



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA EPS. EMSAPUNO S.A**

**PARA LA CIUDAD DE PUNO**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. FERNANDO MARIO BRAVO COAQUIRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

*A mis padres Magno y Betty por su apoyo en mi formación académica y como persona, a ellos les debo mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño.*

*A mi madre, por darme su apoyo incondicional sobre todas las cosas y sin importar las consecuencias, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas y por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo es recompensado.*

*A mi hijo Anthony por ser la motivación de este logro.*

*A Dios por estar siempre conmigo y no abandonarme.*

*A todas las personas que hicieron posible este trabajo.*

**FERNANDO MARIO BRAVO COAQUIRA**



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, en especial a la Facultad de Ingeniería Química de manera muy particular a los docentes por haberme impartido sus conocimientos valiosos para el aprendizaje y logro de mi profesión.

A la empresa EPS. EMSAPUNO S.A., por haberme permitido laborar en las diversas áreas de producción y a todo el personal por todo su desempeño y por aportar cada día a que esta empresa siga adelante.

A mis padres y hermano, por el apoyo que me brindaron, por todos estos años que confiaron en mí comprendiendo mis ideales y la lucha por mis sueños.

A los miembros del jurado Dr. Edwin Guido Boza Condorena, Dr. Roger Huanqui Pérez y Dr. Teófilo Donaires Flores; por sus sabias observaciones e indicaciones, por el apoyo brindado para la ejecución y término de este trabajo.

Mi reconocimiento al Dr. Gregorio Palomino Cuela, asesor de tesis, por su acertada conducción en dicho trabajo.

**FERNANDO MARIO BRAVO COAQUIRA**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**RESUMEN .....11**

**INTRODUCCIÓN.....13**

### **CAPÍTULO I**

**1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA .....14**

**1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....14**

**1.3. MISIÓN, VISIÓN Y VALORES .....14**

1.3.1. Misión..... 14

1.3.2. Visión ..... 14

1.3.3. Valores..... 15

**1.4. POLÍTICAS INSTITUCIONALES .....16**

1.4.1. Calidad..... 16

1.4.2. Imagen institucional ..... 16

1.4.3. Responsabilidad social empresarial ..... 16

1.4.4. Desarrollo de talento humano ..... 16

1.4.5. Sostenibilidad financiera ..... 17

### **CAPÍTULO II**

**2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....18**

**2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....20**

2.2.1. Formulación del problema general .....20

2.2.2. Formulación de problemas específicos .....20

**2.3. OBJETIVOS FUNCIONALES DEL CENTRO DE TRABAJO .....20**

2.3.1. OBJETIVO GENERAL: .....20

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....20



### CAPÍTULO III

<b>3.1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE PUNO .....</b>	<b>22</b>
3.2.1. Captaciones de agua para la producción de agua potable para la ciudad de Puno .....	22
3.2.2. Planta Aziruni .....	30
3.2.3. Diagrama de flujo del proceso de producción de agua potable en Planta Aziruni, Reservoirio Totorani y Reservoirio Aracmayo.....	58

### CAPÍTULO IV

<b>4.1. INSUMOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. POLICLORURO DE ALUMINIO .....</b>	<b>59</b>
4.2.1. Características generales del Policloruro de Aluminio .....	59
4.2.2. Concentración de Policloruro de Aluminio utilizado en la Planta Aziruni.. .....	62
<b>4.3. SULFATO DE COBRE .....</b>	<b>62</b>
4.3.1. Características generales del Sulfato de Cobre.....	63
4.3.2. Concentración de Sulfato de Cobre utilizada en la Planta Aziruni.....	65
<b>4.4. CLORO GAS LICUADO. ....</b>	<b>65</b>
4.4.1. Características generales del Cloro Gas Licuado.....	66
4.4.2. Concentración del Cloro Gas Licuado utilizado en la Planta Aziruni .....	70
<b>4.5. HIPOCLORITO DE CALCIO .....</b>	<b>70</b>
4.5.1. Características generales del Hipoclorito de Calcio .....	70
4.5.2. Concentración del Hipoclorito de Calcio utilizado en la Planta Aziruni .....	73

### CAPÍTULO V

<b>5.1. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE .....</b>	<b>74</b>
<b>5.2. PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CAPTACIÓN CHIMU .....</b>	<b>74</b>
<b>5.3. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL MÓDULO I DE LA PLANTA AZIRUNI.....</b>	<b>75</b>



