6.00	700
3/4"	1.050	0.113	10.096	10.810	6.00	700
1"	1.315	0.133	14.990	15.891	6.00	700
1 1/4"	1.660	0.140	20.290	21.450	6.00	1200
1 1/2"	1.900	0.145	24.264	25.603	6.00	1200
2"	2.375	0.154	32.613	34.307	6.00	2300
2 1/2"	2.875	0.203	51.719	53.757	6.00	2500
3"	3.500	0.216	67.636	70.141	6.00	2220
4"	4.500	0.237	96.355	99.587	6.00	1900
6"	6.625	0.280	169.399	174.239	6.00	1520

Fuente: Coval.com (2010). Tubos de acero para instalaciones de gas y conducción de fluidos [6]

Con lo cual se tendría una conformación de los tramos de la tubería de la siguiente manera:

Tabla 24. Tipos de tuberías para los distintos tramos de conducción

TRAMO	PRESIÓN TOTAL [m. c. a. ][psi]	PRESIÓN TRABAJO TUBERÍA [m. c. a. ][psi]	TIPO TUBERÍA
1	53,561 - 76,174	127,259 - 181	P.V.C. para presión
2	44,723 - 63,605	101,948 - 145	P.V.C. para presión
3	70,001 - 99,555	127,259 - 181	P.V.C. para presión
4	49,661 - 70,627	127,259 - 181	P.V.C. para presión
5A	102,25 - 145,429	127,259 - 181	P.V.C. para presión
5B	366,323 - 520,984	1335,866 - 1900	Tubería acero norma ASTM A36
5C	100 - 142,229	127,259 - 181	P.V.C. para presión

El anexo C se indica el esquema de tubería actual de conducción, y en el anexo G se muestra el sistema de conducción con la tubería propuesta.

**3.3.3.7 Comparación de datos.** La tabla 25 cita comparativamente los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica.

De lo que se puede evidenciar que existen dos datos a los cuales objetamos:

- El primero es que el Tramo 2 puede ser de un diámetro nominal de 75 mm, dada su longitud de 1671,92 m, el valor económico economizado sería significativo.
- Y segundo, el punto de cambio de material de la tubería, del Tramo 5B al Tramo 5C, se lo debería ubicar a 284,57 m aguas arriba, de tal manera que el  $\Delta z$  entre este punto y el tanque de distribución no sea mayor a 100m y la presión de trabajo de la tubería seleccionada posea un margen de seguridad del 22% aproximadamente.

#### **3.4 Red de distribución del agua potable en la comunidad**

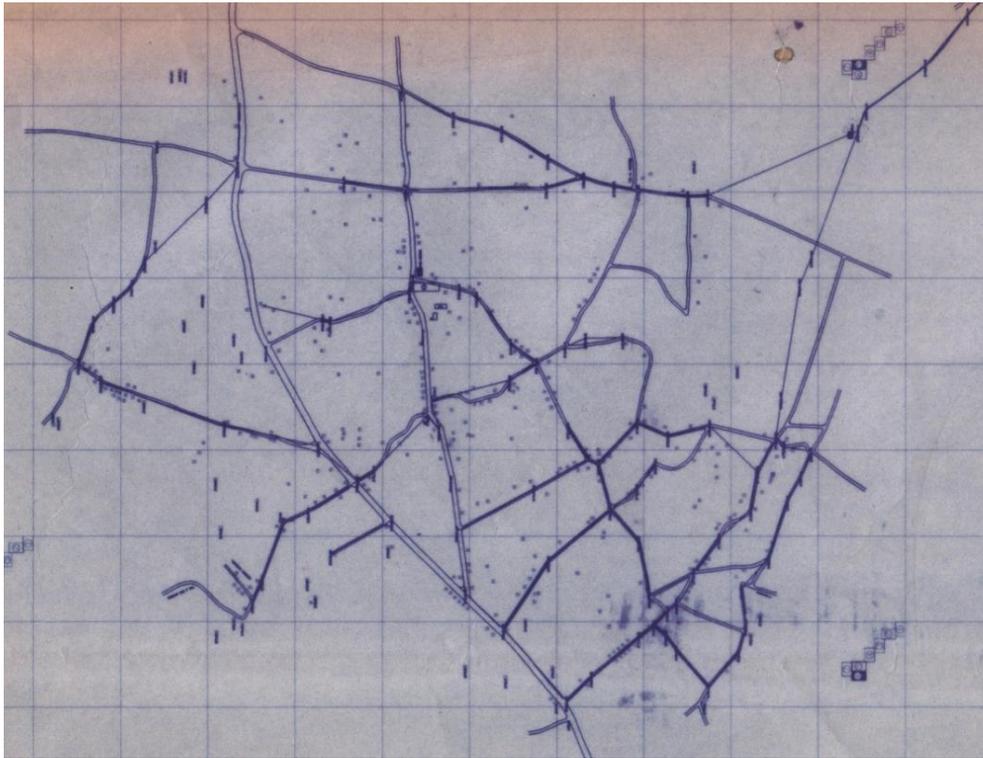
La comunidad San Vicente de Lacas cuenta con un sistema de distribución de circuito cerrado, esta característica es beneficiosa cuando se conduce agua tratada con presencia de cloro libre, debido a que no existen puntos de estanqueidad o ramales que permanezcan inactivos, cuando el usuario no requiera de agua, y el nivel de cloro libre en dichos lugares no tiende a elevarse.

La figura 12 muestra un croquis de la tubería para la distribución de la comunidad. Para una mejor administración técnica y económica de este sistema, San Vicente de Lacas se encuentra dividido en 8 sectores, delimitados por los ramales de la tubería que se hallan instalados por los distintos caminos que comunican los sectores de la comunidad. En la figura 13 se presenta esta distribución sectorizada.

Tabla 25. Comparación tubería actual y propuesta por evaluación hidráulica

TRAMO	TUBERÍA ACTUAL			TUBERÍA PROPUESTA POR EVALUACIÓN HIDRÁULICA				
	DIÁMETRO NOMINAL [mm]	PRESIÓN TOTAL [m. c. a. ][psi]	LONGITUD [m]	DIÁMETRO NOMINAL [mm]	PRESIÓN TOTAL [m. c. a. ][psi]	LONGITUD [m]	PRESIÓN TRABAJO TUBERÍA [m. c. a. ][psi]	TIPO TUBERÍA
1	63	53,561 - 76,174	721,34	63	53,561 - 76,174	721,34	127,259 - 181	P.V.C. para presión
2	90	44,723 - 63,605	1671,92	75	44,723 - 63,605	1671,92	101,948 - 145	P.V.C. para presión
3	63	70,001 - 99,555	707,74	63	70,001 - 99,555	707,74	127,259 - 181	P.V.C. para presión
4	63	49,661 - 70,627	340,46	63	49,661 - 70,627	340,46	127,259 - 181	P.V.C. para presión
5A	90	102,25 - 145,429	147,28	90	102,25 - 145,429	147,28	127,259 - 181	P.V.C. para presión
5B	4"	366,323 - 520,984	994,58	4"	366,323 - 520,984	1279,15	1335,866 - 1900	Tubería acero norma ASTM A36
5C	90	100 - 142,229	2638,88	90	100 - 142,229	2354,31	127,259 - 181	P.V.C. para presión

Figura 12. Croquis tubería para la red de distribución de agua San Vicente de Lacas



Fuente. Memoria técnica proyecto de potabilización de agua para la comunidad 2006

Figura 13. Sectores de la red de distribución San Vicente de Lacas



Fuente. Memoria técnica proyecto de potabilización de agua para la comunidad 2006.

Esta acción limítrofe colabora en la determinación de las Redes o sectores para valores de monitoreo de cloro residual, como se indica en la figura 14.

La determinación de los sectores se la realiza en base a la proporción que tiene la comunidad y la longitud de la tubería que circula y limita a cada uno de los sectores

El conocimiento aproximado del tamaño de estas redes se vuelve imprescindible cuando se realice el monitoreo de cloro residual y compararlo con los valores que dicte la norma, como se verá en el capítulo siguiente.

Figura 14. Redes para monitoreo de cloro residual



## CAPÍTULO IV

### 4. SISTEMA ACTUAL DE DOSIFICACIÓN DE CLORO

#### 4.1 Breve reseña del sistema actual de dosificación de cloro

El sistema actual de cloración en la comunidad “San Vicente de Lacas” se constituyó como un proyecto que a través de sus dirigentes solicitó a FUNDECOM un financiamiento para la construcción del sistema de agua potable. Este pedido se realiza debido a las condiciones inadecuadas de salubridad que poseía.

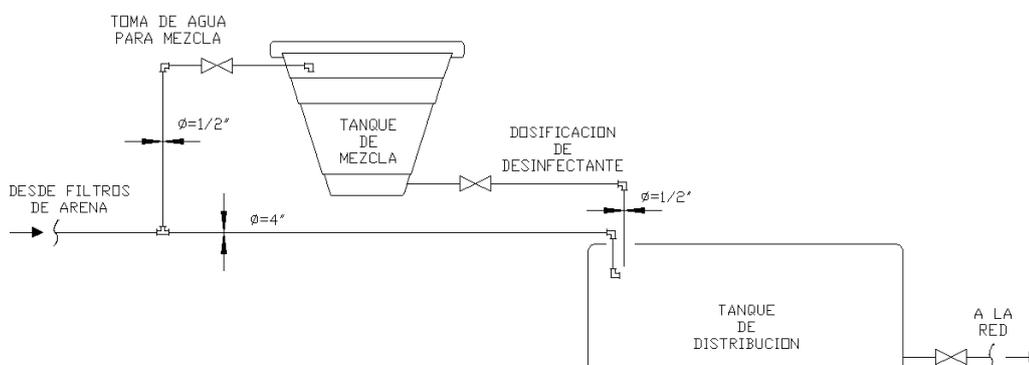
Las instalaciones, que se han dado uso desde marzo del 2006, concuerdan con los programas que realizaba la SSA, teniendo como desinfectante el hipoclorito de calcio, por tal razón, está sujeto a características que evidencian la dependencia de un operador y la inexactitud en su funcionamiento. En la actualidad proyectos de esta naturaleza son promovidos y regulados por el MIDUVI.

#### 4.2 Descripción de partes y funcionamiento

El sistema actual de desinfección del agua mediante hipoclorador se conforma de las siguientes unidades:

- Tanque para mezclado
- Toma de agua para mezcla
- Conducción de la mezcla y válvula de dosificación

Figura 15. Esquema de dosificación, desinfección actual San Vicente de Lacas



**4.2.1** *Tanque de mezclado.* Consiste en un tanque de polietileno, con capacidad para 100 litros, en este tanque se realiza la mezcla de cloro y agua. Aquí es donde se requiere que el operador agregue la cantidad necesaria de cloro para las características del agua. La SSA, provee a las JAAP de una “Cartilla para operadores de Sistemas de Agua Potable Rural” la cual en uno de sus temas indica el importe de hipoclorito de calcio con el cual trabajan estos sistemas.

La preparación actual de la solución por parte del operador consiste en agregar la cantidad de hipoclorito de calcio aproximadamente de 2lb al tanque que ha sido llenado con aproximadamente 100 l de agua y agitar por un par de minutos, hasta que se produzca una mezcla homogénea sin la dilución del desinfectante. Procedimiento que no está sujeto a la cartilla de SSA.

Figura 16. Tanque para mezclado, desinfección actual San Vicente de Lacas



**4.2.2** *Toma de agua para la mezcla.* El agua que sale de los filtros de arena es conducida hacia el tanque de reserva.

Figura 17. Toma de agua para la mezcla, desinfección actual San Vicente de Lacas



Antes del final de este caño existe una conexión mediante una tubería PVC de ½” que conduce una porción del agua hacia el tanque de mezclado. El líquido se utiliza para realizar la mezcla de la solución para la desinfección.

**4.2.3** *Conducción de la mezcla y válvula de dosificación.* En la base del tanque de mezclado existe una válvula de compuerta, la cual dosifica la mezcla de desinfectante más agua; esta solución es conducida por una manguera que termina junto a la tubería de entrada de agua al tanque distribución, con el propósito de que dicha mezcla se combine de mejor manera al estar en contacto directo con el chorro de agua que sale de esta tubería.

La apertura de la válvula establece el caudal de dosificación de desinfectante que deberá ingresar al tanque de distribución. Actualmente el porcentaje de apertura de la válvula se la determina de forma empírica estimando un tiempo de duración de la mezcla de al menos 2 días.

Figura 18. Conducción de la mezcla y válvula de dosificación, desinfección actual San Vicente de Lacas



### **4.3 Problemas en el funcionamiento**

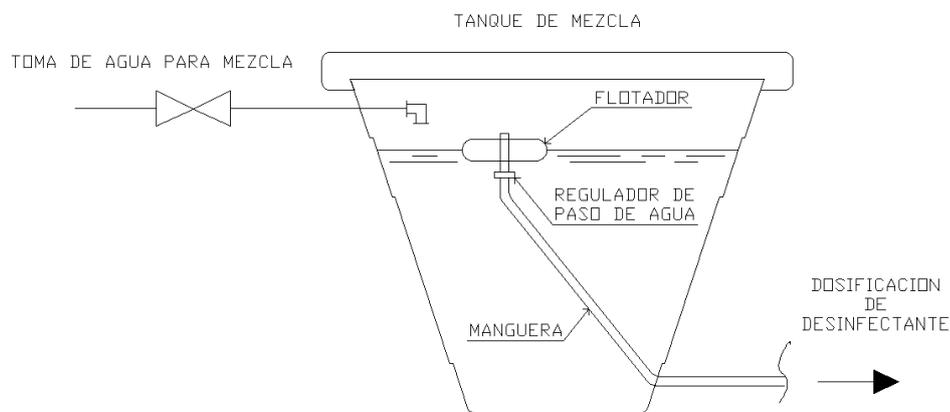
En el sistema actual de desinfección de agua en la comunidad existen 5 parámetros de mal funcionamiento:

- Inexistencia de flotador
- Inadecuada preparación de la solución de hipoclorito de calcio
- Incorrecta dosificación de la solución de hipoclorito de calcio
- Sistema inexacto y generalista
- Falta de monitoreo de cloro residual

**4.3.1** *Inexistencia del flotador.* La toma de solución en la parte inferior del tanque recoge partículas sedimentadas, sean estas por hipoclorito no disuelto o polvo que ha filtrado desde el exterior.

Para sistemas con hipocloradores, se establece la instalación de un flotador, unidad que consiste en la toma de solución instalada conjuntamente con una boya y reguladores de paso de caudal. De esta manera la toma de solución no se instala cerca de la arista inferior del tanque y así se evita captar una solución con sedimentos.

Figura 19. Esquema de flotador, SSA



**4.3.2** *Inadecuada preparación de la solución de hipoclorito de calcio.* Actualmente la solución que se visualiza en el tanque de mezclado posee excesiva presencia de sedimentos de hipoclorito granulado debido a un mal proceso en la preparación de la solución. Esto ocasiona que la solución que se está dosificando carezca de la cantidad de cloro presumida, consecuentemente un déficit de cloro libre en la red.

Según la cartilla proporcionada por la SSA, se recomienda que la preparación de la solución se la realice en un recipiente con un volumen aproximado de 1 galón, y no directamente en el tanque de mezclado.

Después de tomar la cantidad necesaria de hipoclorito, con un recipiente de volumen conocido (preferible de caucho o plástico), se agrega agua en dicho recipiente y se precede a remover la solución constantemente hasta que la granulación del hipoclorito haya desaparecido completamente, una vez terminado este proceso se vacía el contenido en el tanque de mezclado.

El cálculo de desinfectante a suministrarse se basa en el caudal de ingreso de agua a la planta. Este se lo realiza por el método del estimado y proporciona una tabla:

Tabla 26. Cálculo del hipoclorito de calcio, según método del estimado

CAUDAL	HIPOCLORITO DE CALCIO AL 70%	
	GRAMOS	LIBRAS Y ONZAS
1	123,4	4 Oz
2	246,8	8,8 Oz
3	370,2	13 Oz
4	494,7	1 lb + 1 Oz
5	617,1	1 lb + 6 Oz
6	740,5	1 lb + 10 Oz
7	864,0	1 lb + 14 Oz
8	987,4	2 lb + 3 Oz
9	1 110,8	2 lb + 7 Oz
10	1 234,0	2 lb + 11 Oz

Fuente: “Cartilla para operadores de sistemas de agua potable rural” SSA. [7]

Los valores hacen referencia a la cantidad de agua que ingresa a la planta, y dependiendo de estos la cantidad de hipoclorito de calcio a agregarse cada día. Para la elaboración de esta tabla se toma como referencia que para desinfectar 1 m<sup>3</sup> de agua se necesita 1 g de cloro al 100%.

En el caso de la comunidad San Vicente de Lacas que maneja un caudal de 5,68 l/s sería un cálculo como el siguiente:

La cantidad de agua que ingresa a la planta:

$$5,68 \frac{l}{s} \times 86400 \frac{s}{día} = 490752 \frac{l}{día} = 490,75 \frac{m^3}{día}$$

Como el hipoclorito a utilizarse tiene 70% de concentración entonces se necesita:

$$\frac{1 \text{ gal } 100\%}{0,7} = 1,42 \text{ g de hipoclorito de calcio}$$

$$490,75 \frac{m^3}{día} \times 1,42 \frac{g}{m^3} = 698,87 \frac{g}{día} = 24,06 \text{ Oz} = \frac{1lb + 80z}{día}$$

Valor similar al dato tabulado conseguido por el método del estimado.

Para un cálculo aun más fácil este mismo documento presenta la siguiente relación, de manera que para el operador sea fácil de recordar:

$$\text{Dosificación} = \frac{4 \text{ Oz de hipoclorito}}{1 \frac{l}{s}}$$

Figura 20. Sedimentación de hipoclorito de calcio. Desinfección actual en San Vicente



**4.3.3** *Incorrecta dosificación de la solución de hipoclorito de calcio.* La dosificación que se realiza con el sistema de hipoclorador en la comunidad, carece de control en cuanto a cantidad y tiempo.

Luego de haber sido preparado la solución, lo que se hace es abrir la válvula de dosificación en una medida determinada empíricamente, estimándose así que la cantidad de desinfectante preparado se terminará dentro de 2 ó 3 días.

La recomendación para la dosificación de este desinfectante según la SSA, es que toda la preparación que se encuentra en el tanque de mezclado se debe terminar en un día. Es decir que la solución se ha de preparar a diario, debido a que el cloro es un elemento que posee gran volatilidad de manera que su concentración disminuiría en la mezcla en función del tiempo. Además de esto la sedimentación que se presentaría sería contrarrestada.

El caudal de dosificación de la solución se determina en función al tanque de mezcla en el caso de la comunidad que se está tratando sería:

$$Q_{dosis} = \frac{100 \text{ l}}{1440 \text{ min}} 0,069 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Figura 21. Incorrecta dosificación de la solución de hipoclorito de calcio, desinfección actual San Vicente de Lacas



Para conseguir este caudal se recomienda tener un recipiente de 200 cm<sup>3</sup>, y este debe llenarse en 3 min. Repetir este principio varias veces para determinar el porcentaje de apertura de la válvula dosificadora.

**4.3.4** *Sistema inexacto y generalista.* La metodología que utilizan los programas de saneamiento para las JAAP, no es particularizada, por ello se elaboraron las cartillas para operadores, mediante las cuales todas las personas tienen un referente para el proceso de potabilización de agua.

Esta manera de desinfección deja de lado las condiciones singulares de cada zona donde se haya creado una JAAP, puesto que hay agentes adversos como el caudal variable y condiciones climáticas desfavorables, por ejemplo en invierno cuando se produce el lavado de laderas y aumenta la cantidad de microorganismos en el agua a utilizar, que alteren la calidad del líquido que esté llegando a la planta de tratamiento. Estos dos factores van a alterar la cantidad de cloro necesaria para el agua.

Como se explica anteriormente, la dependencia del sistema de desinfección actual de un operador es inevitable, la responsabilidad que este asume es vital para el correcto funcionamiento. La dosis de cloro en la preparación está determinada por su correcta

labor tanto en la cantidad de hipoclorito a utilizar como en el proceso que realice, quedando una brecha muy amplia para una incorrecta dosificación.

**4.3.5 Falta de monitoreo de cloro residual.** Monitoreo de cloro residual es el proceso mediante el cual se mide la cantidad de cloro residual que existe en la red de distribución de agua. Consiste en tomar muestras de agua de tres sectores que se determina dentro de la zona a analizar a los se los llama: red alta, red media y red baja. Cada uno de estos sectores indica en su nombre cuán lejos se encuentran respecto del tanque de distribución, así la red alta será la zona más cercana.

El operador de la JAAP de la comunidad San Vicente de Lacas, realiza un monitoreo en intervalos de 6 meses, junto a este realiza los exámenes microbiológicos y físico-químico del agua. Las muestras se las toma de manera aleatoria dentro de la comunidad.

La cartilla de la SSA, establece que la obligación del operador es realizar diariamente el muestreo de cloro residual, una de cada zona, es decir tres tomas.

La compilación de estos datos se los traduce en informes diarios y mensuales, en el segundo se detalla la cantidad de hipoclorito sobrante al mes y las adquisiciones que se hagan del mismo.

#### **4.4 Análisis físico-químico y microbiológico del agua y monitoreo de cloro residual.**

En una planta potabilizadora de agua, existen tres medios por los cuales se evalúa la calidad de agua que se está administrando, y son los análisis fisicoquímico y microbiológico del agua y monitoreo de cloro residual.

Los parámetros bajo los cuales se realizan estos exámenes y monitoreo, los dictamina la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108. En ella se estipulan los valores permisibles de las características físicas químicas y microbiológicas, conjuntamente con los valores de cloro residual. Algunos de estos valores pueden variar en algunos países, esto dependerá de la estandarización que corresponda a ese sector, cumpliendo con las características del agua a tratarse.

Como parte inicial para la implementación de un nuevo sistema de cloración de agua, se realizan los análisis fisicoquímico y microbiológico, con los resultados de estos se

determina si la potabilización del agua será suficiente con el proceso de filtrado y posterior cloración o se necesita de procesos adyacentes, en el caso de que la calidad del agua fuera menor.

**4.4.1** *Análisis fisicoquímico y microbiológico.* El análisis fisicoquímico muestra las características básicas del agua tales como el Ph, turbiedad, dureza, alcalinidad, entre otros. Sirve como un indicador de la calidad del líquido que se está tratando.

En el análisis químico se utilizan las reacciones químicas y las reacciones de distribución para efectuar la cualificación o cuantificación del analito (valoraciones químicas). Las reacciones químicas se vuelven entonces el elemento cuantificador central del método.

En el análisis fisicoquímico se utilizan las interacciones energía-materia para efectuar la cualificación o cuantificación del analito (valoraciones instrumentales). Toda vez que para llevar a cabo experimentalmente las interacciones energía-materia se requiere de instrumentación más sofisticada que aquella usada en los métodos químicos, suele llamarse a los métodos fisicoquímicos métodos instrumentales de análisis.

Mientras que el análisis microbiológico busca determinar la existencia en el agua de microorganismos patógenos, cuya presencia afecte a los seres humanos y a las especies animales mayores, en algunos casos se centra en la determinación de las especies patógenas para el hombre. Dado que buscar todo tipo de microorganismos de este tipo resulta costoso y complicado por su diversidad y porque la relación patógenos/no patógenos es muy pequeña, se realiza un control de agua a través de indicadores microbiológicos de contaminación.

Para que un microorganismo sea considerado como indicador microbiológico debe reunir ciertas condiciones que son:

- Debe ser incapaz de desarrollarse en el agua.
- Debe tener una supervivencia en el agua superior a los organismos patógenos.
- Debe soportar mejor a los desinfectantes.
- Deben ser fáciles de aislar, contar e identificar.
- Deben ser muy abundantes en heces y escasos en otros medios.

La normativa recoge una serie de análisis, de los cuales los más comunes son los Coliformes totales y fecales.

**4.4.1.1** *Metodología para obtención de la muestra.* Se realiza un tipo de muestreo simple, es decir se toma una muestra puntual en espacio y tiempo.

La muestra pertenece al agua que ingresa al tanque de distribución, es decir es el líquido que ha pasado por los filtros de arena y esta justo antes de entrar a la etapa de cloración. El recipiente en el que se ha transportado, es una botella de 200cm<sup>3</sup> de politereftalato de etileno (polietilertefalato o PET, material usado para envase de bebidas carbonatadas y agua).

Desde la tubería de 2" a una distancia de 50cm se consigue directamente del chorro un volumen igual al del recipiente, previo a esto el envase debe ser lavado con el mismo flujo unas tres veces.

Instantáneamente después de llenar el recipiente se lo tapa de forma segura y se lo lleva al laboratorio dentro de un cooler, para mantener su temperatura y evitar el contacto con la luz. El tiempo transcurrido en el transporte fue de aproximadamente 2h30min. La muestra fue etiquetada informando su código o identificación, hora y fecha de la toma, lugar, persona que la realizó y número de muestras.

Esta cantidad de agua se la utilizó para el análisis fisicoquímico y también para el análisis microbiológico.

**4.4.1.2** *Resultados obtenidos.* El análisis se lo llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH en primera instancia, luego junto a la colaboración de las laboratoristas de EMAPAR-EP. Los resultados se muestran en el Anexo I.

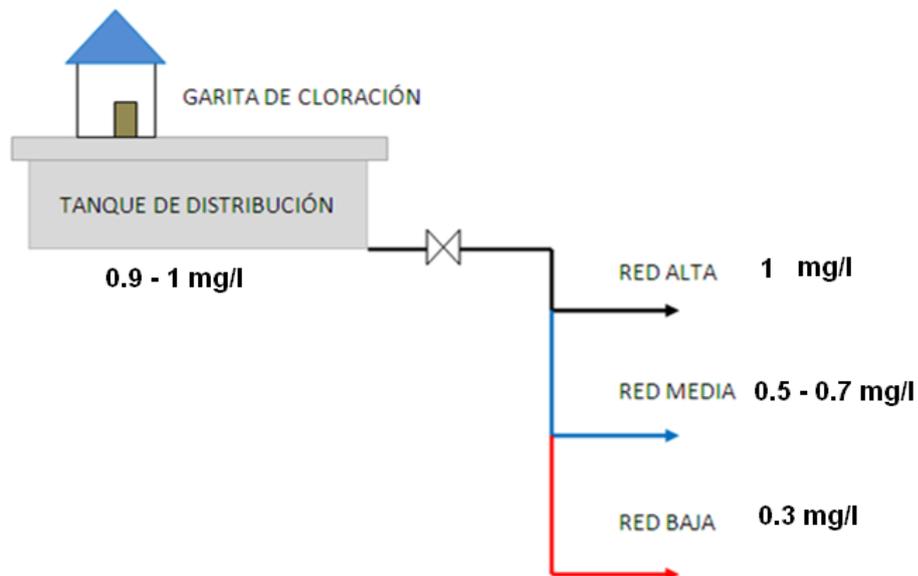
**4.4.2** *Monitoreo del cloro residual.* La efectividad del proceso de desinfección del agua que se realiza, se puede cuantificar mediante análisis bacteriológicos en búsqueda de microorganismos patógenos. Debido a que este procedimiento resulta teórico, técnico y financieramente imposible, en muchos casos se utiliza el método de detección de organismos indicativos de contaminación fecal o indicadores microbiológicos de contaminación, como se los denominó anteriormente, tal como la búsqueda de bacterias coliformes fecales.