<b>5.4. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL MÓDULO II DE LA PLANTA AZIRUNI.....</b>	<b>75</b>
<b>5.5. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL RESERVORIO TOTORANI (RA-06) .....</b>	<b>76</b>
<b>5.6. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL RESERVORIO ARACMAYO (RA-07 I Y II).....</b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>6.1. COSTOS DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2. COSTOS DIRECTOS DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.....</b>	<b>79</b>
<b>6.3. COSTOS INDIRECTOS DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE .....</b>	<b>81</b>
<b>CAPÍTULO VII</b>	
<b>7.1. RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
<b>7.2. RESULTADOS RESPECTO AL TRATAMIENTO DE AGUA QUE REALIZA LA EPS. EMSAPUNO S.A.....</b>	<b>84</b>
<b>7.3. RESULTADOS RESPECTO A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE PUNO QUE PRODUCE LA EPS. EMSAPUNO S.A .....</b>	<b>85</b>
7.3.1. Discusión de los Resultados .....	87
<b>7.4. RESULTADOS RESPECTO A LOS INSUMOS UTILIZADOS EN LA PLANTA AZIRUNI, RESERVORIO TOTORANI Y RESERVORIO ARACMAYO PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.....</b>	<b>88</b>
<b>7.5. RESULTADOS RESPECTO A LOS COSTOS DE IMPORTANCIA DIRECTOS E INDIRECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE QUE REALIZA LA EPS. EMSAPUNO.....</b>	<b>91</b>
7.5.1. Discusión de los Resultados.....	92
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>103</b>



ANEXO 1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE POLICLORURO DE ALUMINIO.....	103
ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE COBRE .....	104
ANEXO 3. ÁLBUM DE FIGURAS .....	105

**Área** : Trabajo de Suficiencia Profesional.

**Tema** : Producción de Agua Potable.

**Línea** : Ingeniería de Procesos.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 24 de setiembre 2020.



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la Captación Chimu (Antigua) .....	24
Tabla 2: Características de la Captación Chimu (Nueva).....	25
Tabla 3: Características Técnicas de los Equipos de Bombeo de la Captación Chimu (Nueva) .....	25
Tabla 4: Características Técnicas de los Equipos de Potencia de la Captación Chimu (Nueva) .....	26
Tabla 5: Características Técnicas de los Equipos Tableros de Mando y Control de la Captación Chimu (Nueva) .....	26
Tabla 6: Características Técnicas del Tablero General de Distribución de la Captación Chimu (Nueva).....	27
Tabla 7: Características del lecho de soporte y lecho filtrante de los filtros rápidos en el módulo I.....	37
Tabla 8: Características del lecho de soporte y lecho filtrante de los filtros rápidos en el módulo II .....	41
Tabla 9: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Bombeo del Módulo I.....	48
Tabla 11: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Bombeo del Módulo III.....	51
Tabla 12: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Rebombeo del R-04 (Manto) .....	52
Tabla 14: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Rebombeo del RA-03 (Chacarilla).....	54
Tabla 15: Características de los Reservorios y su Distribución del Agua Potable hacia la Población .....	54
Tabla 16: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Cruda producido en la Captación de.....	74
Tabla 17: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Módulo I – Planta Aziruni .....	75
Tabla 18: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Módulo II – Planta Aziruni .....	76
Tabla 19: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Reservorio Totorani.....	77



Tabla 20: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Reservorio Aracmayo .....	78
Tabla 21: Costo Anual de Insumo Químico Policloruro de Aluminio (Pacso-100) .....	80
Tabla 22: Costo Anual de Insumo Químico Sulfato de Cobre .....	80
Tabla 23: Costo Anual de Insumo Químico Cloro Gas Licuado .....	80
Tabla 25: Consumo y Costo Total de Energía Activa en las Instalaciones de Producción y Distribución de Agua Potable en el año 2019.....	82
Tabla 26: Producción Promedio de Agua Potable del Año 2019 – EMSAPUNO S.A...86	
Tabla 27: Cantidad Anual de Insumos Utilizados en la Producción de Agua Potable en Planta Aziruni, Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo .....	91
Tabla 28: Costo Anual de Insumos Químicos Utilizados en la Producción de Agua Potable para la ciudad de Puno .....	92
Tabla 29: Consumo y Costo Total de Energía Activa en las Instalaciones de Producción y Distribución de Agua Potable en el año 2019.....	93