Estas presentan un indicador de referencia y su detección es relativamente sencilla y de bajo costo. Pero a pesar de la ausencia de coliformes fecales, esto no significa la ausencia total de microorganismos patógenos, aunque se acepta que una muestra de agua con ausencia de coliformes fecales es bacteriológicamente apta para el consumo humano.

Con la determinación de cloro residual libre en la red de distribución, que es la forma habitual y expedita en que se lleva a cabo la vigilancia de la calidad del agua, cuya presencia en la línea de distribución señala de manera inequívoca la eficiencia de la desinfección. Además de realizar el análisis microbiológico, se comprueba la eficacia de la desinfección o en su caso la necesidad de ésta, para lo cual es necesario realizar esfuerzos de vigilancia.

La presencia del cloro residual es necesaria debido a que el agua después de su cloración, al circular por las tuberías, queda expuesta a posibles contaminaciones asociadas al mismo ducto por el que se conduce, pudiendo crearse un crecimiento microbiano. Así el cloro residual actuará y se consumirá a lo largo de la red de distribución. La cantidad de cloro residual que existe en la red, viene dada en función de la longitud de tubería por donde haya circulado el agua después de su desinfección; a mayor distancia, menor será el valor del cloro libre. En instalaciones donde la red de distribución sea muy extensa se adopta sistemas de cloración intermedios en la red para mantener la cantidad de cloro residual presente.

Figura 22. Esquema de sectores para valores de monitoreo de cloro residual



El cloro da un sabor al agua. Dependiendo de los países y los hábitos de los consumidores, la "concentración de cloro residual tolerada" puede tener gran variación. En Europa, la mayoría de los países limitan este contenido a un nivel muy bajo, del orden del 0,1mg/l. En los Estados Unidos y en América en general, donde el sabor a cloro equivale a la garantía de un agua de calidad, dicho valor es de 1mg/l. La O.M.S. considera que una concentración de 0.5mg/l de cloro libre residual en el agua, después de un tiempo de contacto de 30 minutos garantiza una desinfección satisfactoria.

Los valores en los que debe fluctuar este cloro residual en la red, siguiendo la normativa INEN 1108 son de 0,3 a 1,5 mg/l.

La cantidad de cloro residual es por consiguiente, una señal de alarma eficaz, inmediata y poco costosa, que permite monitorear la evolución de la calidad microbiológica en la red, y evitar una contaminación del líquido desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llegue al grifo del consumidor.

El monitoreo del cloro residual se lo debe realizar diariamente y las muestras provienen de tres sectores dentro de la comunidad. Comúnmente llamados red alta, media y baja.

Cuando el tanque de distribución, se encuentre muy alejado de la red alta, es decir que esté muy distante de la primera conexión domiciliaria, el cloro residual en el tanque de distribución, deberá tener un valor más alto y el monitoreo abarcaría cuatro sectores, el tanque de distribución más las tres redes.

En instalaciones de menor tamaño como en el caso de la comunidad San Vicente de Lacas, se conserva los mismos tres sectores, tomando en cuenta que el tanque de distribución se anexa a la red alta.

#### **4.4.2.1** *Métodos de determinación de cloro libre*

*Método OTA.* En la actualidad este método no es el más recomendado, pero sigue siendo utilizado debido a su simplicidad y rapidez. Se conoce como método de **ortotolidina-arsenito**.

La ortotolidina es un compuesto aromático oxidable en solución ácida por el cloro, las cloraminas y otros oxidantes, esta oxidación produce un compuesto de color amarillo.

La intensidad de color amarillo es proporcional a la cantidad de cloro residual presente, obedecerá a la ley de Beer y permite determinar la concentración de cloro por comparación colorimétrica.

El arsenito, los nitritos y las formas oxidadas del manganeso oxidan la ortotolidina y de esta manera producen errores en la determinación.

- **Procedimiento**

Se toman 5 ó 10 ml de muestra de agua y se colocan en un tubo de ensayo de esta capacidad. Se les agregan 3-5 gotas de solución de ortotolidina y de inmediato la solución adquiere un color amarillo en la presencia de cloro libre.

El color de la muestra se compara con la escala de concentración de cloro y de esta manera se estima su concentración.

Figura 23. Colorímetro de ortotolidina



*Método DPD (Dynamic Peer Detection).* El método DPD, permite diferenciar cloro libre, monocloramina, dicloramina y tricloramina.

La reacción del cloro libre y el DPD produce instantáneamente un color rosa cuya intensidad es directamente proporcional a la cantidad de cloro residual existente, esta medida de color se la hace con un espectrofotómetro, lo que garantiza un resultado más exacto del análisis. En varios casos, por razones de costo, también se utilizan comparadores visuales como en el caso anterior.

Debido a las reacciones químicas que se producen con el DPD, la coloración no tiene interferencias como en el caso de la ortotolidina, de modo que este método es más confiable.

- **Procedimiento**

Se toman 5 ó 10 ml de muestra de agua y se colocan en un tubo de ensayo de esta capacidad. Se le agregan el reactivo DPD, necesaria para la cantidad de muestra, la solución adquiere un color rosa en la presencia de cloro libre.

El color de la muestra se analiza sea por espectrofotómetros o comparadores y de esta manera se estima su concentración.

**4.4.2.2 Metodología del monitoreo.** En la actualidad en la comunidad San Vicente de Lacas no existen los datos del monitoreo de cloro residual lo cual compruebe la efectividad de la desinfección.

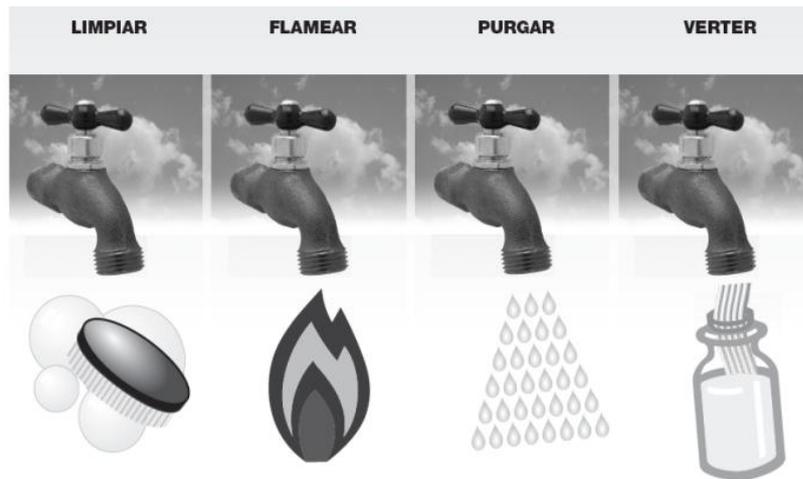
Si bien existen normas para el número de muestras que se deben realizar en un monitoreo, según el Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua, cuando se requiera evaluar de manera excepcional un parámetro del sistema, sea por posibles malos funcionamientos o como antecedente para la implementación de una modernización, tal evaluación se realizará de modo que se adopte a las características del proyecto, en este sentido la evaluación puede realizarse modificando los intervalos y número de muestras.

Debido a esta razón, a manera de comprobación y evaluación, se realizó el monitoreo de cloro residual en un lapso de 2 meses 15 días a partir del día 5 de julio de 2011 hasta el 22 de septiembre del mismo año; los días martes y jueves a partir de las 11h30, cada día se tomaban cuatro muestras.

Dado que la comunidad San Vicente de Lacas está organizada por ocho sectores, (Figura 13) cada día del monitoreo se abarcaba a dos de estos sectores, tomando las muestras de forma aleatoria.

Los análisis fueron realizados conjuntamente con personal del Laboratorio de la EMAPAR.

Figura 24. Procedimiento para toma de muestra



Se adoptó el método DPD, el cual consiste en seleccionar la conexión domiciliar primaria, es decir aquella que ingresa directamente de la red de distribución y no ha sido almacenada en cisternas o tanques reservorios. Se debe flamear el contorno de la llaves de agua o a su vez se limpia con torundas de alcohol, luego se deja correr el agua durante dos ó tres minutos, a partir de ese momento se puede recolectar la muestra en la cápsula para 10 ml. Se agrega el reactivo DPD, comercialmente se presenta de forma granulada en pequeños sobres con la cantidad correspondiente al volumen de la muestra; se agita vigorosamente hasta que el reactivo quede disuelto, la mezcla puede tomar una coloración rosa si existe cloro libre. Se ubica la cápsula dentro del colorímetro digital portátil modelo DR890 marca HATCH, se selecciona el software para free chlorine, se configura el tiempo con el valor de un minuto y se deja analizar. El resultado obtenido esta en mg/l.

Figura 25. Monitoreo colorímetro digital HACH



**4.4.2.3 Resultados obtenidos.** Este tipo de análisis se los realiza in situ, en todas las ocasiones se utilizó el mismo colorímetro. Los resultados de estos exámenes se los indica en el Anexo I.

Además se realizaron exámenes fisicoquímicos y microbiológicos dentro de la red, complementando de esta manera los tres parámetros de control de calidad del agua potable.

Los resultados de estos exámenes se los indica en el Anexo L.

## CAPÍTULO V

### 5. TIPOS DE DOSIFICADORES Y DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

#### 5.1 Antecedentes

En la actualidad existen tres formas de cloración en el tratamiento de agua potable: manual, semiautomática y automática. Cada uno de estos tiene sus ventajas así como sus inconvenientes.

La desinfección manual es la predominante a nivel nacional en sistemas de agua potable en el sector rural; por cuanto es la más económica y la más asequible para los usuarios, pero tiene como gran desventaja la dependencia del operador es por eso que la eficiencia de esta operación obedece directamente de la capacidad, voluntad y experiencia de la persona encargada del sistema. No se tiene un control adecuado del cloro residual en la distribución y se trabaja empíricamente.

La desinfección semiautomática es utilizada en la mayoría de cantones pequeños, este proceso requiere un monitoreo constante del cloro residual en todo el sistema, por cuanto la inyección del cloro es la que se realiza automáticamente y no se considera este parámetro para el control. La eficiencia del proceso depende también del operador.

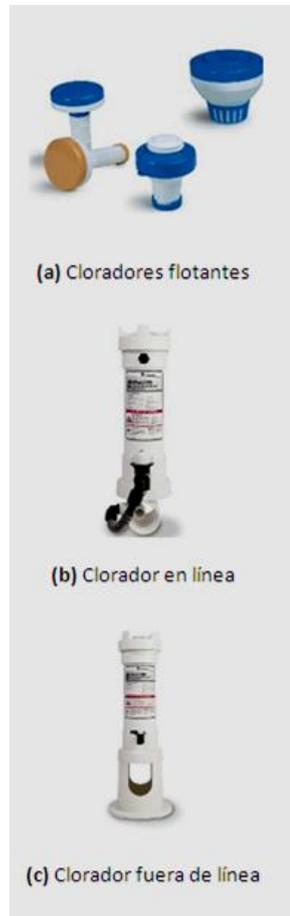
La desinfección automática es utilizada en ciudades grandes del país, el elevado costo que tiene la implementación de estos equipos hace que en el sector rural no se cuente con los mismos. La eficiencia del proceso depende de la sensibilidad de los componentes del sistema, ya no requiere intervención humana para un monitoreo permanente en la distribución sino solo para verificar periódicamente el correcto funcionamiento de sus elementos.

#### 5.2 Tipos de dosificadores

**5.2.1** *Sistema de dosificación de cloro en pastillas.* Los dosificadores de cloro en pastillas están diseñados para disolver una cantidad fija de cloro en pastilla mediante el contacto directo con el agua que se está tratando. Existen varios modelos entre los que

destacan los **cloradores flotantes**, los **cloradores en línea y fuera de línea**, ambos con depósito de pastillas y válvula reguladora.

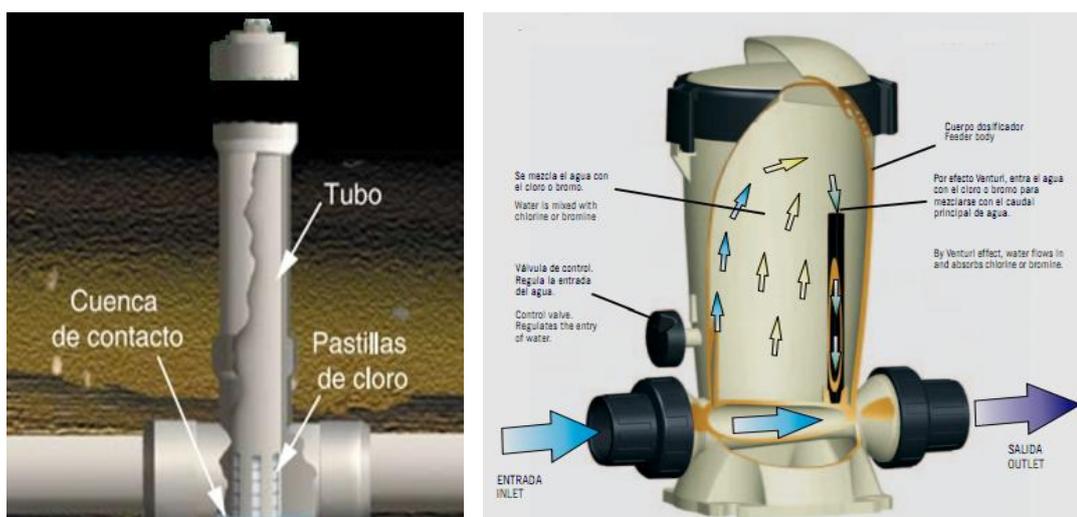
Figura 26. Tipos de dosificadores de cloro en pastillas [8]



De entre los tres, el más utilizado para el tratamiento de agua debido a las ventajas que brinda es el clorador en línea puesto que la desinfección que se realice depende directamente del caudal que está en contacto con las pastillas; es decir el dispositivo de contacto tiene una cavidad donde se coloca el tubo que contiene las tabletas de cloro. La pastilla en el fondo del tubo está en contacto con el agua que corre por la cuenca y a medida que la esta se disuelve y/o se erosiona, la que se encuentra arriba cae por gravedad para reemplazarla.

De ahí que es necesario alcanzar un punto de equilibrio en cuanto al tiempo de contacto en la cuenca del clorador: mucho tiempo de contacto tiene como consecuencia que el agua sea tratada con exceso de cloro y por ende las pastillas se disuelvan rápidamente; muy poco tiempo de contacto causa que el líquido vital no sea clorado lo suficiente.

Figura27. Clorador en línea [9]

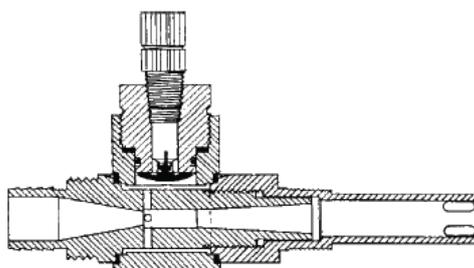


Este sistema presenta como principal inconveniente la dependencia de un operador quien debe monitorear continuamente el porcentaje de cloro residual existente en la red de distribución de agua y además los parámetros de ingreso que influyen en la variabilidad de este control.

**5.2.2 Sistema de dosificación utilizando un Vénturi.** Es uno de los sistemas más confiables, y está conformado por tres elementos principales: un inyector, una válvula de ajuste de la dosificación y un medidor de caudal

**5.2.2.1 El inyector.** Es un Vénturi y tiene como función succionar el cloro a través del equipo, sirve además como cámara de mezcla entre el cloro y el agua que se aprovechó para ejercer el vacío. La presión y el caudal del agua son las que determinan el correcto funcionamiento del inyector es decir las condiciones hidráulicas de la bomba juegan un papel importante en este aspecto.

Figura 28. Inyector o Vénturi [10]



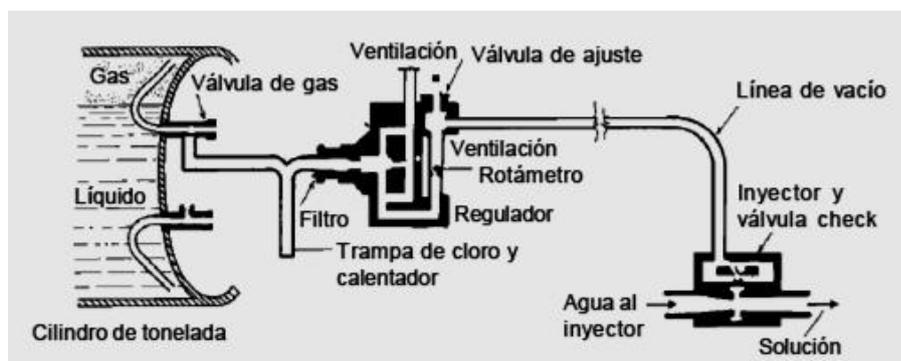
**5.2.2.2 Válvula de control.** Las válvulas de control merecen muy especial atención, pues con facilidad se taponan con las impurezas del cloro.

**5.2.2.3 Medidor de caudal.** Conocido también como rotámetro, es un tubo de vidrio que indica el paso del gas a través del equipo. Las condiciones de temperatura y presión afectan la medición del gas.

El funcionamiento del sistema empieza cuando el agua fluye a través del Vénturi del eyector y crea un vacío, el cual abre la válvula check o de retención del eyector y seguidamente por la presión diferencial existente abre la válvula de entrada del regulador de vacío, permitiendo el paso del gas. Un resorte opuesto al diafragma regula el vacío. El gas en vacío se mezcla enteramente con el agua en el eyector y es aplicado como una solución.

El sistema está completamente al vacío desde el eyector hasta la válvula de seguridad de entrada del regulador de vacío. Si el suministro de agua hacia el eyector se interrumpe o el vacío se pierde por otra razón, el resorte bajo tensión cierra inmediatamente la válvula de entrada e independiza el suministro de gas. Si se vacía el suministro de gas, la unidad se sella para evitar que la humedad regrese desde el suministro de gas.

Figura 29. Sistema de cloración utilizando un Vénturi [10]

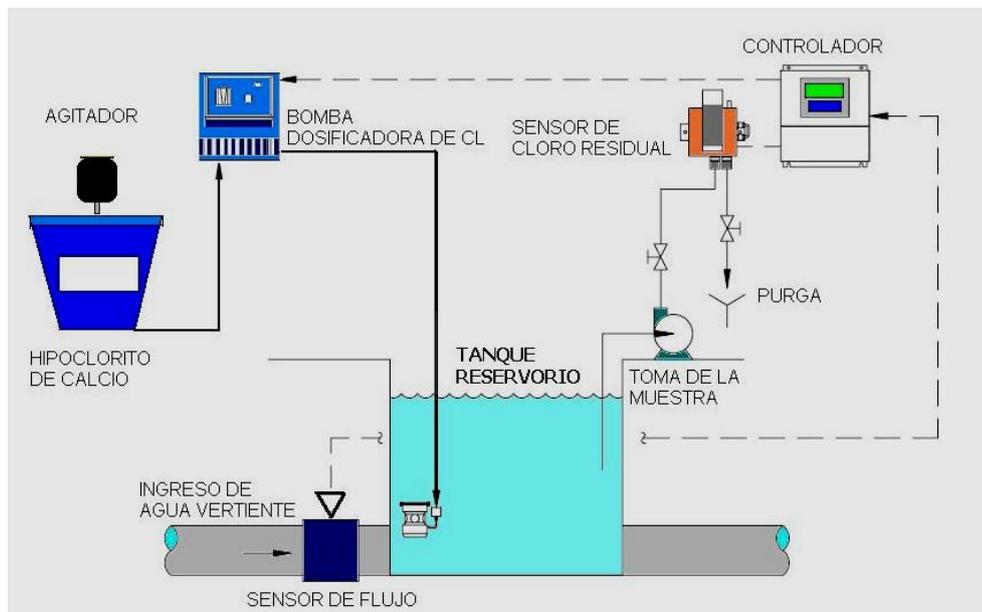


**5.2.3 Sistema automatizado de hipoclorito de calcio.** Es un sistema poco utilizado puesto que a pesar de tener un control automático al momento de dosificar y controlar el nivel de cloro que se inyecta para la desinfección, todavía depende en gran medida de una persona por cuanto la solución de hipoclorito de calcio tiene efectividad tan solo un día; es decir el operador debe preparar una nueva solución cada 24 ó 30 horas según la capacidad del tanque de distribución.

Este método utiliza un sistema de control de lazo cerrado, la dosificación de la solución de hipoclorito de calcio se hace en función del caudal de ingreso según nos indique el *flujómetro*, el mismo que entrega una señal eléctrica (4 – 20mA) al *controlador* para que éste procese y comande el funcionamiento de una *bomba dosificadora electrónica*.

Finalmente para comprobar si se está o no dentro de los niveles propuestos por la NORMA INEN 1108 el sistema emplea un *sensor de cloro residual* el cual envía una señal feedback o de retroalimentación *controlador* para que compare con el set point y opere a la dosificadora según sea la necesidad. El set point varía según la calidad del agua que se está tratando, es decir depende de la demanda de cloro que necesite el agua para desinfectarse.

Figura 30. Sistema automatizado de hipoclorito de calcio



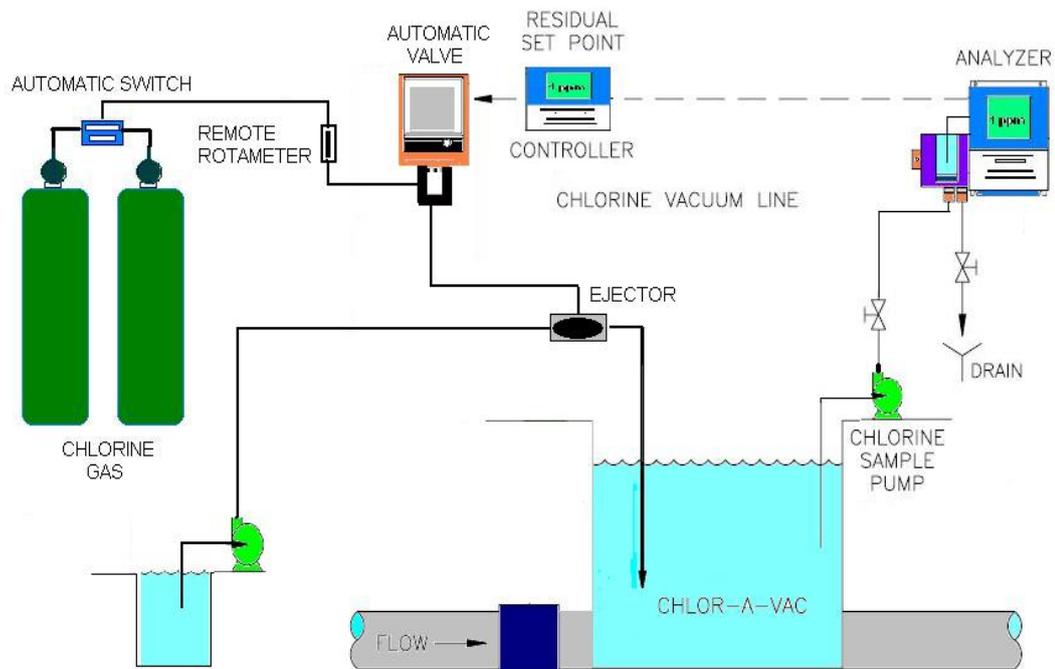
**5.2.4 Sistema automatizado de cloro gaseoso.** En la actualidad, es el sistema más utilizado en grandes plantas de tratamiento de agua potable por cuanto brinda todas las garantías necesarias al momento de desinfectar el líquido vital y por ende asegura un agua de calidad para los consumidores.

El principio de funcionamiento es igual al método anterior, utiliza un sistema de control de lazo cerrado. La desinfección se realiza considerando dos aspectos: el caudal y el cloro residual libre. La eficacia del sistema se basa en el trabajo automático de todo el

conjunto y además para el cambio de cilindros de cloro gaseoso; proceso que se realiza utilizando un conmutador automático, el mismo que asegura la presencia de desinfectante en todo momento.

Inicialmente se dosifica en función del caudal de ingreso, para una vez que se dé la reacción completa de la acción del cloro entre en funcionamiento el sensor de cloro residual libre, el mismo que envía una señal feedback o de retroalimentación al analizador para que comande la válvula automática. De esta manera se cumple el lazo cerrado y se hace una medición cada dos minutos, garantizando de esta manera un control durante las 24 horas del día.

Figura 31. Sistema automatizado de cloro gaseoso



**5.2.5 Equipo automático de purificación de agua.** Es el sistema más versátil y a la vez el más costoso, permite tener un control minucioso al momento de purificar el agua ya que se controla varios factores tales como: cloro residual libre, pH, temperatura, turbiedad, oxígeno, potencial redox, sólidos, carga orgánica entre otros, los mismos que influyen en la calidad final del líquido vital.

Por su diseño modular, este sistema se puede configurar individualmente en función de las necesidades in situ.

Dispone de:

- Entradas y salidas analógicas de 0/4 – 20 mA,
- Relés de alarma
- Tarjeta de bus de campo que se puede utilizar para transmitir datos, integrar instrumentos analógicos, tratar todo tipo de señales o para la conexión a un sistema de bus de campo existente.

Figura 32. Equipo automático de purificación de agua [11]



En confrontación con los otros sistemas presenta las siguientes ventajas:

- Transmisión fiable de datos a larga distancia y control remoto como opción: se ahorran los gastos de tener que estar el personal in situ. Los datos se transmiten a la sala de control por GSM.
- Funcionamiento y visualización óptimos in situ: la pantalla gráfica de color muestra los datos o las curvas de progreso de cuatro sensores al mismo tiempo y cambia a otros tipos de visualización con solo tocarla.
- Opcionalmente dispone de un módulo de comunicación GSM incorporado. Por lo tanto, todas las funciones pueden llevarse a cabo a distancia; por supuesto, con protección contra el acceso no autorizado. Los mensajes de incidencias llegan por SMS o e-mail.

### 5.3 Evaluación de las alternativas propuestas

En base a los parámetros de selección y funcionalidad se presentan cinco alternativas, las cuales se detallan a continuación en la tabla siguiente; en donde se da a conocer las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Tabla 27. Ventajas y desventajas de las alternativas de solución.

<b>ALTER-NATIVA</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>1</b>	Dosificación de cloro en pastillas	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Alrededor de 10% de errores en la dosificación. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas tienen a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.
<b>2</b>	Dosificación utilizando un vénturi	Son equipos durables y de costo inferior a los de alimentación o aplicación directa.	No tiene control del nivel de cloro residual presente en la distribución.
<b>3</b>	Dosificación automatizada de hipoclorito de calcio	Confiable. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 Kg/cm <sup>2</sup> .	El personal debe capacitarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio a elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces hay corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.

Tabla 27. (Continuación)

<b>ALTER-NATIVA</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>4</b>	Dosificación automatizada de cloro gaseoso	Ofrecen alta precisión en la dosificación. No son influenciados por los cambios de temperatura. Permiten un monitoreo permanente del nivel de cloro residual libre en el tratamiento del agua.	Instalación costosa para pueblos pequeños. Necesita equipo auxiliar. El personal necesita capacitación. Si no es operado adecuadamente puede ser peligroso debido a que el gas es venenoso. Requiere energía eléctrica.
<b>5</b>	Equipo automático de purificación de agua	Sumamente confiable. Permite controlar diferentes parámetros que influyen en el tratamiento de agua potable. Almacena información de la variabilidad de cloro residual libre. Permite trabajar en red y además inalámbricamente.	Necesita personal especializado. Costo elevado; inalcanzable para sectores rurales. Requiere energía eléctrica.

#### **5.4 Selección de la alternativa de solución**

Para seleccionar la alternativa de solución se debe considera los siguientes aspectos:

- Precisión y confiabilidad
- Facilidad de montaje
- Abastecimiento del desinfectante
- Mantenimiento
- Costo del sistema.

La *precisión y confiabilidad* son los factores de mayor influencia en la selección de la alternativa por cuanto de estos depende el buen desempeño del proyecto y por ende la garantía de que se está realizando correctamente la dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable.

El sistema debe ser preciso y dosificar la cantidad necesaria de desinfectante según las condiciones microbiológicas del agua y además debe brindar la confiabilidad respectiva a los consumidores una vez que se ha realizado el proceso.

La *facilidad de montaje* es otro factor importante que influye en la selección; por lo tanto el sistema debe ser instalado sin mayores contratiempos para no desabastecer de líquido vital a los usuarios durante el proceso de instalación y transición del sistema de cloración.

El *abastecimiento del desinfectante* es otro factor que condiciona la selección del sistema, ya que en muchos casos las zonas rurales se encuentran alejadas de las ciudades y son de difícil acceso, lo cual podría sugerir la necesidad de emplear otro desinfectante o bien preparar hipoclorito de sodio en la localidad.

El *mantenimiento* que requiera el sistema seleccionado debe ser sencillo para que pueda ser realizado por una persona que no sea especializada pero si capacitada para la manipulación de los equipos, por cuanto es difícil encontrar un operador con este perfil en las zonas rurales. La sencillez de la operación y disponibilidad de los repuestos deben garantizar la eficiencia continua del sistema.

Por último, la capacidad económica y financiera para asumir los *costos de inversión, operación y mantenimiento* es otro factor que se debe considerar para la selección de la alternativa más adecuada.

En todo caso, la salud debe ser la consideración principal al momento de seleccionar la alternativa más adecuada.

Una vez analizado todos los factores que influyen en la selección se elige como mejor alternativa la cuarta, que es un ***sistema dedosificación automatizada de cloro gaseoso***.

## 5.5 Análisis y dimensionamiento de solución

El sistema seleccionado está constituido por los siguientes elementos:

- Clorinador operado por vacío
- Analizador de cloro residual libre electrónico
- Bomba de refuerzo
- Bomba sumergible para muestreo
- Válvula automática y controlador de cloro gas
- UPS de 1000 Vca

Cada uno de los componentes mencionados cumple un papel importante para el correcto funcionamiento del conjunto; por consiguiente es primordial una correcta selección y dimensionamiento de los elementos constitutivos.

**5.5.1 Dimensionamiento del sistema de solución.** El dimensionamiento del sistema se fundamenta principalmente en el caudal de trabajo de la planta de tratamiento de la comunidad San Vicente de Lacas.

**5.5.1.1 Selección del dosificador de vacío.** El equipo clorador es esencialmente un aparato regulador de vacío y medidor del gasto de gas cloro. La dosificación se realiza realmente en un eyector donde se mezcla agua a presión y este gas regulado.

Figura 33. Equipo clorinador operado por vacío



La capacidad del dosificador de cloro gas es el cálculo más frecuente y casi el dato único que se utiliza para la selección del equipo a instalar.

No existe una dosificación expresa de cloro para desinfectar el agua, a menos que se realicen comprobaciones previas sobre remoción efectiva de organismos. La regulación para acueductos sólo establece que el cloro mínimo en red de distribución es de 0,3 mg/l.

Por otra parte, la práctica reconoce que una dosis de 1 mg/l en aguas naturales limpias demuestra ser efectivo y que la presencia de más de 2 mg/l en agua de consumo presenta objeciones fuertes de parte de los clientes.

El cálculo de la dosis a aplicar y, por tanto de la capacidad del aparato clorador se efectúa de la forma siguiente:

- a) Cantidad de agua a tratar en operación normal.
- b) Capacidad para extremos de dosificación.
- c) Ajuste por Ct
- d) Rango de trabajo preciso del aparato.

**a. Dosis para operación normal ( $q_1$ )**

La dosis de *cloro* ( $c$ ) a aplicar se toma en la práctica de la forma siguiente:

- 1 ppm (1 parte de cloro activo en 1 millón de partes de agua, o sea,  $1 \text{ mg/l} = 1 \text{ g/m}^3 = 1 \text{ kg/mil m}^3 = 1 \text{ t/millón m}^3$ ) cuando se trata de agua subterránea limpia en poblaciones pequeñas o medianas.
- 1,5 - 2,0 ppm en agua subterránea limpia, en sistemas de acueducto de ciudades.
- 2,0 - 5,0 ppm para agua superficial con pos y precloración, respectivamente.

Esto da que:

$$q_1 = Q \left( \frac{m^3}{h} \right) \times c \left( \frac{g}{m^3} \right) = \left( \frac{g}{h} \right) \quad (38)$$

**b. Capacidad para situaciones extremas ( $q_2$ )**

La aparición de condiciones de trabajo anormales pueden aparecer debido a variaciones bruscas y controlables en las características del agua y, más habitualmente, en la mitigación de brotes de enfermedades transmisibles por el agua.

Esta capacidad de dosificación se deja como remanente del equipo aunque cuando exceda al 30 % es preferible la instalación de un segundo equipo (que no es el de reserva para roturas).

El primer ajuste nos da:

$$q_2 = 1,3 x q_1 \quad (39)$$

### **c. Ajuste por Ct**

El factor Ct se emplea hace más de veinte años en la determinación del poder bactericida de un desinfectante y es el producto de la dosis o concentración por el tiempo de contacto del desinfectante con el agua.

Quiere esto decir que la dosificación de desinfectante puede variarse según sea el tiempo de contacto. Este factor se encuentra en las referencias bibliográficas, pero es variable para cada acueducto, por lo que aún queda por hacer precisiones sobre su uso.

En la práctica de ingeniería, solo se ha llegado al tanteo de que cuando el tiempo de contacto exceda de una hora puede reducirse la dosis de cloro y que debe aumentarse si es menor de 30 minutos, siempre que se mantengan residuales mínimos de cloro en red de 0,3 mg/l o más.

### **d. Rango de precisión del aparato**

La exactitud del producto aplicado por un equipo es más precisa en el rango de escala alejado de ambos extremos. Esto es aplicable tanto para dosificación de cloro como de otro desinfectante. Se aconseja siempre no trabajar los dosificadores por debajo del 5% de su capacidad ni por encima del 95%. Así, teniendo en consideración todas las premisas, la capacidad del aparato clorador de gas se determina de mediante la expresión siguiente:

$$q = (1,05) x 1,3 x q_1 \left( \frac{g}{h} \right) \text{ (Para tiempos de contacto de 30-60 minutos)} \quad (40)$$

A continuación se detalla los datos necesarios para la selección del dosificador; considerando el caudal máximo de trabajo de la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad y la cantidad necesaria de cloro para garantizar una desinfección correcta.

Tabla 28. Datos para la selección del clorinador operado por vacío

Denominación	Simbología	Valor	Unidad
Caudal Ingreso	Q	5,2	l/s
		449280	l/día
		82,5	GPM
		18,7	m <sup>3</sup> /h
		449,28	m <sup>3</sup> /día
Demanda	D	3	g/m <sup>3</sup>
Concentración	C	99	%
Demanda Necesaria	c	3,03	g/m <sup>3</sup>

Reemplazando los datos en las fórmulas citadas anteriormente se determina el siguiente resultado; el mismo que nos permite determinar la capacidad del clorinador.

Tabla 29. Resultados de la capacidad del clorinador.

Denominación	Resultado	Unidad
q <sub>1</sub>	56,73	g/h
q <sub>2</sub>	73,75	g/h
q	75,96	g/h
	0,076	kg/h

La capacidad del clorinador debe ser de 75,96 g/h. En la tabla siguiente se selecciona el equipo más apropiado considerando este valor.

Tabla 30. Selección de la capacidad del clorinador.

DATOS MEDIDOR DE FLUJO DE GAS		
100 PPD (2 kg/h)	250 PPD (5 kg/h)	500 PPD (10 kg/h)
3" (76 mm) longitud	3" (76 mm) longitud	6" (152 mm) longitud
0.6 PPD/11g/h 1.5 PPD/28 g/h 4 PPD/75 g/h <b>10 PPD/200 g/h</b> 25 PPD/0.5 kg/h 50 PPD/1 kg/h 100 PPD/2 kg/h	25 PPD/0.5 kg/h 50 PPD/1 kg/h 100 PPD/2 kg/h 200 PPD/4 kg/h 250 PPD/5 kg/h	25 PPD/0.5 kg/h 50 PPD/1 kg/h 100 PPD/2 kg/h 200 PPD/4 kg/h 300 PPD/(6 kg/h) 500 PPD/10 kg/h

Fuente: Dosificador de gas [12]

El clorinador operado por vacío seleccionado es el de 10 PPD/200 g/h por cuanto es el inmediato superior al determinado en el cálculo realizado.

Una vez conocida la capacidad del clorinador se selecciona los diámetros de las tuberías para la conexión correspondiente al venteo y vacío; así como también la longitud de la tubería de vacío.

Tabla 31. Características de las tuberías de conexión

<b>TUBERIA</b>			
<b>Tamaño de la conexión</b>			
<b>TUBERIA</b>	<b>Vacío</b>	<b>Venteo</b>	
100 PPD (2 kg/h)	3/8"	3/8"	
250 PPD (5 kg/h)	1/2"	3/8"	
500 PPD (10 kg/h)	5/8"	3/8"	

<b>Requerimientos tamaño tubería de vacío</b>			
<b>Máxima Dosificación</b>	<b>Longitud tubería de vacío</b>		
	<b>100pies (31 mts)</b>	<b>200 pies(61 mts)</b>	<b>500pies (153 mts)</b>
50 PPD (1 kg/h)	3/8"	3/8"	1/2"
100 PPD (2 kg/h)	3/8"	1/2"	1/2"
250 PPD (5 kg/h)	1/2"	5/8"	3/4"
500 PPD (10 kg/h)	5/8"	3/4"	1"

Fuente: Dosificador de gas [12]

Los diámetros de la tubería para el vacío y venteo debe ser de 3/8 “ y no deben superar una longitud de 31 metros.

**5.5.1.2 Bomba de refuerzo.** Cuando la aplicación es en un canal como en las plantas potabilizadoras o en depósitos de agua, presión puede ser tan baja como 20 mca, pero en cerrados se puede requerir, según la capacidad del clorador de dos a tres veces la presión de la conductora. Esto requiere dotar a la instalación de cloración de una bomba elevadora de carga.

En todo caso, la característica de la bomba auxiliar puede reducirse, en cuanto a carga, tomando el agua de alimentación de la propia conductora, con lo que se dispone de una carga inicial significativa en la succión.

Figura 34. Bomba de refuerzo



*Algoritmo de selección.* Para la selección de la bomba se debe considerar los siguientes datos:

Tabla 32. Datos para la selección de la bomba de refuerzo

	<b>DENOMINACIÓN</b>		<b>SIMB.</b>	<b>MAGNITUD</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>AGUA</b> <b>13 °C</b>	Caudal		<b>Q</b>	5,67	GPM
	Temperatura		<b>T</b>	13	°C
	Viscosidad cinemática		<b>V</b>	0.0000012	m <sup>2</sup> /s
	Peso específico		<b>γ</b>	9810	N/ m <sup>2</sup>
<b>TUBERÍA</b> <b>PVC</b>	Succión	Diámetro	<b>D<sub>s</sub></b>	1	plg
		Longitud	<b>L<sub>s</sub></b>	2	m
	Descarga	Diámetro	<b>D<sub>d</sub></b>	1	plg
		Longitud	<b>L<sub>d</sub></b>	25	m

*Análisis de la succión*

$$H_s = h_{es} + h_{vs} + h_{rs} \pm h_{pms} \quad (41)$$

a. *Elevación estática de succión*

$$h_{es} = 2 \text{ m}$$

b. *Cabeza de velocidad de succión*

- $Q = 0.00036 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\text{Ø}_s = 1'' = 0.0226 \text{ m}$
- $A = 0.0,000402 \text{ m}^2$

$$Q = A * v \quad (42)$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.00036}{0.000402}$$

$$v = 0.89 \frac{m}{s}$$

$$h_{vs} = \frac{v^2}{2 * g} \quad (43)$$

$$h_{vs} = \frac{0.89^2}{19.6}$$

$$h_{vs} = 0.404 \text{ m}$$

c. *Cabeza de pérdidas de succión*

$$h_{rs} = \frac{v^2}{2 * g} \left[ \lambda * \frac{L}{D} + \sum k \right] \quad (44)$$

### Perdidas primarias

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad (45)$$

$$Re = \frac{0.89 * 0.0226}{0.0000012}$$

$$Re = 1.67 * 10^4$$

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0013}{0.0226} = 0.0000575$$

$$\lambda = 0.027$$

### Perdidas secundarias - Coeficientes de accesorios para la tubería de 1"

$$\sum K = K_{valvuladepie} + k_{universal} + K_T \quad (46)$$

Factor de fricción: (ft = 0.023)

$$K_{val.pie} = 420 * ft = 420 * 0.023 = 9.66$$

$$K_T = 60 * ft \rightarrow \text{paraflujodesviado}90^\circ$$

$$K_T = 60 * 0.023 = 1.38$$

$$K_{universal} = 0.82$$

$$\sum K = 9.66 + 1.38 + 0.82 = 11.86 \text{ m}$$

Entonces:

$$h_{rs} = \frac{v^2}{2 * g} \left[ \lambda * \frac{L}{D} + \sum k \right] \quad (47)$$

$$h_{rs} = \frac{0.89^2}{2 * 9.8} \left[ 0.027 * \frac{2}{0.0226} + 11.86 \right]$$

$$h_{rs} = 0.576 \text{ m}$$

d. *Cabeza de presión de succión*

$$h_{pmd} = 0 \text{ psi} = 0 \text{ mca}$$

Entonces ahora:

$$H_s = h_{es} + h_{vs} + h_{rs} \pm h_{pms}$$

$$H_s = 2 + 0.0404 + 0.57 + 0$$

$$H_s = 2.617 \text{ m}$$

*Análisis en la descarga*

$$H_d = -h_{ed} + h_{vd} + h_{rd} \pm h_{pmd} \quad (48)$$

a. *Cabeza estática de descarga*

$$h_{ed} = 2,3 \text{ m}$$

b. *Cabeza de velocidad de descarga*

- $Q = 0.00036 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\varnothing_s = 1'' = 0.0226 \text{ m}$
- $A = 0.0,000402 \text{ m}^2$

$$Q = A * v$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.00036}{0.000402}$$

$$v = 0.89 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_{vd} = \frac{v^2}{2 * g} = \frac{0.89^2}{19.6} = 0.404 \text{ m}$$

c. Cabeza de pérdidas de descarga

**Perdidas primarias**

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

$$Re = \frac{0.89 * 0.0226}{0.0000012}$$

$$Re = 1.67 * 10^4$$

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0013}{0.0226} = 0.0000575$$

$$\lambda = 0.027$$

**Perdidas secundarias - Coeficientes de accesorios para la tubería de 1"**

$$\sum K = 3k_{universal} + K_T + 12K_{codos\ 90^\circ} + K_{filtro} \quad (49)$$

$$(ft = 0.023)$$

$$K_{codos\ 90^\circ} = 30 * ft = 30 * 0.023 = 0.69$$

$$K_T = 20 * ft \rightarrow \text{paraflujodirecto}$$

$$K_T = 20 * 0.023 = 0.46$$

$$K_{universal} = 0.82$$

$$K_{filtro} = 2$$

$$\sum K = (3 * 0.82) + 0.46 + (12 * 0.69) + 2$$

$$\sum K = 13.2$$

Entonces:

$$h_{rd} = \frac{v^2}{2 * g} \left[ \lambda * \frac{L}{D} + \sum k \right] \quad (50)$$

$$h_{rd} = \frac{0.89^2}{2 * 9.8} \left[ 0.027 * \frac{2}{0.0226} + 13.2 \right]$$

$$h_{rd} = 1.746\ m$$

d. Cabeza de presión de descarga

$$h_{pmd} = 50\ psi = 35.14\ mca$$

Entonces ahora:

$$H_d = -h_{ed} + h_{vd} + h_{rd} \pm h_{pmd}$$

$$H_d = -2.3 + 0.0404 + 0.57 + 35.14$$

$$H_d = 34.62 \text{ m}$$

Finalmente:

$$H_T = H_s + H_d$$

$$H_T = 2.62 + 34.62 \text{ (m)}$$

$$H_T = 37.24 \text{ m}$$

*Cálculo del  $NPSH)_d$*

### **Propiedades del agua a 13 °C**

- $\gamma = 9810 \frac{N}{m^2}$
- Presión de vapor -  $P_v = 0.2141 \text{ psi} = 1476.17 \text{ Pa}$
- Presión Barométrica -  $P_b = 21.2 \text{ In Hg} = 71791.26 \text{ Pa}$  a 2787,5 msnm

$$NPSH)_d = \frac{P_b}{\gamma} - h_{es} - H_{rs} - \frac{P_v}{\gamma} \quad (51)$$

$$NPSH)_d = \frac{71791.26}{9810} - 2 - 0.576 + \frac{1476.17}{9810}$$

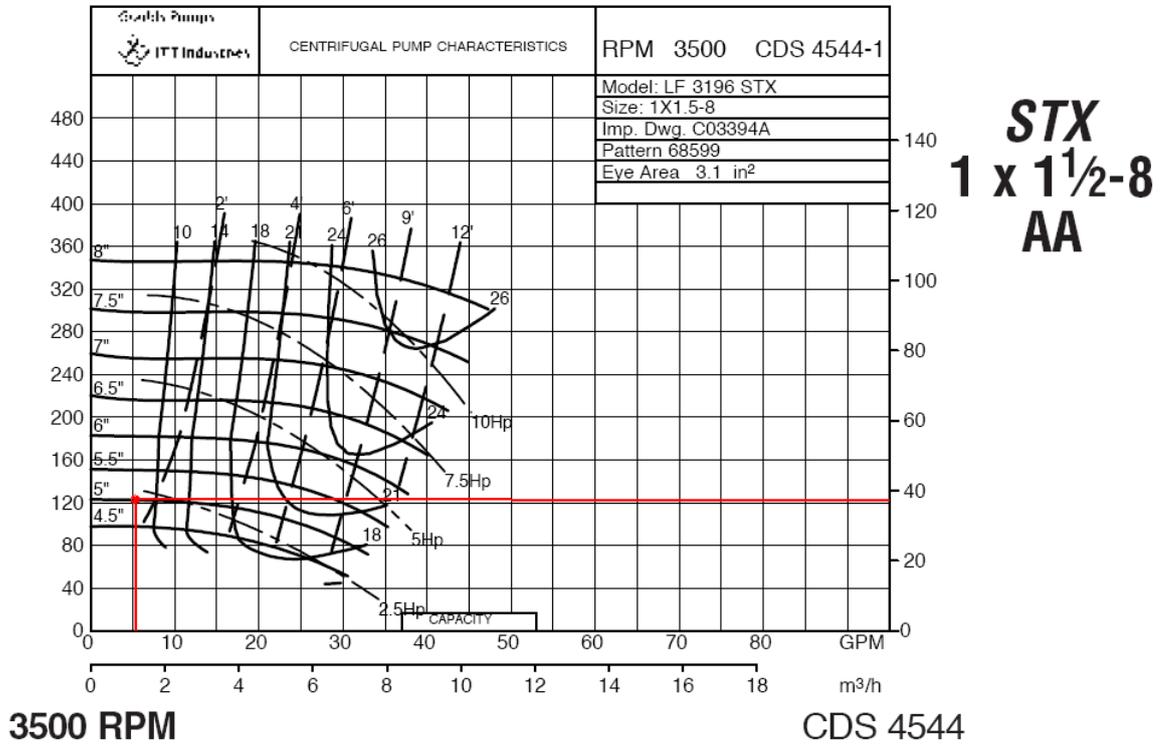
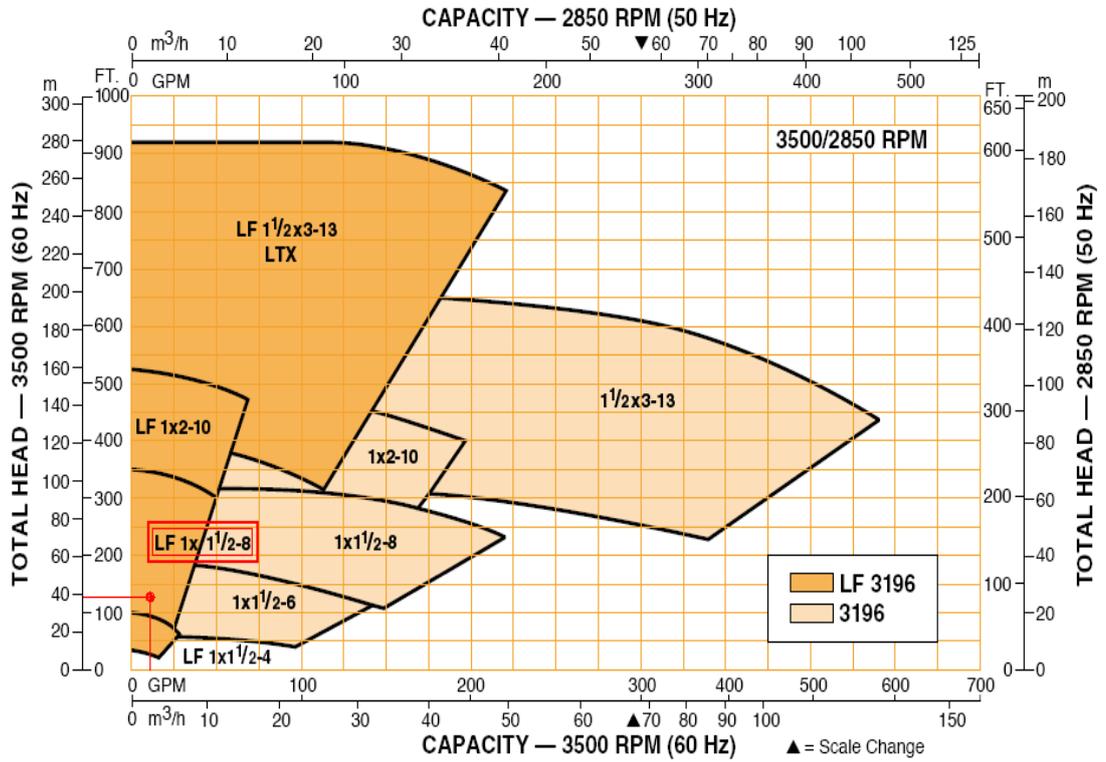
$$NPSH)_d = 4,6 \text{ m}$$

*Selección de la bomba.* Con los datos obtenidos en el cálculo anterior; se procede a seleccionar la bomba que garantice un óptimo funcionamiento del sistema. Para ello se emplea el catálogo GPMGouldsPump Manual. [13]

### **Datos para la selección:**

- $Q = 5,67 \text{ GPM}$
- $H_T = 37,24 \text{ m}$

Figura 35. Curvas características para la selección de la bomba de refuerzo



La bomba seleccionada presenta las siguientes características:

Tabla 33. Datos de la bomba de refuerzo

RPM 3500 CDS 4544-1
Model: LF 3196 STX
Size: 1X1.5-8
Imp. Dwg. C03394A
Pattern 68599
Eye Area 3.1 in <sup>2</sup>

Para garantizar que la bomba seleccionada sea eficiente y por ende no exista cavitación se compara que:

$$NPSH)_d > NPSH)_r \quad (52)$$

Como:

$$NPSH)_d = 4,6 \text{ m}$$

$$NPSH)_r = 1,8' = 0,55\text{m}$$

Entonces:

$$4,6 \text{ m} > 0,55$$

Por lo tanto se concluye que la bomba selecciona es la correcta.

**5.5.1.3 Analizador de cloro residual libre.** El Analizador amperométrico de cloro residual libre es simple y fácil de usar, se adapta a las necesidades únicas de cada sitio al permitir que cualquier combinación de mediciones en un solo sistema incluyendo: Cl (amperométrico), pH, temperatura, turbidez, conductividad y de flujo. Es una solución completa, flexible para adaptarse a cualquier aplicación.

Trabaja eficientemente con niveles bajos de cloro para tratamiento de agua potable en municipales o rangos altos para aplicaciones industriales, con una sonda amperométrica de 5, 10 o 20 ppm según la aplicación. Tiene dos electrodos: uno de pH integrado y el otro de compensación de temperatura por ende la medición de cloro es más estable y fiable.

Posee salidas 4-20mA con alarmas de contacto seco, cable digital, salida a un equipo local o un sistema completamente inalámbrico que se puede acceder desde cualquier conexión a Internet o incluso un teléfono móvil.

Figura 36. Analizador de cloro residual



Para el proyecto se selecciona un analizador de cloro residual libre con una sonda amperométrica de capacidad de medición de 10 ppm, por cuanto el valor de cloro residual libre que se desea tener en el tanque de distribución es de 1 ppm con un margen de error de 0.2 ppm.

**5.5.1.4 Válvula automática y controlador de cloro gas.** El controlador permite configurar parámetros tales como: set point, ganancia, ancho de banda, según las condiciones necesarias del agua a tratarse. Requiere una señal de 4 a 20 miliamperios del analizador de cloro residual, una fuente de 120/240 VCA, y un clorador de gas.

La válvula automática tiene rápida respuesta, potente par motor de alta DC, motor paso a paso, una precisión y fiabilidad insuperables. Se enlaza con el controlador con una señal de 4 a 20 miliamperios.

Figura 37. Válvula automática y controlador de cloro gas



A modo de control manual el conjunto permite a los operadores ajustar rápida y fácilmente la velocidad de alimentación de gas del panel de control de menú, en el caso

de que una señal de entrada se pierda debido a los problemas de medidor de flujo o el cable de daños. La capacidad máxima de la velocidad de alimentación es de hasta 500 PPD(10 kg / h).

La selección de este conjunto se basa en capacidad de inyección del clorinator operado por vacío; es decir, la velocidad de alimentación debe ser de 10 PPD (200g/h).