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Captación de Agua Chimu (Antigua).....	105
Figura 2. Captación de Agua Chimu (Nueva) .....	105
Figura 3. Captación Totorani (Río Totorani).....	106
Figura 4. Captación Aracmayo (Manantiales) .....	106
Figura 5. Módulo I de Tratamiento de Agua (Planta Aziruni) .....	107
Figura 6. Módulo II de Tratamiento de Agua (Planta Aziruni) .....	107
Figura 7. Reservorio de Almacenamiento Totorani (1 100 m <sup>3</sup> ) RA-06 .....	108
Figura 8. Reservorio de Almacenamiento Aracmayo (225 m <sup>3</sup> ) RA-07 I y (125 m <sup>3</sup> ) RA-07 II .....	108
Figura 9. Aireador de Cascadas .....	109
Figura 10. Floculadores Mecánicos (Rápidos y Lentos) .....	109
Figura 11. Sedimentador.....	110
Figura 12. Filtros Rápidos .....	110
Figura 13. Cámara de Desinfección o de Contacto, Cisterna de Almacenamiento de 1 250 m <sup>3</sup> y Estación de Bombeo del Módulo I.....	111
Figura 14. Canal de Ingreso Tipo Parshall .....	111
Figura 15. Floculador Vertical Hidráulico.....	112
Figura 16. Filtros Rápidos .....	112
Figura 17. Sala de Cloración y Cámara de Desinfección o de Contacto.....	113
Figura 18. Cisterna de Almacenamiento de 1 000 m <sup>3</sup> y Estaciones de Bombeo de los Módulos II y III.....	113
Figura 19. Estación de Bombeo de Captación de Agua Chimu (Nueva) .....	114
Figura 20. Estación de Bombeo del Módulo I (Planta Aziruni) .....	114
Figura 21. Estación de Bombeo del Módulo II (Planta Aziruni).....	115
Figura 22. Estación de Bombeo del Módulo III (Planta Aziruni).....	115
Figura 23. Policloruro de Aluminio (Planta Aziruni) .....	116
Figura 24. Sulfato de Cobre (Planta Aziruni).....	116
Figura 25. Cisternas de Cloro Gas Licuado de Contenido Neto de 907 kg y de 68 kg (Planta Aziruni).....	117



## RESUMEN

La EPS. EMSAPUNO S.A, tiene como objetivo el suministro de servicio de agua potable para la ciudad de Puno; la producción de agua potable se realiza en la Planta Aziruni, por método convencional, y en la captación Totorani y Aracmayo, con tratamiento por desinfección; cumpliendo con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. En el tratamiento convencional del agua se utilizaron insumos de policloruro de aluminio, sulfato de cobre y desinfectantes cloro en gas licuado e hipoclorito de calcio; cuyas concentraciones en el tratamiento no superan lo establecido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. En la producción de agua potable para el año 2019, el 95 %  $\approx$  7 382 928,73 m<sup>3</sup>/año proviene de la planta Aziruni, el 4 %  $\approx$  390 731,04 m<sup>3</sup>/año de la captación Totorani y el 1 %  $\approx$  41 312,16 m<sup>3</sup>/año de la captación Aracmayo, concluyendo una producción de agua potable de 7 814 971,93 m<sup>3</sup>; con un costo de producción de S/ 360 370,90; con costos directos de S/ 2 013 294,07 soles para adquisición de insumos químicos y con costos indirectos por consumo de energía eléctrica para la producción; generándose un costo total de S/ 2 373 664,97 soles. Con el fin de optimizar el servicio de agua potable se recomienda el mejoramiento integral de la planta de tratamiento, construcción de nuevos reservorios de mayor capacidad y ejecutar la instalación de nuevas redes de impulsión y distribución.

**Palabras clave:** Agua potable, tratamiento convencional, insumos, costos directos, costos indirectos.



## ABSTRACT

The EPS. EMSAPUNO S.A, aims to supply drinking water service for the city of Puno; the production of drinking water is carried out at the Aziruni Plant, by conventional method, and at the Totorani and Aracmayo catchment, with treatment by disinfection; complying with the National Environmental Quality Standards for Water. In the conventional treatment of water, inputs of poly aluminum chloride, copper sulfate and disinfectants chlorine in liquefied gas and calcium hypochlorite were used; whose concentrations in the treatment do not exceed that established by the Regulation of the Quality of Water for Human Consumption. In the production of drinking water for 2019, 95%  $\approx 7\,382\,928.73\text{ m}^3/\text{year}$  comes from the Aziruni plant, 4%  $\approx 390\,731.04\text{ m}^3/\text{year}$  from the Totorani catchment and 1%  $\approx 41\,312.16\text{ m}^3/\text{year}$  from the Aracmayo catchment, concluding a drinking water production of  $7\,814\,971.93\text{ m}^3$ ; with a production cost of S / 360 370.90; with direct costs of S / 2 013 294.07 soles for the acquisition of chemical inputs and with indirect costs for the consumption of electricity for production; generating a total cost of S / 2 373 664.97 soles. In order to optimize the drinking water service, it is recommended the integral improvement of the treatment plant, the construction of new reservoirs of greater capacity and the installation of new impulsion and distribution networks.