**5.5.1.5 Bomba sumergible.** La selección de la bomba sumergible se fundamenta en la altura que debe elevar la bomba; para ello se considera la altura del tanque más la altura a la que se encuentra situado el analizador; es decir:

$$H_{max} = h_{tanque} + h_{analizador} \quad (53)$$

$$H_{max} = 3,5 m + 1m$$

$$H_{max} = 4,5 m = 14,7 \text{ `}$$

Tabla 34. Selección de bomba sumergible

PERFORMANCE • PERFORMANCE • RENDIMIENTO												
Model Modèle Modelo	Item No. Número d'article Número de elemento	Intake Aspiration Toma (FNPT)	Discharge Écoulement Descarga (FNPT)	Volts Voltage Voltios	Watts Watta Watios	Head (Feet Of Water) • Élévation (Pieds D'eau) • Cabeza (Pies De Agua)						Maximum height Élévation maximale Altura máxima
						5'	10'	15'	20'	25'	30'	
						Flow (Gallons Per Hour) • Débit (Gallons/heure) • Flujo (Galones Por Hora)						
FP1	566132	1-1/4"	1-1/4"	115	106	1000	390	--	--	--	--	14'
FP2	566133	1-1/2"	1-1/2"	115	167	2220	1210	400	--	--	--	16'
FP3	566134	2"	2"	115	226	3200	1640	690	--	--	--	17'
FP6	566135	2"	1-1/2"	115	557	5760	4380	3000	1730	350	--	27'
FP9	566137	2"	2"	115	730	8100	6580	4860	3290	1930	580	31'

Fuente: Catálogo LittleGIANT[14]

Por lo tanto la bomba seleccionada para el proyecto es una FP2; cuyas características se detallan en la tabla anterior.

Figura 38. Bomba sumergible para muestreo



## CAPÍTULO VI

### 6. TECNOLOGÍA DE INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

#### 6.1 Diagramas P&ID y diagramas eléctricos.

Los diagramas de tuberías e instrumentación (P&I hace referencia a "piping and instrumentation") o los diagramas mecánicos de flujo (MFD) proporcionan la información que necesitan los ingenieros para comenzar a planificar la construcción de la planta. Un P&ID incluye cualquier aspecto mecánico de la planta excepto la siguiente información:

- Condiciones de operación, presión y temperatura.
- Caudales de las corrientes.
- Localización de los equipos.
- Trazado de tuberías.
  - Longitudes.
  - Conexiones.
- Soportes, estructuras y cimentaciones.

Toda la información de proceso que puede ser medida en la planta se muestra en el P&ID dentro de círculos. Esto incluye la información que se va a registrar y la que se va a utilizar para los lazos de control del proceso. La ubicación de estos círculos en el diagrama indica dónde se obtiene la información del proceso e identifican las medidas que se realizan y cómo se trata la información.

Para la elaboración del diagrama P&ID del sistema automatizado de cloración se utiliza la simbología presentada en la NORMA ISA S 5.3.

**6.1.1 Identificación del instrumento.** Los instrumentos son generalmente identificados por números en una etiqueta. El número de la etiqueta identifica la función en el proceso y además el lazo de control en el cual está localizado.

La figura 39 indica cómo las letras y los números son seleccionados y agrupados para lograr una rápida identificación.

Figura 39. Letras y números para etiquetas [15]



La función o variable de proceso puede ser fácilmente asociada con el tipo de medición hecha en el proceso. Las letras del alfabeto son utilizadas para formar la combinación de estos nombres. Refiérase a la figura 40.

Figura 40. Identificación de instrumentos

FUNCION		IDENTIFICACION DE INSTRUMENTOS																	
		REGISTRADOR (R)	INDICADOR (I)	CONTROLADOR (C)	REGISTRADOR/ CONTROL (RC)	INDICADOR/ CONTROLADOR (IC)	INTEGRADOR/ CONTROLADOR (Q)	TOTALIZADOR (A)	ALARMA (A)	RELE (Y)	TRANSMISOR (T)	ELEMENTO PRIMARIO (E)	VALVULA (V)	(CV)	(SV)	(G)	(S)		
VARIABLE		(R)	(I)	(C)	(RC)	(IC)	(Q)	(A)	(Y)	(T)	(E)	(V)	(CV)	(SV)	(G)	(S)			
ANALISIS	A	AR	AI	AC	ARC	AIC	AQ	AA	AY	AT	AE	AV				AS			
LLAMA	B		BI	BC		BIC		BA	BY	BT	BE				BG	BS			
CONDUCTIVD.	C	CR	CI	CC	CRC	CIC		CA	CY	CT	CE	CV				CS			
DENSIDAD	D	DR	DI	DC	DRC	DIC		DA	DY	DT	DE	DV				DS			
VOLTAJE	E	ER	EI	EC	ERC	EIC		EA	EY	ET	EE					ES			
FLUJO	F	FR	FI	FC	FRC	FIC	FQ	FA	FY	FT	FE	FV	FCV	FSV	FG	FS			
CORRIENTE	I	IR	II	IC	IRC	IIC	IQ	IA	IY	IT	IE					IS			
TIEMPO	K	KR	KI	KC	KRC	KIC	KQ	KA	KY	KT	KE	KV				KS			
NIVEL	L	LR	LI	LC	LRC	LIC		LA	LY	LT	LE	LV	LCV		LG	LS			
HUMEDAD	M	MZ	MI	MC	MRC	MIC		MA	MY	MT	ME	MV				MS			
PRESION	P	PR	PI	PC	PRC	PIC		PA	PY	PT	PE	PV	PCV	PSV		PS			
FRECUENCIA	S	SR	SI	SC	SRC	SIC		SA	SY	ST	SE	SV				SS			
VELOCIDAD	S	SR	SI	SC	SRC	SIC	SQ	SA	SY	ST	SE	SV				SS			
TEMPERATURA	T	TR	TI	TC	TRC	TIC		TA	TY	TT	TE	TV	TCV	TSV		TS			
VISCOSIDAD	V	VR	VI	VC	VRC	VIC		VA	VY	VT	VE	VV			VG	VS			
VIBRACION	Y	YR	YI	YC	YRC	YIC		YA	YY	YT	YE					YS			
PESO	W	WR	WI	WC	WRC	WIC	WQ	WA	WY	WT	WE	WV				WS			
INDEFINIDO	X	XR	XI	XC	XRC	XIC		XA	XY	XT	XE	XV				XS			
POSICION(*)	Z	ZR	ZI	ZC	ZRC	ZIC		ZA	ZY	ZT	ZE	ZV			ZG	ZS			
MANUAL	H			HC		HIC		HA				HV				HS			

\*SE LE DEBE AÑADIR UNO DE LOS SIGUIENTES SUFIJOS: H,L,HH,LL, PARA INDICAR ALTO BAJO, MUY ALTO o MUY BAJO

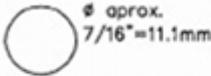
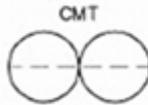
□ COMBINACION IMPROBABLE    ■ COMBINACION IMPOSIBLE

Los números para la identificación del lazo de control tienen una base diferente y sirve para un propósito diferente. Normalmente cuando se tiene varios instrumentos del mismo tipo se agrega una letra después del número.

En los diagramas los números de la etiqueta son colocados dentro de círculos. La figura 41 muestra varias normas de arreglos de círculos. Note que la identificación funcional está siempre en la mitad superior del globo mientras que el número del lazo de control está en la mitad inferior. Una línea dibujada en el centro indica un instrumento montado en el panel de control.

Un círculo sin línea en el centro indica que está montado en forma local o en el campo. Una línea punteada indica que está montado atrás del tablero de control. Cuando dos círculos son dibujados unidos están indicando múltiples funciones. Un número colocado fuera del círculo identifica el tablero de control donde el instrumento está instalado.

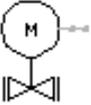
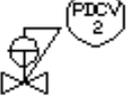
Figura 41. Símbolos generales [16]

SÍMBOLOS GENERALES			
			
<b>LOCAL</b>	<b>MONTAJE EN PANEL 1</b>	<b>MONTAJE DETRÁS DEL PANEL</b>	
<b>INSTRUMENTO PARA VARIABLE MEDIDA CON CUALQUIER NÚMERO DE FUNCIONES</b>			
			
<b>MONTAJE LOCAL</b>	<b>MONTAJE EN PANEL</b>	<b>MONTAJE DETRÁS DE PANLE AUXILIAR</b>	
<b>INSTRUMENTO PARA DOS VARIABLES MEDIDAS, OPCIONALMENTE INSTRUMENTO CON MÁS DE UNA FUNCIÓN, PUEDEN AÑADIRSE CÍRCULOS ADICIONALES</b>			

Fuente. Norma ISA S 5.3 [16]

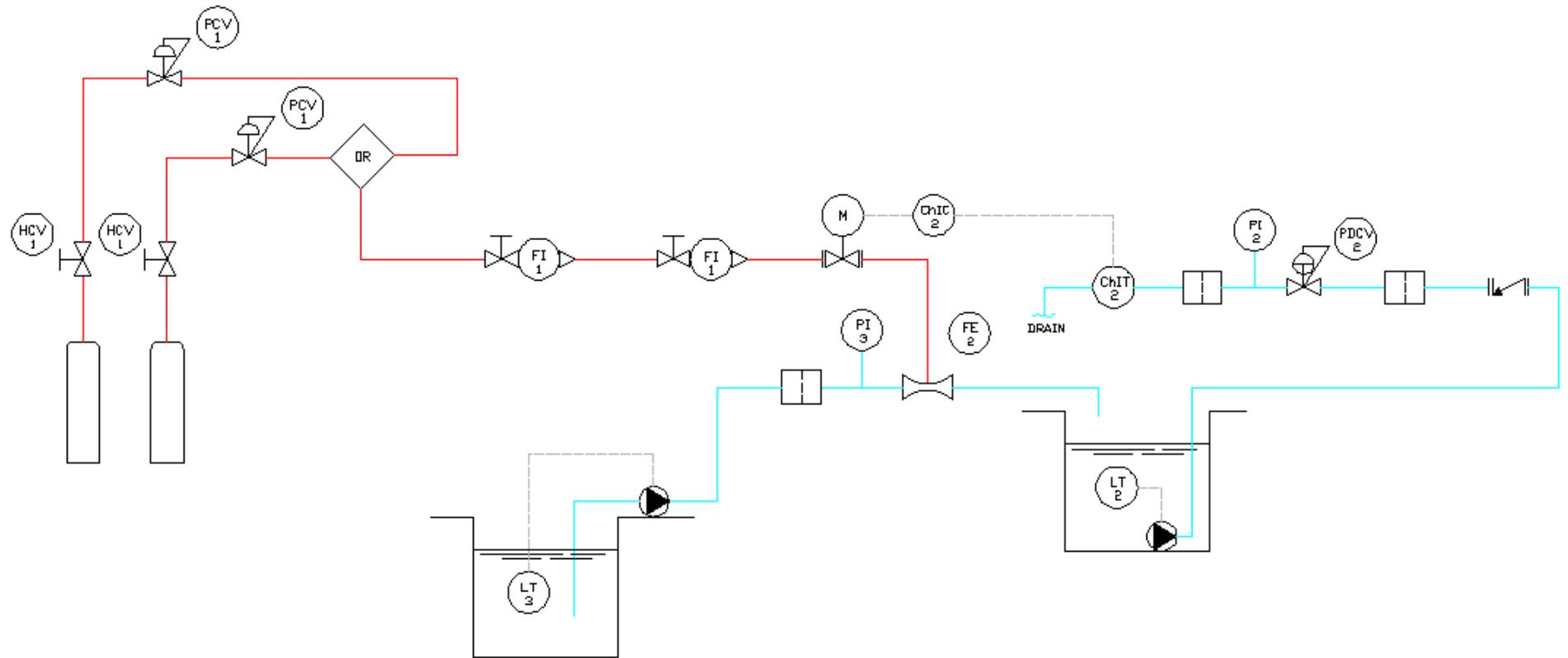
La simbología y las señales de instrumentación utilizadas en el control del proceso de cloración se muestran en la figura 42

Figura 42. Símbolos NORMA ISA S 5.3

SÍMBOLO	NOMBRE
	ROTANETRO INDICADOR CON VALVULA DE REGULACION MANUAL
	VALVULA DE CONTROL AUTOMATICA
	ELEMENTO DE FLUJO - EYECTOR
	CHLORINE INDICATOR CONTROLLER
	CHLORINE INDICATOR TRANSMISOR
	FILTER
	VALVULA CHECK
	REGULADOR REDUCTOR DE PRESION
	AUTO REGULADOR DE VACIO
	SEÑAL ELECTRICA/ELECTRONICA
	FLUJO DE CLORO GASEOSO
	FLUJO DE AGUA

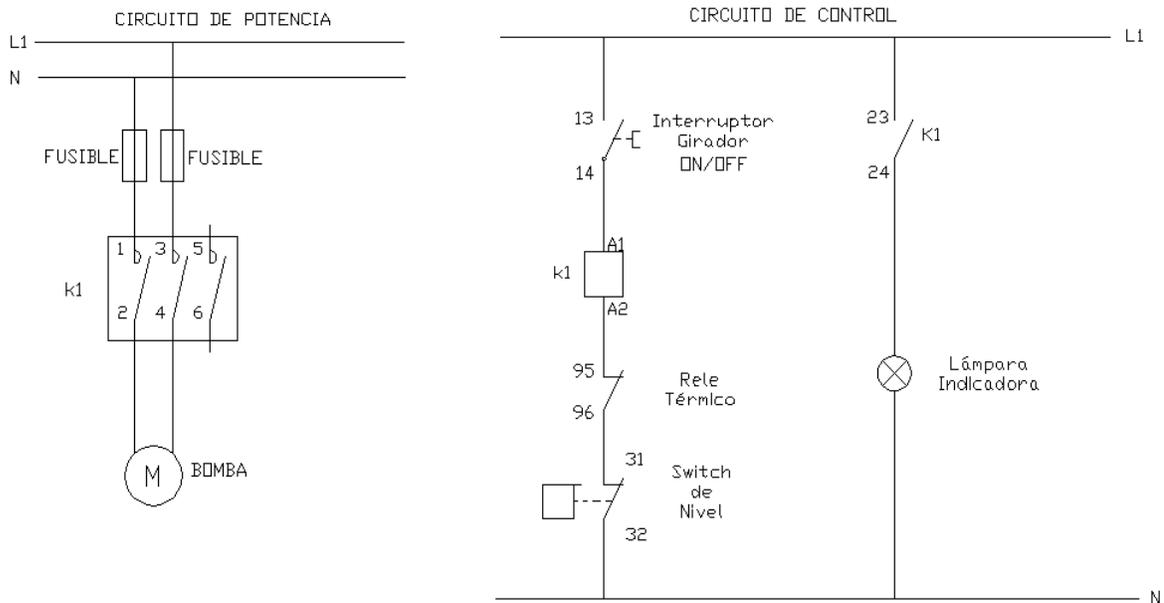
A continuación se presenta el diagrama P&ID del sistema de cloración implementado en la comunidad San Vicente de Lacas.

Figura 43. Diagrama P&ID del sistema automatizado de cloración de San Vicente de Lacas



**6.1.2 Diagrama eléctrico.** El diagrama eléctrico está constituido por dos circuitos, uno de potencia y otro de control. La simbología que se utiliza para esta representación es la indicada en la Norma UNE-EN 60617 (IEC60617).

Figura 44. Diagrama eléctrico



En la figura 44 se presenta el esquema unifilar para la instalación de la bomba de refuerzo; la misma que inicia su funcionamiento una vez que se energice las bobinas del *contactor* *K1* mediante el *interruptor girador*, siempre y cuando el *switch de nivel* indique que existe agua en el tanque de succión; es decir el contacto cierra el circuito.

El motor de la bomba *M* está protegido mediante un *relé térmico* que se conecta en serie con las *bobinas del contactor*, y se activa siempre y cuando exista una sobrecarga en el motor o a su vez un cortocircuito. Además se muestra la conexión de una lámpara indicadora mediante un contacto auxiliar de *k1* que permite visualizar si la bomba está o no en funcionando.

**6.1.3 Sistema de control.** Está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados. Estos sistemas se usan típicamente en sustituir un trabajador pasivo

que controla un determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

- Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

**6.1.3.1** *Sistema de control de lazo cerrado.* Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Tiene como objetivo mantener una variable en un valor deseado SP (Set Point) o variable a través del tiempo. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación o feedback desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias.

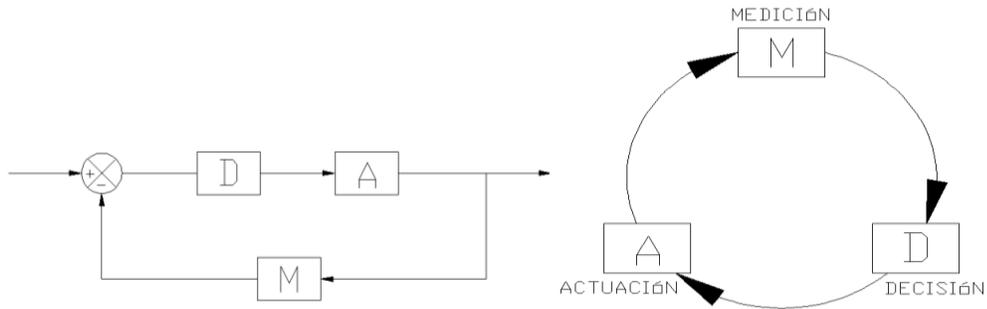
- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente duro en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

Para clasificar nuestro caso de estudio según el número de **entradas** y **salidas** del sistema, se denomina: De **una entrada y una salida** o **SISO** (single input, single output).

Figura 45. Control retroalimentado, sistema de control de lazo cerrado

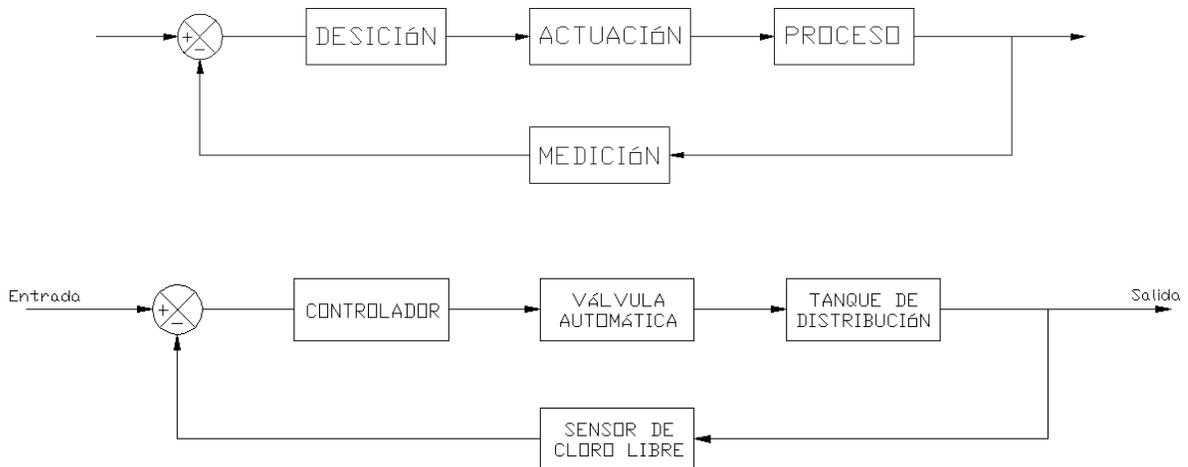


Un sistema de control también se lo conoce como un proceso MDA, es decir donde existen acciones de Medición, Decisión y Actuación. El parámetro de medición se relaciona con los sensores o elementos que estén monitoreando la variable del proceso, la decisión la toma el elemento controlador donde se compara el valor medido con el valor del SP, y la actuación la realiza el elemento que ejecuta directamente una acción sobre la variable del proceso por ejemplo una válvula, un motor, una resistencia eléctrica, entre otros.

La retroalimentación en la cloración correcta del agua se convierte en un parámetro fundamental, dado que así se estará teniendo un control permanente de la cantidad de cloro a dosificarse y que esta sea comparada con el valor normalizado.

Una vez que un sistema de control sea implementado a un proceso el mismo se convierte en un Sistema Controlado.

Figura 46. Diagrama del sistema controlado



**6.1.3.2 Modos de control.** Los controladores industriales modernos son hechos usualmente para producir una, o una combinación de acciones de control (modos de control). Estas incluyen.

- Control ON-OFF, o conectado-desconectado o control dos posiciones
- Control proporcional
- Control proporcional más integral
- Control proporcional más derivativo
- Control proporcional más integral más derivativo (PID)

**6.1.3.3 Control proporcional.** Según experiencias industriales, el sistema de control empleado para la cloración del agua que mejores resultados ha proveído es el acción proporcional, los parámetros de funcionamiento y el implícito entendimiento de la justificación de esta recomendación, se detallan a continuación.

Un controlador proporcional ajusta en forma continua la variable manipulada de manera que la entrada del proceso esté aproximadamente en balance con la demanda del mismo. Dicho de otra manera el controlador proporcional entrega una potencia que varía en forma gradual entre 0 y 100% según se requiera y en forma proporcional al error.

$$E = SP - PV \quad (54)$$

Donde:

- *E*: Error
- *SP*: Set point o valor prefijado, es el valor al cual el control se debe encargar de mantener en la variable de proceso.
- *PV*: Variable de proceso ("processvalue"), es la variable medida que se desea estabilizar (controlar).

En un control proporcional también es necesario definir el parámetro **Pb** "Banda Proporcional". La banda proporcional es comúnmente expresada como porcentaje de la dimensión del SP. Corresponde a una banda de valores (dependiendo de la variable física que se está tratando, en nuestro caso el cloro residual) situada por debajo del SP a lo largo

de la cual, la apertura de la válvula variará proporcionalmente al error (SP-PV), disminuyendo cuanto más cercana sea la temperatura al SP.

Internamente el controlador realizará el cálculo del porcentaje de salida "Out" mediante la siguiente fórmula:

$$Out = \left[ 100\% \cdot \frac{E}{banda} \right] \quad (55)$$

$$banda = \frac{Pb \cdot SP}{100\%} \quad (56)$$

El paréntesis [ ] se usa para indicar saturación, es decir que si al evaluar el interior, resulta mayor de 100%, se deja en 100% y si resulta 0 o negativo, se deja en 0%.

Para realizar un ejemplo con un valor de Pb = 10 %, en nuestro caso de estudio tendríamos como datos:

*SP: 1ppm* Referido al valor que necesitamos en el tanque de distribución

$$banda = \frac{Pb \cdot SP}{100\%}$$

$$banda = \frac{10\% \cdot 1ppm}{100\%}$$

$$banda = 0,1ppm$$

Es decir que la banda a lo largo de la cual variará gradualmente la apertura de la válvula será: 0,9 ppm a 1 ppm.

Por ejemplo si la lectura del cloro residual es igual o menor de 0,9 ppm, la salida de control (apertura de la válvula) será 100%.

Cuando la temperatura esté en la mitad de la banda, es decir en 0,95 ppm la salida será 50%, como nos indica la ecuación:

$$Out = \left[ 100\% \cdot \frac{E}{banda} \right] = \left[ 100\% \cdot \frac{1 - 0,95}{0,1} \right]$$

$$Out = 50\%$$

Al llegar la lectura del cloro residual a 1 ppm la salida será 0%:

$$Out = \left[ 100\% \cdot \frac{1 - 1}{0,1} \right]$$

$$Out = 0\%$$

Las ecuaciones anteriores pueden reescribirse también en términos de la ganancia proporcional como:

$$Out = [K_p \cdot E] \quad (57)$$

$$K_p = \frac{100\%}{\left( \frac{P_b \cdot SP}{100\%} \right)} \quad (58)$$

Donde la constante  $K_p$  se conoce como ganancia proporcional del control y es inversamente proporcional a  $P_b$ .

En el control On/Off,  $K_p$  es muy grande, tiende a infinito.

En la tabla 35 se observa la apertura de la válvula (Out%) suministrada por el controlador a distintas lecturas de cloro residual para este ejemplo:

En el siguiente gráfico de Cloro residual vs. Tiempo se observa el comportamiento típico de un control proporcional.

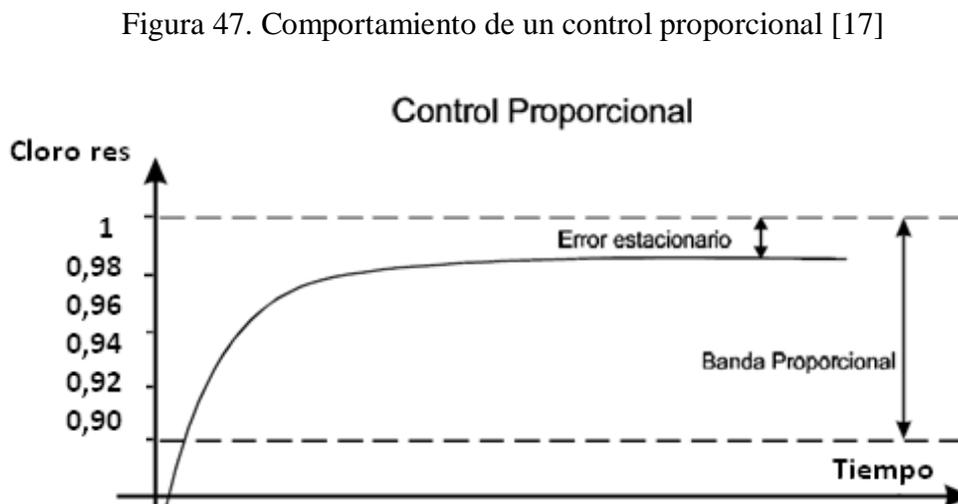


Tabla 35. Apertura de la válvula para diferentes lecturas con una pb=10%

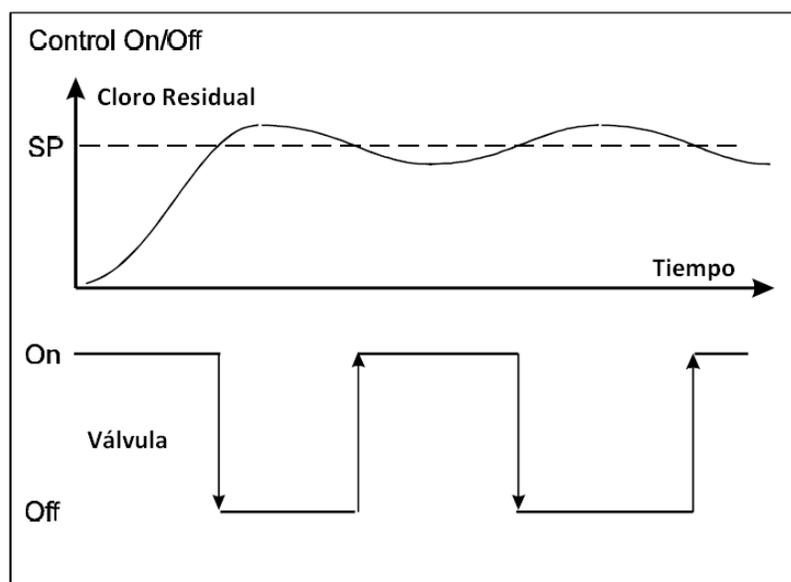
PV [ppm]	Error ( $SP - PV$ ) [ppm]	Apertura de la Válvula [%] $\left[ 100\% \cdot \frac{E}{banda} \right]$
1,1	-0,1	0
1,05	-0,05	0
1	0	0
0,99	0,01	10
0,98	0,02	20
0,95	0,05	50
0,93	0,07	70
0,9	0,1	100
0,88	0,12	100
0,85	0,15	100

No es difícil imaginar un control On/Off como uno proporcional con  $P_b=0\%$ , pues cuando la temperatura está arriba del SP ( $E < 0$ ) la salida es 0% y cuando la temperatura está abajo del SP ( $E > 0$ ) es 100%.

Por lo tanto es importante tener presente que mientras menor sea la banda proporcional, el control proporcional se comportará más parecido al On/Off, es decir tenderá a presentar oscilaciones alrededor del SP.

El control proporcional presenta el problema que el valor del Cloro residual jamás se estabilizará justo en el valor del SP, refiérase a la figura 47. En la práctica se estaciona siempre en un punto dentro de la banda proporcional, produciendo así el "**error estacionario**".

Figura 48. Comportamiento de un control ON/OFF [17]



Recurriendo a nuestro ejemplo, supongamos que el cloro residual se estacionará en 1 ppm en forma estable y permanente, entonces la salida sería 0%.

Pero siempre es necesario suministrarle al agua algo de cloro, por lo menos cómo para compensar las pérdidas que se producen en el mismo tanque de distribución por la reacción desinfectante que en este se produce.

Es evidentemente imposible que el tanque de distribución se mantenga con una lectura de 1ppm de cloro residual con la válvula automática completamente cerrada.

Luego el valor de cloro residual tiene que descender un poco, lo suficiente para que la apertura de la válvula que maneja la dosis de cloro residual sea igual a las pérdidas de cloro del tanque de distribución.

Las pérdidas que se estiman que existen en el tanque son del 10%. Luego el valor de cloro residual se estacionará establemente a 0,99 ppm, pues a esa lectura de cloro la apertura de la válvula es del 10%, refiérase a la Tabla 35. Al valor del error en este punto, 0,01 ppm, se le llama **error estacionario**.

El error estacionario se puede reducir disminuyendo la banda proporcional. Por ejemplo para un  $P_b = 5\%$  y las mismas pérdidas el error estacionario sería:

$$Out = \left[ 100\% \cdot \frac{E}{banda} \right]$$

$$E = \frac{Out \cdot banda}{100\%} = \frac{10\% \cdot 0,05ppm}{100\%} = 0,005 ppm$$

Pero reducir mucho la banda proporcional volverá oscilatorio nuestro sistema (más parecido a un On/Off), luego existe un límite inferior y siempre habrá algo de error estacionario.

En particular en sistemas que tengan mucho tiempo de retardo, debido a inercias grandes como en hornos de gran volumen, este problema se puede eliminar aumentando la banda proporcional y con ella aumentará el error estacionario.

El problema generado al aumentar la banda proporcional para eliminar las oscilaciones, es que el control pierde efectividad para responder rápidamente a perturbaciones externas (variaciones de la calidad del agua, ingreso de elementos contaminantes, entre otros).

La proporcional es la acción de control lineal más importante.

Como ventajas se pueden mencionar:

- La instantaneidad de aplicación
- La facilidad de comprobar los resultados

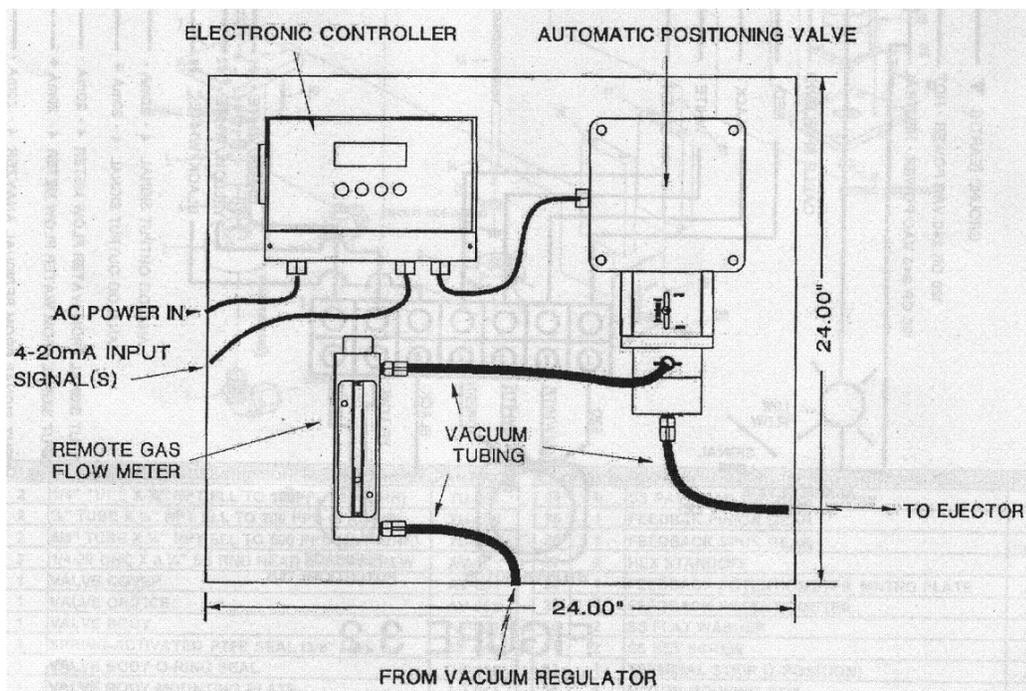
Como desventajas:

- La falta de inmunidad al ruido
- La imposibilidad de corregir algunos errores en el régimen permanente.

**6.1.4** *Instalación de la válvula automática (SUPERIOR AutoValve Series 2000).* La válvula Superior Series 2000 es un dispositivo que trabaja mediante un microprocesador que permite el control automático de la dosificación o velocidad de alimentación (feedrate). Diseñada para trabajar con gases como cloro, dióxido de azufre y amonio; basado

en el caudal de agua, un set point para el valor del residual de estos gases o una combinación de los dos parámetros.

Figura 49. SUPERIOR AutoValve Series 2000 [18]



Posee un diseño robusto con una interface simple y amigable para su fácil manipulación. Recibe una señal analógica de 4-20mA proveniente de un enlace con un sistema de monitoreo como el analizador.

El modo de control a utilizarse como se conoce es el llamado Residual Control, que se refiere al monitoreo del cloro residual. Este modo es requerido cuando se necesita una toma de muestras continua en lugar de un muestreo por lotes. Los analizadores amperométricos son los elementos más recomendados para trabajar enlazados a este tipo de controlador de la válvula.

Existen algunos parámetros variables que se requieren conocer para su correcta instalación y funcionamiento:

**6.1.4.1 RES FS [Residual Analyzer Full Scale Output].** Este dato representa la lectura de cloro residual leída en ppm (partes por millón), el cual es representado por el valor máximo de la señal de salida del analizador que normalmente son 20mA, pero depende del tipo de señal de salida que posea el elemento analizador por ejemplo voltios o escalas más grandes o pequeñas de amperios.

**6.1.4.2 LAGFIX [Lag Time Setting].** Es una medida de tiempo en segundos que indica cuánto tarda el gas inyectado al agua hasta alcanzar el analizador, pasar a través de la celda de medición, y enviar el resultado de vuelta al controlador de la válvula automática. Este dato se calcula mediante la velocidad de flujo del agua añadido el tiempo de la toma de muestras del analizador. Existen tablas que colaboran con la determinación más exacta de este dato.

**6.1.4.3 P [Gain].** Se refiere a la Ganancia proporcional que anteriormente nombramos como  $K_p$ , es el ajuste en la sensibilidad del controlador a los cambios en la lectura del cloro residual.

Como se explicó anteriormente, el valor de este parámetro determina si la respuesta va a ser rápida y tendiendo a fluctuaciones alrededor del SP (si  $K_p$  tiene un valor alto) o más lenta y relativamente estable (si  $K_p$  tiene un valor bajo).

El ajuste de este parámetro depende de la naturaleza del sistema a tratarse, puede ocurrir que se tenga un sistema que experimente fluctuaciones menores mientras que otro puede presentar cambios constantes.

Basado en la experiencia el fabricante entrega el equipo con un valor por defecto del 100%; el mismo que satisface a la mayoría de los sistemas.

#### **6.1.4.4 Montaje**

- La válvula automática está sostenida en un panel para montarse en la pared la misma que se instala con elementos de fijación como pernos, debe ser instalado en una superficie vertical en el interior de una habitación, nunca en ambientes externos.

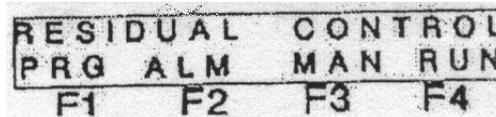
- La alimentación eléctrica requerida es de 110 VAC, 60 Hz. Es necesaria la utilización de UPS (Uninterruptible Power Supply, Sistema de NO-BREAK) el mismo que proteja los picos de voltaje que se pueda ocurrir.
- El cable de conexión entre los módulos electrónicos, es decir entre el analizador y la válvula automática no debe exceder los 30m, y para esta longitud se utilizara un cable especial, se recomienda no exceder una longitud de 10m.

**6.1.4.5 Programación.** Se debe establecer los parámetros correctos en la programación, los mismos que se adapten a la instalación específica del sistema, los parámetros que contiene de fábrica los equipos no siempre son los ideales para el funcionamiento correcto, dada la particularidad de cada sistema.

A continuación se detalla una guía que para estimar los valores de programación:

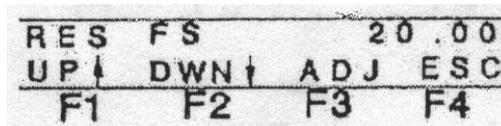
- En la pantalla principal entrar al menú de PRG, pulsando la tecla F1.

Figura 50. Pantalla principal, controlador [18]



- Inmediatamente aparece la primera variable del menú de programación, para moverse al siguiente parámetro se utilizan las teclas de desplazamiento arriba/abajo.

Figura 51. Menú de programación[18]

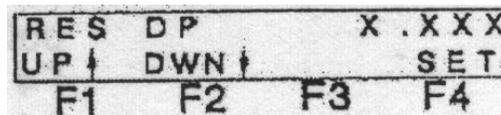


- **RES FS:** Para el parámetro de Full Scale, es necesario conocer el valor máximo de cloro residual que el analizador puede leer y que corresponderá a los 20 mA como señal de salida. El cloro residual estar medido en ppm. En el caso del

dimensionamiento de nuestro equipo es de 10ppm, que es la capacidad máxima de dosificación y lógicamente de lectura. Para cambiar este parámetro se presiona la tecla F3 (ADJ) y con las flechas de desplazamiento se establece el nuevo valor.

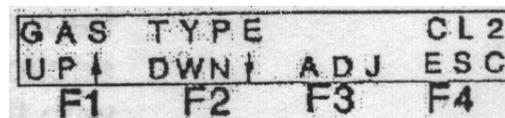
- **RES DP:** Este parámetro, se refiere a la cantidad de números decimales (x,xxx). Para establecer el número de decimales se debe tener en cuenta el número de decimales en la lectura del analizador es decir de 2 cifras decimales. Una alteración en el número de decimales alteraría la recepción de los datos desde el elemento de medición y así también alteraría la repuesta de la válvula automática.

Figura 52. RES DP [18]



- **GAS TYPE:** Como se mencionó anteriormente la válvula puede trabajar con tres tipos diferentes de gases, en nuestro caso se selecciona lógicamente el cloro CL. Para cambiar este parámetro se presiona la tecla F3 (ADJ) y con las flechas de desplazamiento se establece el nuevo gas.

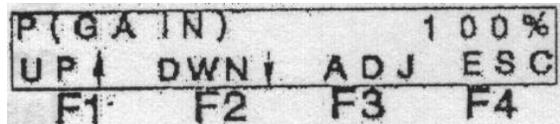
Figura 53. GAS TYPE [18]



- **P (GAIN):** para establecer la sensibilidad del sistema (valor de ganancia), es necesario conocer el significado de esta variable como se lo hizo en este capítulo anteriormente, por defecto el valor que se encuentra es del 100% lo cual nos dará una respuesta rápida pero con picos o fluctuaciones alrededor del SP, pues está trabajando cerca de un funcionamiento ON/OFF. Este parámetro abarca la mayoría de los sistemas dada la característica de velocidad de respuesta y a que controlaría cambios permanentes en la variable de proceso.

Si en el funcionamiento del sistema se observa que la válvula está constantemente cerrándose y abriéndose constantemente, se evidencia que se necesita reducir el valor de la ganancia pues la variable del proceso está teniendo variaciones menores. Con ello se conseguiría que la válvula permanezca en un porcentaje de apertura dado por intervalos de tiempo más grandes.

Figura 54. P (GAIN) [18]



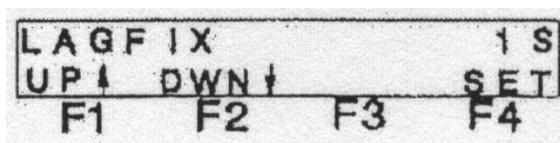
- **LAGFIX:** Es el tiempo que tarda el cloro desde que es inyectado hasta llegar al analizador, además se le agrega el tiempo que tarda el analizador en tomar una lectura. Para este caso la inyección de cloro se la toma en cuenta desde el tanque de distribución, es decir que el primer tiempo a determinar es cuánto tarda en llegar el agua desde el tanque de distribución al analizador.

Tabla 36. Tiempo de recorrido LAGFIX

<b>Q bomba sumergible</b>	70	ml/s
<b>Ø<sub>int.</sub> Tub.</b>	6	mm
<b>Velocidad</b>	2,47574356	m/s
<b>L tubería</b>	5	m
<b>T</b>	<b>2,01959528</b>	s

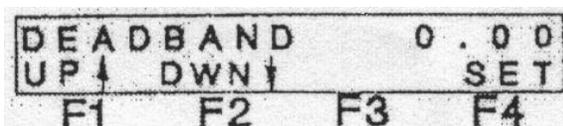
El analizador permanentemente monitorea el nivel de cloro, siendo solamente una fracción de segundo lo que tarda en tener un dato, por lo tanto un valor de LAGFIX idóneo estar bordeando los 2s, como indica la tabla anterior.

Figura 55. LAGFIX [18]



- **DEADBAND:** Establece un valor de desviación del Set Point en ppm, el cual debe existir antes de que el controlador comience a actuar. Un valor de cero para la DEADBAND haría que el controlador comience a actuar al mínimo cambio en el valor del cloro residual y se convertiría en una constante búsqueda alrededor del Set Point. Un valor de 0,01 ó 0,02 ppm para la DEADBAND es muy razonable.

Figura 56. DEADBAND [18]



**6.1.5** *Instalación del analizador de cloro libre (WaterQualityAnalyzer WG-602).* El analizador de Cloro Libre WG-602, continuamente monitorea parámetros como: Cloro Libre, pH, temperatura, Cloro Total, turbiedad, conductividad y caudal en un proceso donde circule agua. Para nuestras necesidades es suficiente monitorear los tres primeros parámetros, las demás lecturas se logra añadiendo al analizador el electrodo correcto para monitorear la variable deseada.

Es capaz de recibir hasta cuatro señales analógicas de entrada de 4-20mA y posee hasta ocho salidas analógicas de 4-20mA. Se compone de dos unidades primarias: la unidad de análisis y la unidad de control. La unidad de análisis ejecuta las mediciones y la unidad de control incluye la parte electrónica, la interface del usuario, software y unidades de control.

**6.1.5.1** *Selección del lugar de ubicación.* El lugar donde se destine la ubicación del analizador debe contar con un conveniente acceso, o visualización del aparato.

No debe estar expuesto a la intemperie, se recomienda un lugar libre de humedad y polvo con el fin de conservar el buen estado de los circuitos electrónicos.

Se debe ubicar en un lugar lejano al almacenamiento de químicos, en especial si son químicos para tratamiento de agua.

La longitud de la línea de alimentación de agua para el analizador debe ser lo más corta posible, una distancia grande provocaría un retardo innecesario en la lectura de las mediciones.

Así como la válvula automática, el panel del analizador debe ser montado sobre una superficie vertical estable y sujeta firmemente con pernos.

**6.1.5.2** *Requerimientos hidráulicos.* El analizador necesita una alimentación de agua con cierto valor de presión, una dotación de agua con un valor de presión cero (únicamente el valor de la presión atmosférica) ocasionaría que el flujo tienda a regresar desde el analizador.

La longitud de la tubería que está alimentando al analizador debe ser lo más corta posible para evitar demoras innecesarias en la lectura del cloro residual y el control de la variable de proceso.

La presión en la línea de alimentación no debe exceder los 36 psi, y debe ser ajustada a un valor no mayor de 15 psi a la entrada del analizador mediante un reductor de presión.

El drenaje sencillamente puede ser hacia la atmosfera.

**6.1.5.3** *Requerimientos eléctricos.* La alimentación eléctrica requerida es de 110 VAC/60Hz, en una línea independiente desde el tablero eléctrico y es recomendable la utilización de un equipo que regule los picos de voltaje que trabaje exclusivamente con el analizador, una buena opción sería el uso de un UPS.

**6.1.5.4** *Calibración.* El analizador, contiene calibraciones de fábrica para las tres variables que monitorea constantemente. Se hace necesaria la revisión de estos parámetros comparando las lecturas con otro medidor de alta exactitud, por ejemplo para calibrar la lectura de cloro libre se lo puede hacer con un espectrofotómetro digital, que es lo más comúnmente usado.

Para esta acción se debe seguir los siguientes pasos:

- Se toma una muestra de agua desde la línea drenaje o línea de muestreo.
- Se realiza la medición, en nuestro caso se utiliza el Colorímetro Digital portátil Modelo DR890 marca HATCH como se indicó anteriormente.

- Si nuestra lectura el colorímetro digital difiere considerablemente de la lectura mostrada en el display es necesario ingresar un nuevo dato de calibración, se puede considerar necesaria una calibración cuando el error de la lectura exceda los 0.05 ppm.
- Presione la tecla Menú en analizador hasta que aparezca “Cl calibre”
- En seguida se muestra el valor la cual fue calibrado por última vez el analizador, presione la tecla OK y seguido de esto ingrese el password que por defecto es 123.
- Seguido de esto con las teclas de desplazamiento arriba/abajo ingrese el nuevo valor de calibración y presione la tecla OK. En el display se muestra que en ese instante las lecturas comienzan desde el valor ingresado.

## 6.2 Programa sinóptico de instalación del sistema

Con la finalidad de dar a conocer la secuencia de instalación del sistema, a continuación se presenta el programa sinóptico de instalación del mismo. Refiérase a la tabla 37. Para ello se considera el tiempo que se empleó en la adecuación de cada uno de los elementos que constituyen el conjunto.

### 6.2.1 Instalación de la bomba de apoyo

1. Instalar la tubería de succión con la respectiva válvula de pie.
2. Colocar la tubería de descarga hacia el sistema de cloración.

Figura 57. Instalación de la bomba de apoyo

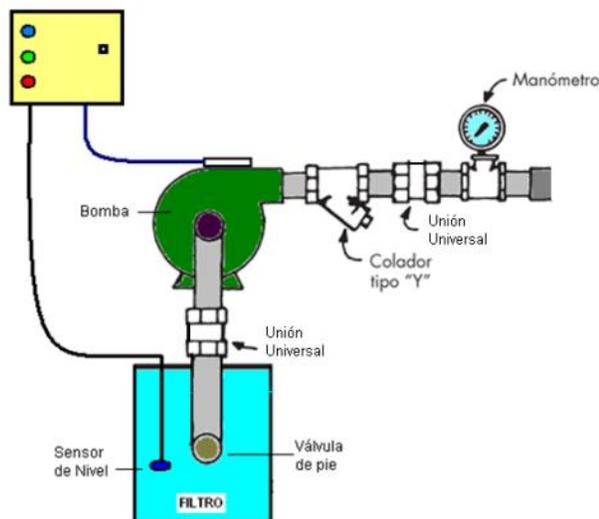


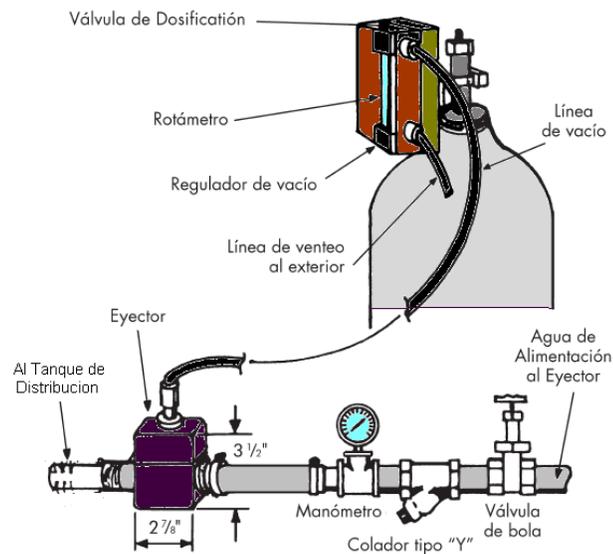
Tabla 37. Programa sinóptico de instalación del sistema

ACTIVIDAD	Diciembre 2011										
	Viernes 09				Sábado 10				Domingo 11		
	2h	2h	1h	2h	2h	1h	1h	1h	1h	3h	2h
Instalación de la bomba de refuerzo	■										
Instalación de tubería de succión, descarga y accesorios		■									
Instalación de los clorinadores			■								
Conexión del rotámetro remoto, conmutador automático, líneas de vacío y venteo.				■							
Instalación bomba sumergible y accesorios.					■						
Instalación del analizador						■					
Instalación del controlador y la válvula automática.							■				
Conexión entre el analizador y el controlador								■			
Conexión del eyector.									■		
Calibración del sistema										■	
Prueba de sistema											■

3. Situar a la altura ideal el sensor de nivel, para garantizar un óptimo funcionamiento del sistema así como también evitar la cavitación de la bomba.
4. Realizar las conexiones eléctricas guiándose en el apéndice anterior. (Ver figura57)

### 6.2.2 Instalación del eyector

Figura 58. Instalación del eyector



1. Quitar el difusor del eyector y poner dos vueltas de cinta de teflón en sus roscas. No Instalar el difusor en la línea cuando esté conectado en el eyector.
2. Enroscar el difusor a mano en las roscas NPT de la línea del agua a clorar (1").
3. Colocar la herramienta en el difusor y apretar media vuelta máximo.
4. Reconectar el difusor al eyector asegurando que los empaques negros estén en cada lado de la boquilla y del difusor.

### 6.2.3 Prueba del eyector

#### 1. Arreglo de tuberías del eyector.

- a. Instalar el eyector corriente abajo de la bomba, a una distancia que impida que el agua clorada sea recirculada hacia la bomba de ayuda.
- b. Instalar una válvula del agua de alimentación, un colador tipo "Y" y un manómetro en el lado de la entrada de agua al eyector.

## 2. Prueba de suficiente presión para operar el eyector y correcta rotación la bomba.

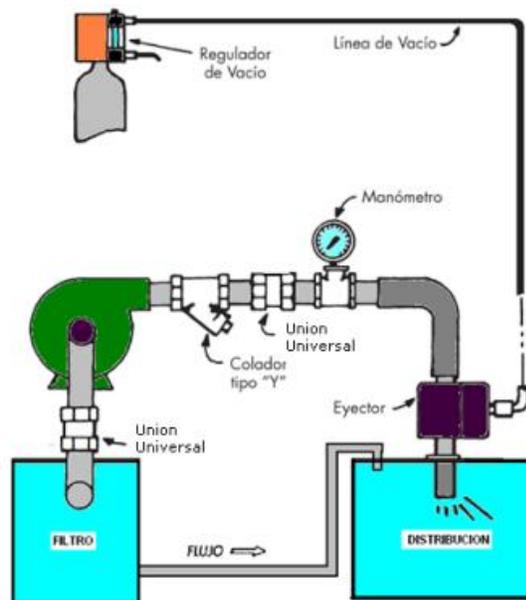
Se debe tener en cuenta que el eyector necesita algo de retropresión para evitar cavitaciones y pérdida de vacío. Además, cuando se clora en una cámara de contacto se necesita instalar una válvula rompedora de vacío en la línea de solución clorante para evitar crear un sifón.

- a. Abrir la válvula al eyector, y el manómetro debe indicar suficiente presión (50 psi). La bomba operando en la dirección correcta debe producir un fuerte vacío en la conexión superior del eyector. Sentirla con el dedo sobre ella.
- b. Si el eyector pasa esta prueba correctamente continúe con el siguiente paso. (Montaje del Regulador de Vacío)

### 6.2.4 Instalación del regulador de vacío (cilindros de 68 kg.)

La válvula del cilindro de cloro está CERRADA. No la abra hasta ser instruido.

Figura59. Instalación del regulador de vacío



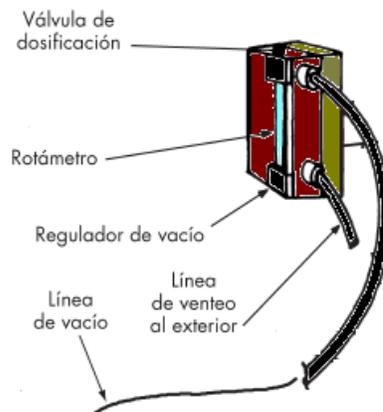
1. Verificar que la cadena de seguridad sujete correctamente el cilindro.
2. Quitar el capuchón protector de la válvula del cilindro.
3. Revisar y asegurarse de que el regulador de vacío no tiene daños aparentes.

4. Quitar la cinta protectora de la espalda del regulador usada para protegerla en tránsito.
5. Colocar el empaque de plomo sobre la entrada del ensamble de entrada al regulador.
6. Al hacerlo ver que el filtro esté también instalado. (Se necesita para impedir que partículas sólidas causen que el regulador fugue cloro hacia la línea de venteo.
7. Montar el regulador de vacío en la válvula del cilindro asegurando que el tornillo del yugo esté suficientemente retirado para permitir su colocación. Al apretar este tornillo, asegure que el empaque de plomo permanezca en su lugar. Apretar excesivamente puede dañar el empaque y/o el tornillo del yugo. **NO USE EXCESIVA FUERZA.**

Note la localización de las válvulas para permitir la fácil limpieza del colador y el práctico mantenimiento de la bomba.

**6.2.5** *Conexión de las líneas de vacío entre el regulador de vacío y el eyector, y la de venteo al exterior.*

Figura 60. Conexión de las líneas de vacío y venteo



1. Para las unidades de 100 PPD (2 kg/hora) o menores dosificaciones, el conector superior derecho del regulador de vacío es para la línea de vacío al eyector. Figura 60 (Es necesario dejar suficiente largo de la tubería flexible de vacío para permitir el cambio de los cilindros)

2. Conectar otra tubería de vacío al segundo conector del regulador de vacío y ventéarla al exterior del edificio, (Ubicar la malla protectora de insectos en el extremo de ella)

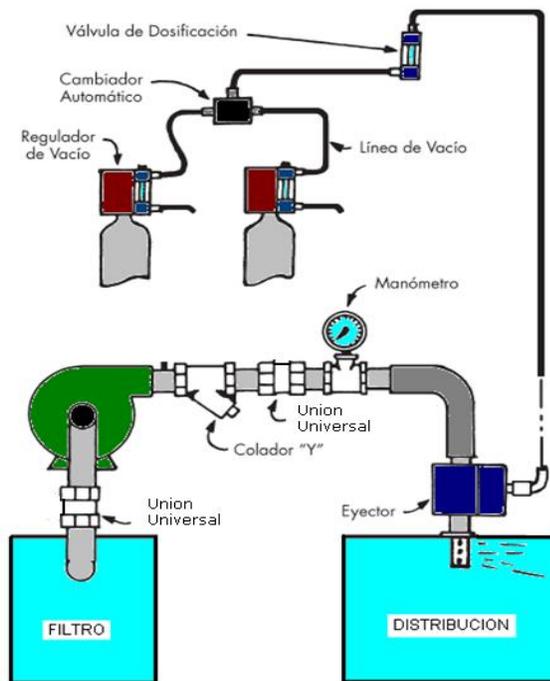
No interconectar líneas de venteo de dos reguladores de vacío en una línea común. Se deben llevar líneas de venteo separadas hasta el exterior, una para cada regulador.

### 6.2.6 Conexión del cambiador automático de cilindros y/o rotámetro remoto

#### 1. Cambiadores automáticos: (El gas fluye de la entrada lateral hacia la salida superior, y de un solo lado a la vez).

- a. Conectar las dos líneas de los reguladores de vacío a los conectores laterales.
- b. Conectar una sola línea del conector superior al rotámetro remoto.

Figura 61. Conexión del conmutador automático y del rotámetro remoto



#### 2. Rotámetro Remoto: (El gas fluye de abajo hacia arriba)

- a. Conectar la línea al conector inferior del rotámetro
- b. Conectar la línea del conector superior del rotámetro al eyector.

## CAPÍTULO VII

### 7. FASE EXPERIMENTAL Y MANTENIMIENTO

#### 7.1 Puesta en marcha del sistema manual

**7.1.1** *Determinación experimental de la demanda real de cloro de la comunidad.* Como se explicó en el capítulo anterior, la primera etapa del funcionamiento duró un período de dos semanas trabajando en el sistema manual bajo el control único del Rotámetro 1. Durante este periodo de tiempo se determina experimentalmente la demanda de cloro para la comunidad, la primera aproximación para obtener este dato es utilizando el caudal como determinante de dicho consumo, es decir se halla un valor teórico mediante el método del estimado.

La cantidad de agua que ingresa a la planta:

$$5,2 \frac{l}{s} \times 86400 \frac{s}{día} = 449280 \frac{l}{día} = 449,28 \frac{m^3}{día} \quad (59)$$

El cloro gaseoso a utilizarse tiene 99% de concentración entonces necesitamos:

$$\frac{1 \text{ gal } 100\%}{0,99} = 1,01 \text{ g de cloro gaseoso} \quad (60)$$

$$449,28 \frac{m^3}{día} \times 1,01 \frac{g}{m^3} = 453,81 \frac{g}{día} = 15,97 \text{ Oz} = 1 \frac{lb}{día} \quad (61)$$

Según el método del estimado, la apertura del rotámetro debería permitir el paso de  $1 \frac{lb}{día}$  de cloro gaseoso.

Para validar este dato se realiza el monitoreo de cloro residual en la red, este valor será el que determine la demanda real de cloro por el sistema. Debido a este motivo al existir una deficiencia de cloro residual se realiza incrementos de  $0,5 \frac{lb}{día}$  de cloro en el rotámetro 1, hasta llegar a obtener valores de cloro residual dentro del rango de la norma.

La siguiente tabla indica los valores obtenidos:

Tabla 38. Determinación de la demanda real de cloro.

DÍA	APERTURA DEL ROTÁMETRO R1 $\left[\frac{lb}{día}\right]$	COLORO RESIDUAL $\left[\frac{mg}{l}\right]$	RED
1	1	0,13	Alta
		0,1	Media
		0,07	Baja
2	1,5	0,65	Alta
		0,33	Media
		0,52	Baja
3	2	1,12	Reservorio
		0,85	Alta
		0,65	Media
		0,57	Baja

Experimentalmente la demanda de cloro es de al menos  $2\frac{lb}{día}$ , valor con el cual el cloro residual, en las diferentes redes, se encuentra dentro de niveles óptimos según la norma.

La diferencia de valores determinados teórica y experimentalmente se debe a que el cloro se está consumiendo a lo largo de las redes, puesto que estas al haber permanecido un largo período conduciendo agua no purificada poseen un alto contenido de microorganismos en sus paredes lo cual consume el desinfectante. Se estima que en un cierto tiempo, luego de que las tuberías se hayan purificado, la demanda de cloro descienda.

## 7.2 Comparación del funcionamiento antes y después de la implementación del sistema automatizado

La manera de valorar el funcionamiento de un sistema de dosificación de cloro se la realiza mediante el monitoreo del cloro residual existente en las redes alta, media y baja. Cuando

este parámetro se enmarque dentro de la norma con valores adecuados, se podrá decir que el sistema está funcionando óptimamente.

A continuación las tablas muestran el desempeño de los sistemas comparativamente.

Tabla 39. Comparación de funcionamiento antes y después de la implementación del sistema automatizado

<b>SISTEMA</b>	<b># DE MUESTRAS TOTALES</b>	<b># DE MUESTRAS DENTRO DE LA NORMA</b>	<b># DE MUESTRAS FUERA DE LA NORMA</b>
<b>MANUAL CON HIPOCLORITO DE CALCIO</b>	75	3	72
<b>AUTOMÁTICO CON CLORO GASEOSO</b>	50	47	3

Tabla 40. Porcentajes de comparación de funcionamiento de los sistemas

<b>SISTEMA</b>	<b>% DE MUESTRAS DENTRO DE LA NORMA</b>	<b>% DE MUESTRAS FUERA DE LA NORMA</b>
<b>MANUAL CON HIPOCLORITO DE CALCIO</b>	4	96
<b>AUTOMÁTICO CON CLORO GASEOSO</b>	94	6

### **7.3 Operación y mantenimiento**

En la práctica es imposible encontrar una máquina o equipo que no necesite Mantenimiento. Es así, que para producir o fabricar se requiere de máquinas o equipos, que con la acción del tiempo y del uso están sujetos a un proceso irreversible de desgaste, de envejecimiento y a una degradación de eficiencia técnica; así como a su obsolescencia

tecnológica. Por lo tanto, para aliviar estos males inevitables se requerirá asociar la vida de estas máquinas o equipos con el mantenimiento y una correcta operación.

Es evidente que la adecuada manipulación de un sistema se vincula a un mantenimiento preventivo y a la disminución de un mantenimiento correctivo, garantizando no solamente un funcionamiento óptimo sino también un ahorro económico. La vida útil del sistema y equipos dependerá directamente de un adecuado mantenimiento, teniendo muy en cuenta que la operación diaria influirá de la misma manera.

**7.3.1** *Manual de operación.* El sistema de cloración consta de las siguientes partes:

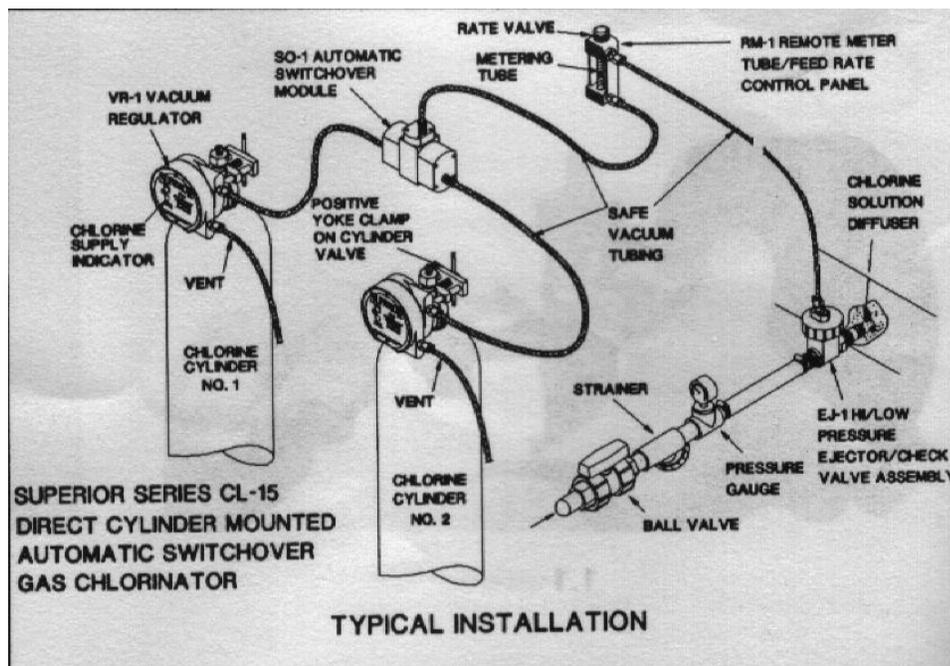
1. Dos cilindros de cloro gaseoso de 68kg
2. Dos clorinadores (regulador de vacío) que se monta en las válvulas de los cilindros de cloro.
3. Accesorios:
  - a. Llave del cilindro y del yugo.
  - b. Tubo flexible de 3/8" de polietileno apropiado para línea de vacío.
  - c. Empaques de plomo para sello de la válvula del cilindro.
  - d. Una malla de plástico para impedir que entren insectos a la línea de venteo
4. El conmutador automático CL-15 que se conecta directamente a los clorinadores mediante tubo flexible.
5. Dos rotámetros remotos, o válvulas dosificadoras, el rotámetro remoto R1 que se instaló de manera independiente, y el rotámetro remoto R2 que se encuentra en conjunto con la válvula automática. Estos dos elementos se enlazan en serie.
6. Válvula automática serie 2000, conjuntamente con el controlador y un display.
7. El eyector, con boquilla y difusor, que se monta directamente a la línea de solución clorante.
8. Analizador de calidad de agua, el cual mide el cloro residual, ph y temperatura de la muestra del agua del tanque de distribución.
9. Una bomba sumergible que envía el agua para el funcionamiento del analizador, la presión de esta bomba deberá concordar con la presión necesaria del analizador.
10. Componentes adicionales:
  - a. Manómetro para leer la presión del agua al eyector

- b. Colador tipo Y para la línea de conducción, y para la línea de agua para el agua de análisis.
- c. Reductor de presión para la entrada de agua hacia el analizador.

**No se recomienda el uso de cabezales de cloro gas.** Los cabezales contienen cloro gas a presión aumentando el riesgo de fugas de cloro. Los reguladores de vacío o clorinadores se diseñan para montarse directamente en las válvulas de los cilindros de cloro y de bióxido de azufre. **El montaje directo en cilindro** es la forma de instalación más fácil y segura de operar y mantener los reguladores de vacío. En esta forma, el cloro gas fluye bajo vacío en todo su trayecto después del único punto con presión que es en la válvula del cilindro.

El siguiente esquema muestra el sistema de instalación, donde la inyección de cloro se lo hace hacia una tubería. La presión de agua al eyector debe ser aproximadamente el doble de la presión en la tubería del agua a clorarse, para que el eyector pueda crear suficiente vacío. Esto solo si es que la mezcla se la inyectara a otra tubería, en nuestro caso la mezcla es conducida directamente al tanque de distribución.

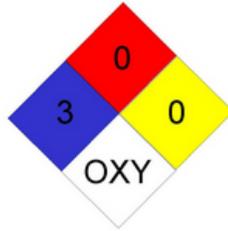
Figura 62. Esquema de inyección de cloro con conmutador automático [18]



### 7.3.1.1 Información de seguridad en la utilización de cloro (cilindros de 68 kg)

*Tenga mucho cuidado con el cloro*

Figura 63. Símbolo del cloro según la NFPA [19]



El símbolo para el Cloro establecido por la Asociación Nacional para la Protección contra el Fuego (NFPA) es éste:

- El 3 en el diamante azul a mano izquierda, indica peligro. Significa que el material es corrosivo o tóxico, y que se debe evitar el contacto con la piel y la inhalación.
- El 0 en el diamante amarillo a mano derecha indica que normalmente, el Cloro no produce compuestos que arden. El Cloro puede producir algunos ácidos muy fuertes, pero éstos no son inflamables.
- El 0 en el diamante rojo en la parte superior, indica que normalmente, el Cloro no es inflamable.
- Las letras OXY en el diamante blanco indican que el Cloro es un agente oxidante muy potente. Los fuegos alimentados por el Cloro pueden ser tan violentos que los equipos y métodos ordinarios para combatir el fuego no son efectivos.

La exposición a cantidades concentradas del gas de cloro puede ser tóxica y puede causar irritación a la piel, los ojos, la nariz, y las membranas mucosas. El gas de cloro no tiene que ser peligro serio si es que las personas que trabajan con él están adecuadamente capacitadas en su manejo. Los siguientes son algunos consejos para asegurar el manejo seguro del cloro:

1. Proporcione instrucciones y supervisión apropiada a los trabajadores encargados con la responsabilidad del equipo.

2. Nunca almacene materiales inflamables o combustibles cerca de contenedores de cloro.
3. Si hay una fuga, las reparaciones deben hacerse por dos personas por lo menos.
4. Nunca rocíe agua en los contenedores con fugas; esto puede empeorar la fuga.
5. Mantenga siempre los cilindros en posición vertical, con el capuchón de su válvula puesto y apretado antes de mover los cilindros, llenos o vacíos. Los cilindros deben moverse con mucho cuidado.
6. Una cadena de seguridad debe colocarse alrededor del cilindro, sujeta a la pared. Los cilindros llenos adicionales deben también asegurarse adecuadamente.
7. Para la mejor y más segura operación, el clorinador y el cilindro deben estar protegidos de los elementos y de la intemperie, incluyendo los rayos directos del sol.
8. Nunca exponga directamente los cilindros a calentadores o lámparas de calor.
9. El amoníaco gaseoso no debe almacenarse o dosificarse en el mismo lugar con el cloro. La mezcla de ambos gases puede resultar explosiva.
10. Al manejar el gas cloro, la ropa protectora debe incluir:
  - a. Careta de cara completa o en el caso de lugares bien ventilados se recomienda la utilización de mascarillas como medida mínima de seguridad.
  - b. Guantes de hule resistentes a químicos.
  - c. Delantal o chaqueta con mangas largas y pantalones.
  - d. Deben ser prohibidos los zapatos abiertos y los tenis al manejar el gas cloro.

#### *Efectos a la salud*

**Concentraciones bajas:** sensación de ardor en los ojos, la nariz, y la garganta, rojez en la cara, estornudos y tos.

**Concentraciones altas:** tensión en la garganta y pecho – edema pulmonar. Mil partes por millón (PPM) provoca rápidamente la muerte.

### *Primeros auxilios*

- **INHALACIÓN**

1. Saque a la víctima del área contaminada.
2. Mantenga caliente a la víctima y en una posición inclinada con la cabeza y los hombros elevados.
3. Administre respiración artificial, si es necesaria.
4. Administre oxígeno en cuanto sea posible.
5. Llame al personal de emergencias o a un médico inmediatamente.

- **CONTACTO CON LA PIEL**

1. Ponga a la víctima en una ducha, quitando toda la ropa contaminada.
2. Lave el área afectada con jabón y agua.

- **CONTACTO CON LOS OJOS**

1. Lave los ojos con agua durante 15 minutos, manteniendo los párpados bien abiertos.
2. Llame al personal de emergencias o a un médico de inmediato.
3. Lave los ojos por un segundo periodo de 15 minutos si el personal de emergencia o el médico no está disponible inmediatamente.

#### **7.3.1.2** *Procedimiento para cambio de cilindro de cloro y reinstalación del clorinador.*

1. Girar la manija de la válvula en el sentido de las agujas del reloj para cerrar la válvula del cilindro. El cierre o apertura de esta se lo hace solo manualmente, con un golpe seco. No utilizar martillo o palancas para abrirla.
2. Observar que el balín del Rotámetro 1 caiga hasta el fondo y verifique que el indicador del clorinador esté en rojo. No cierre el este rotámetro remoto mientras cambia el cilindro de gas.
3. Espere aproximadamente un minuto, el balín debe permanecer en cero. Si el balín tiene movimiento o no cae hasta cero, es posible que la válvula no esté bien cerrada. Asegúrese de que la válvula esté cerrada antes de continuar.

Figura 64. Instalación del clorinador



4. No es necesario apagar la bomba de apoyo para que el eyector deje de funcionar, es decir no se necesita que el eyector sea deshabilitado; debido a la presencia del conmutador automático, este bloquea el paso de gas por la línea que ha identificado que se encuentra sin flujo y trabaja normalmente por la línea donde encuentra circulación de gas. Esto siempre y cuando el cilindro paralelo se encuentre conteniendo gas. Caso contrario si los dos cilindros no contienen gas es necesario que la bomba de apoyo se apague en este punto para que el eyector deje de funcionar.
5. Afloje el opresor del yugo del clorinador de gas y quite el clorinador de la válvula.
6. Quite la vieja junta de plomo. Inspeccione y limpie las superficies del alimentador de gas y de la válvula. Instale la nueva arandela de plomo. Nunca reutilice una arandela de plomo ni tampoco utilice un material diferente para este sellado.
7. Reemplace el cilindro de gas. Cuando retire el capuchón de este cilindro asegúrese de alejar su rostro.
8. Inspeccione el clorinador de gas en el nuevo cilindro de gas y apriete el opresor del yugo. No lo apriete demasiado.
9. Abra la válvula del cilindro de gas 1/4 y vuélvala a cerrar rápidamente. Inspeccione para saber fugas si hay fugas, y encienda la bomba para que funcione el eyector en el caso de que se haya apagado la misma. Si existen fugas repita los pasos 2, 3 y 4. El elemento que se utiliza para verificar fugas es una botella de

plástico aplastable 1/3 llena de solución amoniaca casera o industrial. El vapor de este al combinarse con el cloro produce un humo blanco intenso. Las zonas para inspeccionar las fugas todas las conexiones que conduzcan cloro, especialmente en la junta que contiene el empaque de plomo, la salida del clorinador, el conmutador y el rotámetro remoto.

10. Si se ha comprobado que no hay fugas, abra la válvula del cilindro de gas aproximadamente 1/4, máximo 1/2 de vuelta y deje la llave del cilindro en la válvula.
11. El rotámetro remoto no es para cerrar la circulación de cloro, es solo para controlarlo. Para detener la circulación de cloro es necesario cerrar la válvula del cilindro.

### 7.3.1.3 Especificaciones de pares de torsión para equipos cloradores

Tabla 41. Pares de torsión para los equipos cloradores

<b>ELEMENTO</b>	<b>Min. [lb.plg]</b>	<b>Max. [lb.plg]</b>
Tornillos del yugo	20	25
Tornillos del rotámetro remoto	20	25
Conexiones de vacío	15	20
Válvula del cilindro	20	25
Opresor de yugo	20	25

Fuente: Pares de torsión para los equipos cloradores [9]

**7.3.1.4 Operación del analizador de cloro libre.** El analizador de cloro libre WG-602, cuenta con más parámetros de lectura aparte del cloro libre, tales como temperatura y pH, además de la posibilidad para instalar un electrodo que sense la turbiedad del agua.

Este analizador contiene calibraciones de fábrica para los tres parámetros que se mencionan inicialmente. Es necesaria la verificación de estos parámetros de calibración una vez instalado el sistema y en funcionamiento. Luego del período de evaluación, comparando las lecturas del analizador con un espectrofotómetro digital correspondiente a un monitoreo se

llegó a determinarlos valor de calibración para el cloro libre que es el parámetro que primordialmente se desea controlar; proporcionando un trabajo efectivo y veraz de este elemento.

Figura 65. Analizador de cloro libre



*Panel de control.* El panel de control del analizador de cloro libre es bastante simple, trabaja con una interface intuitiva y contiene los siguientes parámetros:

Tabla 42. Componentes del panel de control

<b>Display LCD</b>	En la parte central del aparato se ubica el display, constante mente muestra las variables medidas y en el caso de ser configurada, muestra también las alarmas.
<b>Botón de Menú</b>	Ingreso y desplazamiento a través de los menús.
<b>Esc</b>	Mueve un nivel atrás dentro del menú sin realizar cambios
<b>OK</b>	Ingreso al modo de cambio de ajustes y acepta estos cambios.
<b>Flecha Arriba/abajo</b>	Cambia los valores hacia arriba o hacia abajo

Fuente: Manual de operación y mantenimiento del analizador de cloro libre [10]

*Menús.* El analizador contiene dos niveles, el operacional y el técnico. El operacional contiene los ajustes que pueden ser controlados en el sitio de funcionamiento por el operador del sistema mientras que el menú técnico contiene los ajustes de calibración y debe ser manipulado por personal capacitado. Cada menú posee un password por separado.

*Configuración de Ajustes en el Menú operacional.* Cada uno de los parámetros de este menú es configurado de la misma manera, los siguientes pasos describen como realizar este proceso:

- Presione Menú hasta que el parámetro deseado aparezca en el display
- Presiones Ok e ingrese el password que por defecto es 123
- Presiones las flechas arriba/abajo hasta que el password sea el correcto
- Presione Ok enter para aceptar el password y el nombre del parámetro y sus ajustes aparecen en el display
- Presione enter e ingrese el nuevo parámetro

Se recomienda que el analizador de cloro libre no se manipule u opere por personal no capacitado. El mismo es de gran confiabilidad y no requiere atenciones permanentes.

La calibración del analizador no se la debe realizar de manera rutinaria, dicho de otra manera la calibración no se requiere en periodos menores a 6 meses. Este elemento trabajará sin ningún problema en cuanto a desempeño electrónico.

Se recomienda que el analizador de cloro libre no se manipule u opere por personal no capacitado. El mismo es de gran confiabilidad y no requiere atenciones permanentes.

**7.3.1.5** *Operación de la válvula automática.* La válvula automática contiene dos parámetros de control, uno por lectura de cloro libre y otro por cantidad de flujo. Es posible además enlazar estos dos datos para controlar un sistema.

En el caso de nuestras instalaciones la válvula automática obedece a un controlador que compara las lecturas de cloro libre, es decir que la apertura de la válvula está determinada

por el valor de cloro libre, si existe un déficit la válvula se abrirá y el caso de existir un exceso será lo contrario.

La calibración de la válvula se la ha realizado, de acuerdo al monitoreo, para un rango de 1.2 a 0.8 mg/l de cloro libre necesario. Es decir que dentro de estos parámetros la válvula se la comanda como un exceso si el valor del cloro libre sobre pasa el 1.2 o un déficit si el valor es más bajo que 0.8.

Existen dos puntos importantes en cuanto a esta válvula, pues posee un funcionamiento manual y otro automático.

Figura 66. Válvula automática y analizador de cloro libre



*Funcionamiento manual.* Para activar el funcionamiento manual se realiza los siguientes pasos:

1. Ir a la pantalla principal (pulsando el botón de STOP o F4 si es que está en funcionamiento automático) y posteriormente pulsamos la opción MNL o F3.
2. En esta opción se comanda manualmente la apertura de la válvula, si se requiere que se abra se pulsa el botón correspondiente a la flecha que indica hacia arriba y

en el caso de que se necesite cerrar se pulsara el botón que corresponda a la flecha hacia abajo.

3. En este funcionamiento es donde se establece o setea el punto más alto de dosificación de cloro, de la siguiente manera:
  - a. En el estado manual se ubica la válvula abierta al 100%.
  - b. En el rotámetro R2, se manipula la cantidad de cloro que se requiera que exista de acuerdo a las escalas que indican, en nuestro caso el valor mínimo que se debe ubicar es de 2 lb/día como se lo indicó anteriormente. Un valor por debajo de este, provocará un déficit de cloro en la red de distribución, a pesar de que la válvula permanezca al 100% debido a que la demanda de cloro es más alta, sea que el sistema trabaje automática o manualmente. Se recomienda operar el sistema con un valor de entre 3 a 5 lb/día. Esto no provocara un exceso de cloro en la línea, siempre y cuando se opere en el modo automático.
  - c. Una vez establecido el valor que se desea inyectar de cloro se espera unos segundos hasta que el balín se estabilice y comprobemos que perdura en la posición que lo hemos dejado.
  - d. En el caso de que se desee operar manualmente el sistema, no exceder del valor de apertura del rotámetro remoto respecto al valor de la demanda diaria sugerida para la comunidad.

*Funcionamiento automático.* Para activar el funcionamiento manual se realiza los siguientes pasos:

1. Una vez establecido el valor máximo de dosificación, en el modo automático como se indicó anteriormente, se pulsa el botón de SET o F4 y entrar a la pantalla principal.
2. Pulsar el botón que pertenezca a RUN o F4 y una vez más pulsar ese mismo botón, en este caso se verá en la pantalla la lectura de cloro libre que es la misma que tiene el display del analizador, un valor de apertura de la válvula y un comando de STOP. Asegúrese de ver estos parámetros, ya que es el indicativo de que se está trabajando en manual.

3. Se identifica que la válvula comienza a abrirse o cerrarse dependiendo de la lectura de cloro.

Existe una operación importante cuando el sistema está trabajando en automático y el tanque de distribución, que es el lugar donde se toma la muestra par el analizador, se ha quedado sin agua. En este caso el analizador detectará una lectura de cero e inmediatamente enviará una señal al controlador de la válvula automática para que esta se cierre completamente. Cuando el agua vuelva a estar presente en el tanque y al ser un agua fresca el analizador tendrá una lectura de cero y la válvula automáticamente no se abrirá. En este caso se debe operar la válvula en el modo manual, como se indicó anteriormente, para forzar el ingreso de cloro al tanque de distribución hasta que el analizador tenga un valor de cloro libre aunque sea pequeño. Una vez que se verifique que el analizador cuenta con un dato de lectura de al menos 0.02, en este momento se puede arrancar con la operación automática.

Lo mismo ocurre en el caso de que no exista energía eléctrica en el sector por un período prolongado y la lectura del cloro libre este en cero, para ello repetir el procedimiento del párrafo anterior.

Si el período de tiempo no es largo los equipos funcionaran correctamente incluso por la carga de energía que les proveen los UPS.

#### **7.3.1.6** *Operación de los rotámetros remotos*

Figura 67. Rotámetro remoto



Los rotámetros remotos son válvulas de regulación que indican la cantidad de flujo gaseoso que está circulando, estos elementos no se utilizan para cerrar o cortar el paso del flujo gaseoso sino solamente para regularlo.

La apertura máxima de estos se recomienda que no se exceda de 6 vueltas en su perilla, por encima de este valor o después de 7 vueltas de la perilla, la dosificación del cloro se reduce en aproximado del 20% por la entrada de aire en un orificio que queda expuesto en el bonete de monel de la válvula. Si se dan más vueltas, se sale totalmente el vástago de la válvula de su bonete arriba del rotámetro, lo que hará que se pierda la dosificación del cloro.

El empaque arosello “O” de la válvula de control de dosificación está aprisionado en su lugar debajo del bonete de la misma, y no sale cuando se le saca su vástago.

*NOTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO:* Las válvulas que no se operan con frecuencia pueden acumular un polvo blanco que viene con el cloro. Para evitar se acumulación, que puede ocasionar el atascamiento de la válvula. La válvula debe ser operada periódicamente.

### *7.3.1.7 Operación de la bomba de apoyo*

Figura 68. Bomba de apoyo



1. No debe mermarse nunca la succión de la bomba para disminuir el gasto o caudal.
2. La bomba no debe trabajar en seco.

3. No debe trabajarse una bomba con caudales excesivamente pequeños.
4. Efectuar observaciones frecuentes.
5. No debe pretenderse impedir totalmente el goteo de las cajas de empaque.
6. No debe utilizarse demasiado lubricante en los rodamientos.
7. Inspeccionar el sistema (según su uso).

#### **7.4 Prueba del vacío del sistema clorador**

##### **1. No Abrir la válvula del cilindro antes de completar satisfactoriamente la prueba del vacío.**

###### a. Prueba del Vacío

Con la válvula del cilindro aun cerrada, arrancar la bomba de ayuda del eyector, y observar que el balón o pequeña esfera del rotámetro caiga al fondo del mismo dentro de los primeros 10 segundos. Si el balón brinca y rebota indica que hay alguna fuga en el empaque de plomo o en alguna conexión floja de la tubería flexible. (Estas conexiones deben apretarse solamente con la mano. No debe usarse pinzas o en estas conexiones). Si las conexiones del rotámetro están flojas, use una moneda para apretar el tapón inferior con solo la fuerza de los dedos. En este momento, la válvula dosificadora en la salida del rotámetro debe estar abierta de dos a tres vueltas.

b. Si el eyector está operando correctamente, es decir, haciendo suficiente vacío, la ventana del indicador del regulador de vacío debe estar en rojo.

c. Cerrar la alimentación del agua al eyector.

d. Espere de 5 a 10 minutos sin alimentar agua al eyector. La perilla de ajuste del indicador de vacío debe girar libremente, pero debe el indicador continuar en rojo. (Esto indica que el sistema de vacío no tiene fugas)

e. Si comprueba que no hay fugas en el vacío, proceder con el siguiente paso.

- f. Desconectar el tubo flexible del vacío en la parte superior del regulador de vacío y dejar que entre aire al sistema. Reconectarlo. (1) Girar la perilla de ajuste del indicador de vacío, y observar que NO debe estar en rojo.

## **7.5 Empezar la cloración**

Material necesario: una pequeña botella de plástico aplastable, 1/3 llena de solución amoniacal de uso casero, (o industrial), para detectar fugas de cloro, que producen humo denso y blanco cuando se pone en contacto con los vapores del amoniaco.

1. Abrir la válvula del cilindro de cloro 1/4 de vuelta y cerrar inmediatamente.
2. Aplastar la botella del amoniaco para expeler sus gases (no el líquido), junto al empaque de plomo del yugo y alrededor de la válvula de dosificación del rotámetro. Si no se detecta humos blancos es que no hay fugas de cloro, y puede proceder con el siguiente paso.
3. Abrir la válvula del cilindro 1/4 de vuelta y vuelva a verificar fugas de cloro con el amoniaco. (Las válvulas de los cilindros de cloro se abren con solo 1/4 de vuelta, y así se deben cerrar, fácil y rápidamente. La llave para abrirlas y cerrarlas se debe dejar siempre puesta en la válvula mientras esté abierta y el cilindro esté en uso.)
4. Abrir la alimentación de agua al eyector es decir arrancar la bomba de ayuda al mismo, y ajustar la dosificación del cloro leyendo la escala del rotámetro en el centro del balín del mismo.
5. La válvula de dosificación NO ES para cerrarla: es solo para controlarla. Para cerrar la dosificación se necesita cerrar la válvula del cilindro de cloro.

**7.5.1** *Manual de mantenimiento.* Los sistemas de dosificación de cloro requieren de muy poco mantenimiento cuando se operan de acuerdo a las instrucciones de este Manual. Los lineamientos para un Mantenimiento Preventivos se detallan a continuación:

1. Dar mantenimiento a los rotámetros remotos cada 4 meses. En cuanto se refiere a su limpieza y manipulación para evitar el atascamiento.

2. Reemplace el arosello “O” de estas válvulas cada 12 meses. Véase el manual del propietario para determinar las partes a cambiarse.
3. Dar mantenimiento al eyector cada 12 meses. Para su desinstalación se deberá parar la bomba y el sistema en general, el mantenimiento representa una limpieza y una verificación de la succión solamente con el tacto en el orificio de succión una vez instalado. Nunca trate de retaladrar el orificio de succión, si existe alguna incrustación sumérjalo en un baño de ácido muriático durante 5 o 10 minutos
4. Reemplace la tubería flexible de vacío y sus conectores cada de 18 a 20 meses.
5. No retire las mallas anti insectos que se ubican en las mangueras de aireación.
6. Reemplace el filtro de la entrada del cloro cada 12 meses.
7. Reemplace la arandela de plomo cada vez que se cambien el cilindro de cloro.
8. Realice una limpieza del colador tipo Y de la entrada del eyector cada mes, y de los coladores de la línea de agua para el analizador cada dos meses.
9. Realice una inspección visual y compruebe el estado de las roscas de los clorinadores cada vez que se cambie un cilindro de cloro. Tenga cuidado en no apretarlos demasiado.
10. Inspeccione que el manómetro de entrada al eyector permanezca con su aceite respectivo en el interior.
11. El controlador y la válvula automática requieren de una limpieza superficial para evitar la acumulación de polvo especialmente en la parte de su display y del vástago que posee movimiento.
12. El analizador posee el electrodo que mide el cloro residual, el filtro de entrada a este analizador debe ser cambiado cada 6 meses y antes de la instalación de la parte nueva lubricarlo con el líquido que llevo adjunto al equipo.
13. Realizar una limpieza periódica también al analizador para evitar la acumulación de polvo.
14. La bomba de apoyo es de gran eficiencia y debido a que el líquido que bombea es de poca corrosividad requiere de menor mantenimiento, este se lo puede realizar cada 6 a 12 meses, verificando las condiciones de su rotor y las sedimentaciones que pueden producirse debido a la dureza del agua. Si existen sumergir de 5 a 10 minutos las partes afectadas en ácido muriático.

Después de un mantenimiento general del sistema, el procedimiento consecuente se refiere a “*iniciar la cloración o arranque del sistema*”, tener en cuenta la dosificación de cloro desde los cilindros y el funcionamiento de los aparatos electrónicos.

### *7.5.2 Problemas y soluciones*

#### *7.5.2.1 Fugas de cloro a presión*

1. Las fugas de cloro presurizado son de peligro a vidas y equipos y deben corregirse de inmediato. Para atenderlas se debe seguir reglas básicas de seguridad.
  - a. Equipo de protección personal que se detalla en la ropa que debe usar la persona que opera.
  - b. Una correcta ventilación del cuarto donde existe las instalaciones.
  - c. La llave de abrir y cerrar la válvula del cilindro en uso debe estar colocada en ella.
  - d. El botellín de plástico con solución de amoníaco debe tenerse al menos 1/3 lleno.
  - e. Deben trabajar en la localización de la fuga dos personas, nunca uno solo, por seguridad para ambos. (Pareja en Mancuerna)
  
2. Si se detecta una fuga se debe hacer revisar primero lo siguiente:
  - a. El empaque de plomo entre la válvula del cilindro y el regulador de vacío.
    - i. Apriete el tornillo del yugo que apoya la entrada del regulador a la válvula. (No use fuerza excesiva)
    - ii. Use siempre un empaque de plomo nuevo. Recomendamos usar los de tamaño y calidad adecuados, nunca de otro material.
  - b. Empaques de la válvula del cilindro de cloro.
    - i. Apriete moderadamente la tuerca opresora del empaque de la válvula. Si la fuga persiste, cierre la válvula y notifique al proveedor del cilindro de cloro, inmediatamente.
    - ii. Reponga el capuchón protector de la válvula y con mucho cuidado saque el cilindro al exterior. (**Nunca** lo moje ni lo sumerja porque eso aumentaría la.)

- c. Cloro fugando por el venteo, por fuga en la válvula de cierre de seguridad.
  - i. Cierre la válvula de cloro.
  - ii. Espere a que el balín del rotámetro caiga hasta el cero.
  - iii. Cierre la alimentación de agua al eyector.
  - iv. Quite al clorador de la válvula del cilindro después de asegurarse de que el indicador esté en rojo, indicando no-presión.
  - v. Inspeccionar visualmente las roscas o posibles fallas.
  - vi. Después de darle mantenimiento y reinstalar el regulador con un empaque de plomo nuevo, repita la prueba de vacío antes de volver a abrir la válvula del cloro, es decir verifique si no hay fugas como cuando reemplaza un cilindro de cloro nuevo.

**7.5.2.2** *No hay alimentación de cloro. Causas posibles:*

- 1. El eyector no produce vacío.
  - a. Pruebe con su dedo, quitando la conexión del tubo flexible, si se tiene vacío.
  - b. Si no se siente la succión del vacío, verifique en el siguiente orden:
    - i. Boquilla: Cierre la alimentación del agua y quite la boquilla. Puede estar obstruida con piedras u otros materiales. Límpiela y lávela. Si está incrustada, suméjla en ácido muriático por 5 minutos y enjuáguela. Si tiene materia orgánica negra viscosa, límpiela. Esta causa puede requerir limpieza periódica programada.
    - ii. Suministro del agua de alimentación.
    - iii. Presión del agua de la ciudad insuficiente.
    - iv. Malla del colador obstruida.
    - v. Cavitación de la bomba de ayuda (pérdida de su cebado)
    - vi. Insuficiente presión de la bomba de ayuda debida a desgaste o a que la corriente eléctrica de su motor está en una sola fase.
- 2. Flujo de cloro obstruido en la entrada del regulador de vacío: El filtro puede estar tapado. Debe remplazarse por uno nuevo, y preventivamente al menos una vez cada año.

3. No hay más cloro en el cilindro: El balín del rotámetro debe marcar CERO y el indicador debe estar en rojo.

#### *7.5.2.3 Falla de la válvula check (agua en el rotámetro y tuberías de vacío)*

1. Causa – falla de la válvula check del Eyector.
  - a. Posibles causas de esta falla.
    - i. Objeto o partículas impidiendo el cierre de la válvula check del Eyector.
    - ii. Falla del areosello “O”.
    - iii. Falla del diafragma.
  2. Acción correctiva.
    - a. Desensamble y seque el(los) regulador(es) de vacío, rotámetro(s), y cambiador(es) automático(s). Reensámblelos y reinstálelos.
    - b. Siga los procedimientos de Prueba de Vacío, cuidadosamente, antes de seguir los procedimientos de re-iniciar la cloración.

## CAPÍTULO VIII

### 8. ANÁLISIS FINANCIERO

#### 8.1 Generalidades

Los costos que representan la automatización de un sistema de cloración en el tratamiento de agua potable son considerados altos en su inversión inicial. Luego de haber efectuado la proyección, selección e implementación del sistema automatizado de cloración, en el siguiente numeral se presenta el análisis de costos del proyecto.

#### 8.2 Costos directos

Los costos directos son gastos generales fijos, que se presentan a un inicio de la inversión y son de valor constante [20] y que dentro de la inversión de adquisición e implementación del sistema, se tiene valores detallados a continuación:

**8.2.1** *Costos de materiales y equipos adquiridos.* Se considera los rubros de cada uno de los componentes del sistema. Refiérase a la Tabla 44.

**8.2.2** *Costos de mano de obra*

Tabla 43. Costos de mano de obra

<b>Insumo</b>	<b>No. Ins.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>V. Unit\$</b>	<b>V. Total \$</b>
Plomero	1	hora	16	2,47	39,52
Ayudante de plomero	2	hora	16	2,44	39,04
Electricista	3	hora	16	2,47	39,52
Personal de monitoreo de cloro	4	hora	105	5,16	541,92
				<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>660</b>

Tabla 44. Costos de materiales y equipos adquiridos

Denominación	Unidad	Cantidad	Precio U. (\$)	Precio T.(\$)
Clorinador operado por vacío	U	2	1698,55	3397,1
Analizador de cloro residual libre	U	1	3677,7	3677,7
Bomba de refuerzo	U	1	298	298
Bomba sumergible para muestreo	U	1	250	250
Válvula automática y controlador de cloro gas	U	1	3049,8	3049,8
Cilindro de cloro gas	U	2	850	1700
UPS de 1000 Va	U	2	700	1400
Manguera 3/8" para conducción de cloro gas	m	17	1,23	20,91
Tubo PVC25mm X 6m 1,25MPa(181psi)	U	10	3,89	39,8
Codo PVC 25mm X 90°	U	18	0,19	3,42
Unión CC EC 25mm	U	10	0,38	3,8
Unión universal roscable 1"	U	7	1,84	12,88
Unión roscable 1"	U	10	0,74	7,4
Reductor 1 Flex 2" A 1"	U	1	3,79	3,79
Filtro Tipo Y de Bronce 1"	U	2	3,86	7,72
Válvula check 1"	U	1	16	16
Válvula reguladora de presión 1", máx. 30 psi	U	1	27,85	27,85
Válvula de pie de 1"	U	1	8	8
Pegamento para PVC	U	2	2,55	5,1
Teflón de 20 mm	U	3	0,65	1,95
Cable eléctrico concéntrico de tres hilos #16	m	5	1,38	6,9
Sensor de nivel tipo flotador	U	2	24,54	49,08
			<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>13987,2</b>

8.2.3 *Costos por herramientas.* En la instalación del sistema las herramientas utilizadas, son manuales y de orden menor, como son:

- Taladro de percusión 13mm 700W
- Broca para concreto de ½"
- Llave de fontanería de 12"
- Tenaza de extensión, destornilladores, martillo y arco de sierra.

Un cálculo de costos horarios de estas herramientas, conllevaría a estimar un número de horas efectivas por año de uso de la herramienta, su depreciación, y su mantenimiento en caso de existirlo.

Para evitar esta teoría detallista comúnmente los constructores proponen concentrar todos estos valores en un valor del 5% de la mano de obra.

Tabla 45. Costos horarios de herramientas

<b>Insumo</b>	<b>V. Unitario \$ 5% valor de mano de obra</b>	<b>V. Total \$</b>
Conjunto de herramientas menores	33	33
	<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>33</b>

**8.2.4 Costos de transporte.** Se consideran el valor de movilización de los equipos que son adquiridos en la ciudad de Cuenca. Los materiales fontanería se los encuentra fácilmente en nuestra localidad de Riobamba.

Tabla 46. Costos de transporte

<b>N°</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio U. (\$)</b>	<b>Subtotal (\$)</b>
1	Movilización Adquisición de equipos	1	72,28	72,28
		<b>SUBTOTAL 4</b>		<b>72,28</b>

El costo total directo para la implementación del sistema automatizado de cloración en el tratamiento de agua potable es el siguiente:

Tabla 47. Costos total directo

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>\$ 13987,2</b>
<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>\$ 660</b>
<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>\$ 33</b>
<b>SUBTOTAL 4</b>	<b>\$ 72,28</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 14752,48</b>
<b>IVA 12%</b>	<b>\$ 1770,29</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 16522,77</b>

### 8.3 Costos indirectos

Son todos los gastos variables que se tienen y se consideran los siguientes:

- Costo ingenieril
- Utilidad
- Imprevistos

**8.3.1 Costo ingenieril.** Se considera un 14% del total del costo directo, se tendrá entonces \$ 991,37

**8.3.2 Utilidad.** Se considera el 0% del total del costo directo, por fines de estudio realizados en el proyecto de tesis.

**8.3.3 Imprevistos.** Se considera el 0 % del costo directo total, por lo tanto \$ 0

El total del costo indirecto para la implementación del sistema es:

Tabla 48. Costos total indirecto

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
SUBTOTAL 1	991,37
SUBTOTAL 2	0
SUBTOTAL 3	0
<b>TOTAL</b>	<b>991,37</b>

### 8.4 Costos totales del sistema

El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos y los indirectos, por lo tanto:

Tabla 49. Costo total del sistema

<b>COSTO TOTAL</b>		
<b>Item</b>	<b>Denominación</b>	<b>Valor \$</b>
1	Costos Directos	16522,77
2	Costos Indirectos	991,37
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>17514,14</b>

Se tiene un costo total del proyecto de tesis de \$ **17514,14**; los cuales serán financiados en su totalidad por la JAAPA de la comunidad “San Vicente de Lacas”.

## 8.5 Estudio socio-económico y determinación del T.I.R

Dada la problemática, en tema de desinfección de agua potable totalmente garantizada, surgen varias alternativas de solución, de las cuales, como se indicó en el capítulo V el sistema automatizado de cloro gas es la mejor opción; en tal virtud la cuantía económica de la rentabilidad de esta elección permite visualizar si el proyecto es viable o no.

Para el desarrollo de este análisis es necesario conocer todos los factores que influyen directamente en esta valoración; a continuación se detallan los rubros.

El costo total del sistema es 17514,14 USD.

La cantidad de cloro que requiere la Comunidad y los costos del desinfectante. Se los determina tomando en consideración el consumo mensual de agua de todos los usuarios del sistema; así como también la demanda de cloro según las condiciones del sector.

Tabla 50. Cantidad de cloro requerida

<b>COLORO REQUERIDO</b>		
<b>Caudal Ingreso</b>	5	<b>l/s</b>
	432000	<b>l/día</b>
	432	<b>m<sup>3</sup>/día</b>
<b>Demanda</b>	1	<b>g/m<sup>3</sup></b>
<b>Concentración</b>	99	<b>%</b>
<b>Demanda Necesaria</b>	1,01	<b>g/m<sup>3</sup></b>
<b>Consumo diario</b>	436,36	<b>g/día</b>
	0,436	<b>kg/día</b>
	15,419	<b>onz</b>

Tabla 51. Costo del envase del cilindro de cloro gaseoso y hora hombre

<b>cloro/68 kg</b>	190,4	\$
<b>cloro/ kg</b>	2,8	\$
<b>H - Hombre</b>	3	\$

Tabla 52. Costo del consumo de cloro requerido

	<b>\$/día</b>	<b>\$/mes</b>	<b>\$/anual</b>
<b>COLORO GAS</b>	1,22	36,65	439,85
<b>H - Hombre</b>	1,2	36	432
<b>TOTALES</b>	<b>2,42</b>	<b>72,65</b>	<b>871,85</b>

Tabla 53. Ingreso mensual con diferentes tarifas

<b>RUBRO</b>	<b>0,1/m<sup>3</sup></b>	<b>0,15/m<sup>3</sup></b>	<b>0,2/m<sup>3</sup></b>
Consumo mensual	4681,22	4681,22	4681,22
Usuarios	266	266	266
Tarifa Básica	1	1,5	1,5
Ingreso de la T. Básico	266	399	399
Tarifa Volumétrica	0,1	0,15	0,2
<b>TOTAL INGRESOS (\$)</b>	<b>734,12</b>	<b>1101,18</b>	<b>1335,24</b>

El valor de salvamento se determina con la siguiente ecuación

$$V_{\text{salvamento}} = V_{\text{inicial}} - \frac{V_{\text{inicial}} * n}{N} \quad (62)$$

Dónde:

$V_{salvamento}$  = Valor de salvamento en \$

$V_{inicial}$  = Valor de costo inicial en \$

$n$  = Tiempo de vida útil 8 años

$N$  = Tiempo de depreciación en 10 años

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación (62) se tiene:

$$V_{salvamento} = 17514,14 - \frac{17574,14 * 8}{10}$$

$$V_{salvamento} = \$ 3502,83$$

La depreciación del equipo se determina por el método de la línea recta, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Depreciación Períodica = \frac{Costo\ total\ depreciable}{N^{\circ}\ de\ periodos\ de\ vida} \quad (63)$$

$$Costo\ Total\ depreciable = Costo - Salvamento \quad (64)$$

Tabla 54. Datos para la depreciación

Fecha inicial	01/12/2011
Costo	17514,14
Salvamento	3502,83
Vida útil	10

$$Depreciación\ Períodica = \frac{17574,14 - 3502,83}{10}$$

$$Depreciación\ Períodica = 1401,1$$

El valor de la depreciación periódica, representa una tasa de depreciación anual de:

$$tasa\ de\ depreciación = \frac{1401,1}{17514,14} \times 100\% = 8\%$$

Generalmente los proyectos consideran una tasa de depreciación del 10% correspondiente a maquinaria y mobiliario, cuando se desee evitar el cálculo de la depreciación periódica.

Tabla 55. Depreciación del sistema

<b>FECHA</b>	<b>DEPRECIACIÓN</b>	<b>ACUMULADA</b>
01/12/2011	1401,1	1401,1
01/12/2012	1401,1	2802,3
01/12/2013	1401,1	4203,4
02/12/2014	1401,1	5604,5
01/12/2015	1401,1	7005,7
01/12/2016	1401,1	8406,8
01/12/2017	1401,1	9807,9
01/12/2018	1401,1	11209,0
01/12/2019	1401,1	12610,2
01/12/2020	1401,1	14011,3
<b>TOTAL</b>	<b>14011,3</b>	

**8.5.1** *Flujo de caja cloro gas para una tarifa de 0,1 \$/m<sup>3</sup>, valor actual.* A continuación se detallan el movimiento económico de la JAAPA de San Vicente de Lacas considerando todos los rubros que se indican en las tablas anteriores y una tarifa básica de 1 USD con 0,10 USD por cada m<sup>3</sup> consumido.

Tabla 56. Flujo de caja de la JAAPA de San Vicente de Lacas con 0,10 \$/m<sup>3</sup>

<b>FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (CLORO GAS)</b>		
	<b>MENSUAL</b>	<b>ANUAL</b>
<b>INGRESOS</b>		
1. Consumo mensual	734,12	8809,44
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	<b>734,12</b>	<b>8809,44</b>
<b>EGRESOS</b>		
<b>1. Costos Fijos</b>		
1.1.Honorarios Fijos de Oficina	<b>320,00</b>	<b>3840,00</b>
1.1.1 Pago a operarios	320,00	3840,00
1.2 Gastos administrativos	<b>304,66</b>	<b>3655,92</b>
1.2.1. Reparación y mantenimiento	25,00	300,00
1.2.3. Electricidad	67,00	804,00
1.2.4. Alarma	0,00	0,00
1.2.5 Papelería	26,60	319,20
1.2.6 Recibos	24,00	288,00
1.2.7 Depreciación del sistema	116,76	1401,12
1.2.8 Otros	45,30	543,60
<b>2. Costos Variables</b>		
2.1. Materiales, insumos y suministros	<b>109,36</b>	<b>1312,27</b>
2.1.1. Materia prima cloro gas	72,65	871,80
2.1.2 Materiales y Accesorios	36,71	440,47
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>734,02</b>	<b>8808,19</b>
<b>INGRESOS - EGRESOS</b>	<b>0,10</b>	<b>1,25</b>

Una vez determinado el flujo de caja, se observa que los resultados obtenidos demuestran que de mantenerse la tarifa actual no se garantiza la recuperación de inversión es decir la rentabilidad del sistema será nula; por consiguiente se considera necesario un reajuste de la tarifa de cobro, para ello se sigue las recomendaciones enunciadas en la cartilla del MIDUVI por cuanto la Junta es regida por este Ministerio; en la que se indica que el costo

del metro cúbico de agua se establece conociendo el total de los egresos, número de usuarios y el promedio de consumo mensual de los mismos.

Se tiene los siguientes datos:

- Total de egresos = 757,16 USD
- Número de usuarios = 266
- Promedio consumo mensual = 17,61 m<sup>3</sup>

$$\frac{\$}{m^3} = \frac{\text{TotalEgresos}}{N^{\circ} \text{ usuarios} * \text{Promedio consumo mensual}} \quad (65)$$

$$\$/m^3 = \frac{757,16 \text{ USD}}{266 \times 17,61 \text{ m}^3}$$

$$\frac{\$}{m^3} = 0,1616 \text{ \$/m}^3$$

El costo del m<sup>3</sup> de agua es de 0,17 USD; pero como en la Comunidad esta tarifa es única y no existe tarifas diferenciadas, es decir no se considera si existe un exceso de consumo por parte del usuario, solo se cobra la tarifa básica y el consumo mensual; por esta razón se ha considerado los siguientes valores para el análisis.

- Básico: \$1,5
- Costo m<sup>3</sup> de agua: \$ 0,15

**8.5.2** *Flujo de caja para una tarifa de 0,15 \$/m<sup>3</sup> y 1,5 \$ el básico.* De la misma manera se consideran los rubros indicados en las tablas anteriores; el procedimiento a seguir es igual al utilizado con la tarifa de 0,10 USD.

La tabla 57 muestra el flujo de caja para la tarifa propuesta.

Tabla 57. Flujo de caja de la JAAPA de San Vicente de Lacas con 0,15 \$/m<sup>3</sup>

<b>FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (CLORO GAS)</b>		
	<b>MENSUAL</b>	<b>ANUAL</b>
<b>INGRESOS</b>		
1. Consumo mensual	1101,18	13214,16
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	<b>1101,18</b>	<b>13214,16</b>
<b>EGRESOS</b>		
<b>1. Costos Fijos</b>		
1.1.Honorarios Fijos de Oficina	<b>320,00</b>	<b>3840,00</b>
1.1.1 Pago a operarios	320,00	3840,00
1.2 Gastos administrativos	<b>304,66</b>	<b>3655,92</b>
1.2.1. Reparación y mantenimiento	25,00	300,00
1.2.3. Electricidad	67,00	804,00
1.2.4. Alarma	0,00	0,00
1.2.5 Papelería	26,60	319,20
1.2.6 Recibos	24,00	288,00
1.2.7 Depreciación del sistema	116,76	1401,12
1.2.8 Otros	45,30	543,60
<b>2. Costos Variables</b>		
2.1. Materiales, insumos y suministros	<b>127,71</b>	<b>1532,51</b>
2.1.1. Materia prima cloro gas	72,65	871,80
2.1.2 Materiales y Accesorios	55,06	660,71
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>752,37</b>	<b>9028,43</b>
<b>INGRESOS - EGRESOS</b>	<b>348,81</b>	<b>4185,73</b>

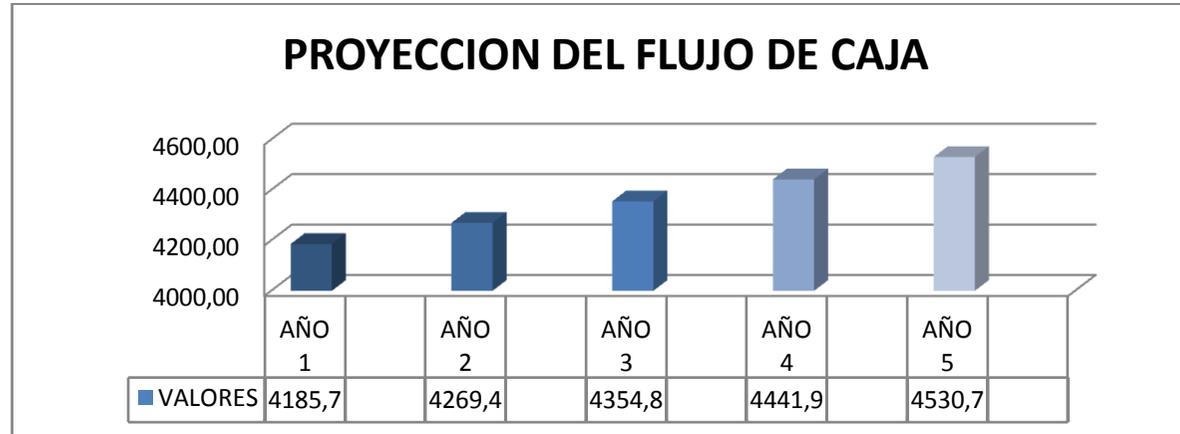
Obteniendo un valor satisfactorio, procedemos a analizar la rentabilidad de este proyecto y el tiempo de recuperación de la inversión.

**8.5.3** *Flujo de caja proyectado para 5 años.* Para la proyección del flujo de caja se consideró un crecimiento del 2% anual según nos indica la Norma de la Construcción ya que San Vicente de Lacas se considera como un sector urbano marginal.

Tabla 58. Proyección del flujo de caja

<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
4185,73	4269,45	4354,84	4441,93	4530,77

Figura 69. Proyección del flujo de caja



**8.5.4** *Determinación del Valor Actual Neto (V.A.N).* Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

La tasa de actualización porcentual en países desarrollados históricamente se la utilizado entre el 5 y 7 %. Pero en países en vías de desarrollo y dado que es un proyecto comunitario se utiliza el 12%

Para este proyecto se ha calculado el siguiente VAN:

Tabla 59. V.A.N. del proyecto

PERÍODO	FLUJOS DE EFECTIVO
0	-17514,14
1	4185,73
2	4269,45
3	4354,84
4	4441,93
5	4530,77
<b>V.A.N (\$ 7.594,00)</b>	

**8.5.5** *Tasa Interna de Retorno o Retorno de la inversión (T.I.R).* Este método considera que una inversión es aconsejable si la T.I.R. resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R. mayor.

La T.I.R. es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto, por lo cual cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos.

Luego del cálculo del TIR para esta materia prima se tiene una tasa de retorno del 8 % anual lo cual indica una considerable rentabilidad.

Tabla 60. T.I.R. del proyecto

<b>PERIODO</b>	<b>FLUJOS DE EFECTIVO</b>
0	-17514,14
1	4185,73
2	4269,45
3	4354,84
4	4441,93
5	4530,77
<b>T.I.R 8%</b>	

**8.5.6** *Período de recuperación de la inversión*

Tabla 61. Período de recuperación de la inversión

<b>TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN CLORO GAS.</b>		
<b>AÑO</b>	<b>VNA</b>	<b>FLUJO ACUMULADO</b>
0	-17514,14	-17514,14
1	4185,73	-13328,41
2	4269,45	-9058,96
3	4354,84	-4704,13
4	4441,93	-262,19
5	4530,77	4268,58

Para determinar el tiempo de recuperación se emplea la siguiente fórmula:

$$PRI = N - 1 + \left[ \frac{(FA) \cdot N - 1}{(F) \cdot N} \right] \quad (66)$$

Donde:

(FA)N-1 =Flujo de efectivo acumulado en el año previo a “N”

N =Año en el que el flujo acumulado cambia de signo

(F)N = Flujo Neto de efectivo en el año “N”

Entonces se obtiene:

$$PRI = N - 1 + \left[ \frac{(FA) * N - 1}{(F) * N} \right]$$

$$PRI = 5 - 1 + \left[ \frac{262.19}{4530,77} \right]$$

$$PRI = 4 + (0,057)$$

$$PRI = 4,057$$

El periodo de recuperación de la inversión para esta materia prima es de 4 años y 21 días.

## CAPÍTULO IX

### 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 Conclusiones

- La desinfección con cloro gaseoso es el método más adecuado en el tratamiento de agua por ser muy estable, tener una concentración del 99% y además permitir obtener un residual de cloro en la red de distribución; garantizando de esta manera la calidad del líquido vital y además mejorar las condiciones de vida de quienes la consuman.
- Los factores que determinan la selección y dimensionamiento de los equipos que conforman el sistema automatizado de cloración son el caudal de trabajo de la planta de tratamiento y la demanda de cloro que requiera el agua.
- Con la implementación del sistema automatizado de cloración se trabaja en salud preventiva por cuanto este proyecto garantiza tener una desinfección adecuada todo el tiempo, eliminando cualquiera agente patógeno causante de enfermedades y de este modo cumplir los estándares según la NORMA INEN 1108.
- La implementación del sistema automatizado en confrontación con el sistema manual anterior tiene un costo adicional de funcionamiento, que es el energético; y es de 67 dólares mensuales, esto implica una elevación mínima en el costo del m<sup>3</sup> de agua y equivale a 0.015 dólares.
- El "*Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias*" NORMA CO 10.7 – 602. Perteneciente al código ecuatoriano de la construcción, es el documento guía para el dimensionamiento de sistemas de agua potable y disposición de excretas. Poseedor de bases legales, se convierte en el marco en donde debe encajar toda obra de esta naturaleza dada su elevada importancia por la directa relación con la salud de la población.

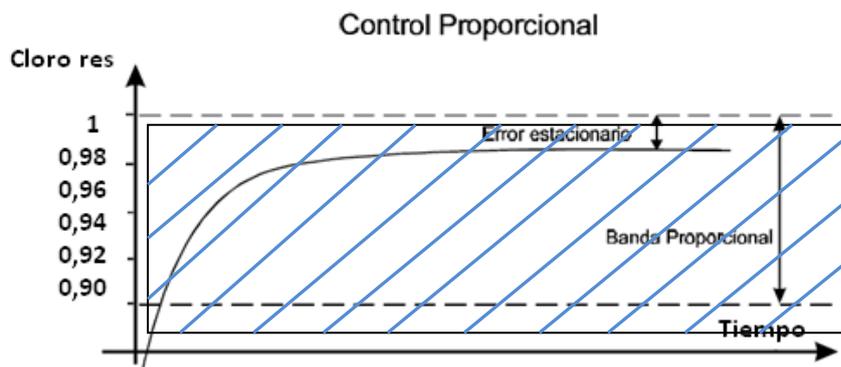
- En la determinación de la Dotación de consumo para la comunidad, fue necesario adaptar los parámetros de la norma a un dato estadístico que se poseía, dado que este último valor se lo obtiene de un consumo real de la población. También se hace necesario determinar el error que posee este valor debido a que se lo adquiere de un instrumento de medición.
- El caudal obtenido mediante el estudio regido a la NORMA CO 10.7 – 602 para el diseño de la conducción, es de 4,1 l/s; mientras que el dato con el cual fueron dimensionadas las tuberías de conducción es de 5,2 l/s. Es decir que las tuberías debieron haber sido diseñadas para un 21% menos del caudal original y, aparentemente tener un diámetro menor. A pesar de esta lógica sugestión, al momento de seleccionar los diámetros de la tubería comercialmente disponibles, tan solo el Tramo 2 es el que difiere de tamaño, teniendo actualmente un diámetro de 90 mm frente a un diámetro propuesto por la evaluación de 75 mm. Esto se debe a que en la selección de los diámetros comerciales es necesario adoptar un diámetro inmediato superior pues difícilmente encajará un valor obtenido por ecuaciones al valor que nos ofrece el fabricante.
- El Tramo 2 puede ser de un diámetro nominal de 75 mm, dada su longitud de 1671,92 m, el valor económico economizado sería significativo.
- Teniendo en cuenta que el parámetro de mayor interés en la evaluación hidráulica es el dimensionamiento de la conducción y, mediante una valoración estimada por la cantidad de datos congruentes entre los valores actuales de diseño y los que se obtiene mediante la Norma, se presume de un 80% de similitud.
- El conocimiento aproximado del tamaño de las redes alta, media y baja se vuelve imprescindible cuando se realice el monitoreo de cloro residual pues los valores de cloro residual que se obtengan de específicos sectores de estas redes, serán los que se comparen con los valores de cloro residual que dicte la norma.

La comparación se utiliza para evaluar el correcto funcionamiento del sistema y su calibración.

- El sistema de dosificación de cloro en la comunidad mediante la utilización de hipocloradores manuales, es decir manejando el hipoclorito de calcio como desinfectante, cuya dosis preparación y funcionamiento se responsabiliza a un operador, se destina a ser un sistema dependiente de dicha persona. Esto conlleva a una serie de mal funcionamientos cuando la negligencia humana se introduce en el trabajo del responsable del sistema. Situación que es muy frecuente en las JAAPA. Y aunque la labor que se realice, en torno a este tipo de tratamiento, sea relativamente óptima; los resultados seguirán teniendo falencias dado que es un sistema de bajo control operacional, generalista e inexacto que se lo ha tomado como una solución inmediata frente a problemas de potabilización de agua por parte del MIDUVI hacia las comunidades debido a condiciones económico sociales.
- La comunidad San Vicente de Lacas, posee un considerable crecimiento poblacional y sus características sociales y políticas la hacen identificarse como un modelo de administración, gestión y pro acción a favor de sus habitantes. Priorizando obras en beneficio de la salud y comprendiendo bien la importancia del tratamiento adecuado del agua, convirtiéndose así en la Comunidad pionera al adoptar un Sistema Automatizado de cloración.
- Para valorar la calidad del agua potable existen tres tipos de análisis, el examen físico químico, microbiológico y cloro residual. Antes de la implementación de un sistema de tratamiento de agua, es necesario recopilar datos de estos exámenes para determinar el requerimiento de dicho sistema, ya que puede ser necesario además de la desinfección un proceso de filtrado. Al realizar este estudio se concluye que el agua conducida hasta la comunidad San Vicente de Lacas requiere únicamente de una cloración adecuada a las características del agua, análisis que se detallan en el anexo 2.
- Según experiencias industriales, el sistema de control empleado para la cloración del agua que mejores resultados ha proveído es el de acción

proporcional, esto se debe a la velocidad de respuesta que tiene frente a las variaciones. Otro de los parámetros característico para el funcionamiento en particular de nuestro sistema, es un valor de  $P_b$  (Banda Proporcional) bastante pequeño, es decir un valor alto de  $K_p$  (Ganancia Proporcional) por ser inversamente proporcionales; que hace que el sistema se vuelva más sensible. Una banda proporcional pequeña para el control de dosificación de cloro se convierte en una óptima solución debido a que no se requiere una amplia zona de valores en donde fluctúe el error de la lectura de medición, más bien se necesita una zona de errores pequeña, capaz de que garantice que en el punto donde se está dosificando cloro (en nuestro caso el taque de distribución) el valor sea de 1 ppm y siempre lo más cercano a esto. Un  $P_b$  grande, por ejemplo del 50%, significaría que en todo momento se aceptarían valores entre 0,5 y 1ppm, es decir que en el instante que llegue a 0,5 ppm y el agua salga a la red de distribución en estas condiciones, a la Red baja seguramente existirá un cloro libre de 0 ppm. Además considerando el error estacionario el valor del cloro libre en el punto de inyección no llegará a 1ppm. Es por eso que se prefiere trabajar con valores de  $P_b$  bajos, con un funcionamiento cercano al ON-OFF, que ciertamente provoca picos por sobre 1ppm, que no perjudicarán el sistema, sino que será relativamente beneficioso.

Figura 70. Control proporcional [17]



- Un control proporcional derivativo se utiliza en sistemas donde se requiera mayor estabilidad, es decir un mejor control del ruido, debido a que toma en cuenta la velocidad con la que disminuye o aumenta el error, de esta manera brinda una respuesta más rápida o por así decirlo anticipada a los cambios del sistema dotando de una mayor estabilidad como se comentó antes.

- Pese a la alta calidad de los equipos, es necesaria una calibración del analizador de cloro libre, de modo que el desempeño del sistema sea completamente confiable. Se debe verificar que los valores que vienen establecidos por defecto, sean verídicos, especialmente en instrumentos de medición.
- La demanda teórica de cloro para la comunidad en base al caudal de consumo es de  $1 \frac{lb}{día}$ , mientras que experimentalmente la demanda de cloro es de al menos  $2 \frac{lb}{día}$ ; valor con el cual el cloro residual, en las diferentes redes, se encuentra dentro de niveles óptimos según la norma. La diferencia de valores determinados teórica y experimentalmente se debe a que el cloro se está consumiendo a lo largo de las redes, puesto que estas al haber permanecido un largo período conduciendo agua no purificada poseen un alto contenido de microorganismos en sus paredes lo cual consume el desinfectante.
- La cloración del agua por medio de un sistema automático de dosificación demuestra ser un método muy efectivo, resultando que en el período de evaluación del funcionamiento, el 96% de las muestras tomadas cumplen con los requerimientos según la Norma INEN 1108, en cuanto a cloro residual.
- La operación de los equipos de cloración es bastante sencilla, pero exige precaución debido a la toxicidad del gas que se está manipulando. Así mismo el mantenimiento no es demandante, en cuanto a los equipos electrónicos que principalmente requieren un ambiente limpio y una calibración recomendada cada 6 meses. Accesorios hidráulicos como los filtros y rotámetros remotos donde se realiza limpieza e inspecciones visuales; pero que en términos generales se podría decir que el sistema no necesita de un mantenimiento laborioso.
- El desarrollo de este proyecto permitió un trabajo multidisciplinario puesto que se contó con el apoyo de profesionales químicos; civiles y mecánicos para conseguir un óptimo desempeño del conjunto propuesto.

## 9.2 Recomendaciones

- El tamaño del Tanque de Reserva que propone los parámetros de la NORMA CO 10.7 – 602 es de 128,7 m<sup>3</sup>. El tamaño del tanque de reserva actual es de 100 m<sup>3</sup>. Se recomienda una ampliación en el volumen de reserva mediante la construcción de un tanque anexo al mismo nivel del tanque original, con un volumen no menor a 30 m<sup>3</sup>. Los tanques deberán estar conectados y el agua clorada deberá circular continuamente por los dos. Un uso periódico de uno de los tanques provocaría contaminación del agua sino existe una adecuada protección de impurezas al ingreso de estos.
- En la determinación de los puntos de cambio del material de la tubería del Tramo 5, la ubicación del punto P1 propuesto en comparación con el existente tiene una diferencia de apenas 2,25 m por lo que se da como aceptado. Mientras que la ubicación del punto P2 actual está excediendo el valor que se propone al utilizar la tubería de P.V.C. para presión que se ha seleccionado. Se propone en este caso, que el punto P2 se ubicara a 284,57 m aguas arriba, conforme a la pendiente topográfica del sector, asegurando que la diferencia de alturas es de 100 m como se sugiere en el punto P2m. Así la presión de trabajo de la tubería seleccionada poseería un margen de seguridad del 22% aproximadamente.
- Si en el funcionamiento del sistema automatizado de cloración se observa que la válvula está cerrándose y abriéndose constantemente, se recomienda disminuir el valor de la ganancia en una cantidad de 10 ó 15 %. El sistema en tal caso estará teniendo variaciones pequeñas. Al modificar el valor de la ganancia se conseguiría que la válvula permanezca en un porcentaje de apertura dado por intervalos de tiempo más grandes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamientos-de-agua-para-consumo-humano>
- [2] <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>
- [3] [http://www.agua.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=16365&Itemid=100150](http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=16365&Itemid=100150)
- [4] [http://www.miduvi.gov.ec/index.php?option=com\\_phocadownload&view=file&id=10562:10446-normas-de-diseno-de-sistemas-de-agua-potable-y-alcantarillado&Itemid=755](http://www.miduvi.gov.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=file&id=10562:10446-normas-de-diseno-de-sistemas-de-agua-potable-y-alcantarillado&Itemid=755)
- [5] [http://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Trans\\_hidr/Tema10.PDF](http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema10.PDF)
- [6] [http://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colmena\\_tubos\\_acero\\_gas\\_y\\_fluidos.pdf](http://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_tubos_acero_gas_y_fluidos.pdf)
- [7] SSA. Subsecretaria de Saneamiento Ambiental: Cartilla para operadores de sistemas de Agua potable rural. Ecuador: División de Promoción y Educación, 2010. Pág. 23-25.
- [8] <http://www.acuasolutions.com/cloradoresenpastilla.html>
- [9] [http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86935/pdf\\_1260.pdf?sequence=1](http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86935/pdf_1260.pdf?sequence=1)
- [10] [http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2\\_cap6.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2_cap6.pdf)
- [11] [http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/87050/universaSC1000\\_ES.pdf](http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/universaSC1000_ES.pdf)
- [12] <http://grupotecnoquim.com/ccpdf/serie%20200.pdf>
- [13] <http://www.mundoanuncio.ec/bomba-sumergible-3500-o-5500-litros-hora-multifuncion-iid-242356448>
- [14] [http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo\\_01/simbologia/simbologia.pdf](http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_01/simbologia/simbologia.pdf)
- [15] <http://www.tecnoficio.com/docs/doc47.php>
- [16] <http://www.deitec.cl/descargas/cursoPLC/nt-010.pdf>
- [17] ADMIN, S. & SPECKER, H. Water Quality Analyzer WG-602. 5ta Ed. Estados Unidos: WaterGuard, 2010. Pág. 23-27,52-55.
- [18] <http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spt5chlorine.pdf>
- [19] <http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spt5chlorine.pdf>
- [20] TARQUIN, Anthony. Ingeniería Económica. 6<sup>ta</sup> Ed. Mexico: McGraw-Hill, 2006. Pág. 226-311.

## BIBLIOGRAFÍA

- INEN. Norma técnica ecuatoriana INEN 1108:2010, Agua potable: Requisitos. 4ta Ed. Ecuador: INEN, 2010.
- MIDUVI. Norma técnica ecuatoriana CO 10.7-602. Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias. Ecuador: MIDUVI, 2005.
- WEINBERG, H. The Occurrence of Disinfection By-Products (DBPs) of Health Concern in Drinking Water: Results of a Nationwide DBP Occurrence Study. Estados Unidos: Academic Press, 2002.
- YÁNEZ, M. Planta de tratamiento de agua portátil. Seminario purificación de agua en el sector Rural. Ecuador: ESPOCH 12-14 mayo 2011.
- TARQUIN, A. Ingeniería Económica. 6ta Ed. México: McGraw-Hill, 2006
- CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. 1era Ed. México: McGraw-Hill, 1988.
- GOULDS PUMPS. Gould Pumps Manual GPM7. 7ma Ed. Estados Unidos: GouldsPumpsInc, 1995.
- SSA. Subsecretaría de Saneamiento Ambiental: Cartilla para operadores de sistemas de Agua potable rural. Ecuador: División de Promoción y Educación, 2010.
- ADMIN, S. & SPECKER, H. WaterQualityAnalyzer WG-602. 5ta Ed. Estados Unidos: WaterGuard, 2010.

## **LINKOGRAFÍA**

### **TRATAMIENTOS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

<http://www.hidritec.com/hidritec/tratamientos-de-agua-para-consumo-humano>  
2011-10-25

### **DESINFECCIÓN DEL AGUA**

<http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>  
2011-11-04

### **DOSIFICADOR DE GAS**

<http://grupotecnoquim.com/ccpdf/serie%20200.pdf>  
2011-11-17

### **DESINFECCIÓN CON CLORO**

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/ponce\\_o\\_e/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo5.pdf)  
2011-11-17

### **SUBPRODUCTOS DE LA CLORACIÓN**

[http://www.nj.gov/health/eoh/hhazweb/dbpspdf\\_sp.pdf](http://www.nj.gov/health/eoh/hhazweb/dbpspdf_sp.pdf)  
2011-11-17

### **CLORADORES DE PASTILLA**

<http://www.ventapiscina.com/quimicos/clorador-automatico.html>  
2011-11-19

### **SELECCIÓN DE CLORADOR**

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo3.pdf>  
2011-11-19

### **SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA**

[www.portaleso.com/portaleso/trabajos/.../ele.../ud\\_simbologia.pdf](http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/.../ele.../ud_simbologia.pdf)  
2012-01-20

## NORMAS Y COMITÉS DE NORMALIZACIÓN PARA DOCUMENTACIÓN ELECTROTÉCNICA

<http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/Normalizacion.pdf>

2012-01-20

## CLORADOR EN LÍNEA

[http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86935/pdf\\_1260.pdf?sequence=1](http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86935/pdf_1260.pdf?sequence=1)

2011-11-24

## EQUIPOS DE CLORACIÓN

[http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2\\_cap6.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2_cap6.pdf)

2011-12-10

## EQUIPO AUTOMÁTICO DE PURIFICACIÓN DE AGUA.

[http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/87050/universalsc1000\\_ES.pdf](http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/universalsc1000_ES.pdf)

2011-12-03

## SÍMBOLOS Y DIAGRAMAS

[http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo\\_01/simbologia/simbologia.pdf](http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_01/simbologia/simbologia.pdf)

2012-02-02

## DOCUMENTOS TÉCNICOS: INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

<http://www.tecnoficio.com/docs/doc47.php>

2012-02-02

## DESINFECTANTE CLORAMINAS

<file:///C:/Documents%20and%20Settings/usuario/Mis%20documentos/INGENIERIA%20MECANICA/TESIS%201/LAS%20CLORAMINAS/desinfectantes-cloraminas.htm>

2011-05-15

## CLORACIÓN DE AGUA

<http://www.piscinasagua.com/agua/cloracion.html>

2011-09-18

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA

<http://html.rincondelvago.com/analisis-fisico-quimico-del-agua.html>

2011-07-13

## QUÍMICA ANALÍTICA INSTRUMENTAL

[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Documento\\_de\\_apoyo\\_Metodos\\_Electrometricos\\_2078.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Documento_de_apoyo_Metodos_Electrometricos_2078.pdf)

2011-07-13

## PARAMETROS BIOLÓGICOS DEL AGUA

[http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=que%20es%20analisis%20microbiologico%20agua&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itescam.edu.mx%2Fprincipal%2Fsylabus%2Ffpdb%2Frecursos%2Fr22938.DOC&ei=uma9TvOMM8rBgAfevIXBBw&usg=AFQjCNH8IOWXIqh\\_-X-dzcx3q4S6EhGH3A&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=que%20es%20analisis%20microbiologico%20agua&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itescam.edu.mx%2Fprincipal%2Fsylabus%2Ffpdb%2Frecursos%2Fr22938.DOC&ei=uma9TvOMM8rBgAfevIXBBw&usg=AFQjCNH8IOWXIqh_-X-dzcx3q4S6EhGH3A&cad=rja)

2011-05-03

## LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL MONITOREO DE CLORO RESIDUAL LIBRE Y MUESTREO BACTERIOLÓGICO EN SISTEMAS FORMALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO

[http://www.agua.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=16365&Itemid=100150](http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=16365&Itemid=100150)

2011-05-03

## MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CLORO LIBRE

<http://www.oocities.org/edrochac/residuales/cloro.pdf>

2011-06-18

## PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

<http://es.scribd.com/doc/35570362/1-4-Propiedades-mecanicas-del-hormigon>  
2011-06-29

## OPERACIONES DE PRETRATAMIENTO PARA AGUAS

<http://prueba2.aguapedia.org/master/formacion/edar/temario/pretratam/desarena.do.htm>  
2011-10-12

## SISTEMAS DE CLORADORES DE GAS HYDRO

[http://www.hydroinstruments.com/files/Instrucciones%20\(E500PPD\)%20pages.pdf](http://www.hydroinstruments.com/files/Instrucciones%20(E500PPD)%20pages.pdf)  
2011-12-21

## NORMAS DE DISEÑO PARA OBRAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

[http://www.miduvi.gov.ec/index.php?option=com\\_phocadownload&view=file&id=10562:10446-normas-de-diseno-de-sistemas-de-agua-potable-y-alcantarillado&Itemid=755](http://www.miduvi.gov.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=file&id=10562:10446-normas-de-diseno-de-sistemas-de-agua-potable-y-alcantarillado&Itemid=755)  
2011-12-27

## MANUAL DE INSTRUCCIÓN PANEL MEDIDOR REMOTO O ROTÁMETRO ADVANCE MODELO 480

[http://piphatchol.com/Catalog/!Gas\\_Feed\\_Documentation/!Documentation/Documentation\\_Breakdown/Foreign\\_Literature/Spanish/100-6002s.pdf](http://piphatchol.com/Catalog/!Gas_Feed_Documentation/!Documentation/Documentation_Breakdown/Foreign_Literature/Spanish/100-6002s.pdf)  
2011-12-28

## SISTEMAS PARA DOSIFICACIÓN DE CLORO Y DIÓXIDO DE AZUFRE

<http://www.hydroinstruments.com/files/Boletin%20WT-E.pdf>  
2013-01-03

## LA SEGURIDAD CON EL GAS DE CLORO

<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spt5chlorine.pdf>  
2012-01-05

## HOJA DE SEGURIDAD DEL CLORO

<http://www.monografias.com/trabajos6/hose/hose.shtml>

2012-01-05

## INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

<http://www.tecnoficio.com/docs/doc47.php>

2012-01-11

## NORMAS ASTM (TUBERÍAS, TUBOS Y ACCESORIOS EN ACERO)

[http://www.pehsa.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=41&Itemid=101&lang=es](http://www.pehsa.net/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=101&lang=es)

2012-01-12

## TUBOS DE ACERO SIN COSTURA ASTM (A-53 GRADO B/ASTM A-106/API 5L.)

[http://www.ingesite.com/pdf/pdfinfo/Tub\\_sin\\_costura.pdf](http://www.ingesite.com/pdf/pdfinfo/Tub_sin_costura.pdf)

2012-01-12

## TUBOS DE ACERO PARA INSTALACIONES DE GAS Y CONDUCCIÓN DE FLUIDOS

[http://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colmena\\_tubos\\_acero\\_gas\\_y\\_fluidos.pdf](http://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colmena_tubos_acero_gas_y_fluidos.pdf)

2012-01-22

## SISTEMA DE CONTROL

[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_control](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control)

2012-01-23

## SALARIOS CONTRALORÍA 2011

[http://www.cconstruccion.net/Leyes/CONTRALORIA\\_GENERAL\\_DEL\\_ESTADO/TABLA\\_SALARIOS\\_MANO\\_OBRA\\_CGE/SALARIOS\\_2011/SALARIO\\_MINIMO\\_LEY\\_2011\\_12\\_ENE\\_2011.pdf](http://www.cconstruccion.net/Leyes/CONTRALORIA_GENERAL_DEL_ESTADO/TABLA_SALARIOS_MANO_OBRA_CGE/SALARIOS_2011/SALARIO_MINIMO_LEY_2011_12_ENE_2011.pdf)

2012-03-05

# **ANEXOS**