**Keywords:** Drinking water, conventional treatment, inputs, direct costs, indirect costs.



## INTRODUCCIÓN

El informe profesional se basa en los conocimientos y experiencias adquiridos en el área de producción de la Empresa Prestadora de Saneamiento (EPS), registrada como Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno Sociedad Anónima (EMSAPUNO S.A), es una empresa pública de accionariado municipal de derecho privado, que suministra los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario con ámbito de responsabilidad en la ciudad de Puno.

A fin de presentar las actividades realizadas en la empresa EMSAPUNO S.A., de una manera práctica, dinámica y con fundamento teórico; se describirá el tipo de tratamiento que se realiza para la producción de agua potable, los diversos insumos utilizados, y finalmente los costos de mayor importancia que involucran su producción.

EMSAPUNO S.A, cuenta con 3 fuentes de agua superficial para la producción de agua potable, la principal fuente es la del Lago Titicaca ubicada en el sector de Chimu con la cual se produce el 95 % de la producción de agua potable, la que le sigue es la fuente del río Huile con la captación Totorani cuya aporte para la producción es del 4 %, y finalmente las fuentes de las galerías filtrantes alimentadas por manantiales, ubicadas en el sector de Aracmayo que aportan el 1%.

El tratamiento del agua que realiza EMSAPUNO S.A, obedece en todo aspecto a los marcos legales emitidos por las diversas instituciones encargadas en velar una correcta producción de agua potable y cuidado del medio ambiente con el único fin de brindar un servicio adecuado a la población de Puno.



## CAPÍTULO I

### 1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

### 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Empresa Prestadora de Saneamiento de la ciudad de Puno denominada Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno Sociedad Anónima, socialmente conocido por sus siglas como EMSAPUNO S.A, es una empresa pública de accionariado municipal de derecho privado, que suministra los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario con ámbito de responsabilidad en la ciudad de Puno.

El accionar de la empresa se enmarca en las disposiciones establecidas en el Decreto Legislativo N° 1280 que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, su reglamento, el estatuto social y demás disposiciones emitidas por las instituciones competentes como el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento, Ministerio de Economía y Finanzas, Dirección Nacional de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria, Ministerio del Ambiente, entre otros.

### 1.3. MISIÓN, VISIÓN Y VALORES

#### 1.3.1. Misión

EMSAPUNO S.A, es una empresa comprometida en mejorar la calidad de vida de nuestros usuarios, mediante la gestión de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, con responsabilidad social y ambiental.

#### 1.3.2. Visión

Al 2022 se mejorará los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario para todos nuestros usuarios.



### 1.3.3. **Valores**

#### 1.3.3.1. ***Vocación de servicio***

Nos debemos al cliente, mantenemos comunicación permanente atendiendo su demanda oportuna, amable y efectivamente. Logramos exceder las expectativas de nuestros usuarios cuando agregamos valor a nuestro trabajo.

#### 1.3.3.2. ***Mejora continua***

La mejora continua es el objetivo permanente de la empresa, el mismo que se refleja en la eficacia y eficiencia de nuestros procesos, el trabajo en equipo y la medición permanente de la gestión con indicadores.

#### 1.3.3.3. ***Transparencia***

Construimos confianza mediante la comunicación veraz de las actividades de la empresa y el uso adecuado y óptimo de los recursos.

#### 1.3.3.4. ***Liderazgo***

El liderazgo es valorado y apoyado en todos los niveles de organización de la Empresa, constituye uno de los ejes principales para la cohesión interna y logro de los propósitos institucionales; construye nuestra imagen y nos orienta hacia la mejora continua.

#### 1.3.3.5. ***Respeto***

Todas nuestras acciones están encaminadas a la preservación y uso racional del medio ambiente. Respetamos y cumplimos la normatividad emitida por las entidades rectoras de nuestra empresa.

#### 1.3.3.6. ***Responsabilidad***

Siempre damos lo mejor de nosotros para cumplir los compromisos adquiridos con la población, asumiendo las consecuencias de nuestros actos.



#### 1.3.3.7. *Compromiso*

Compromiso con nuestros usuarios y la sociedad para brindar servicios cada vez mejores.

### 1.4. **POLÍTICAS INSTITUCIONALES**

#### 1.4.1. **Calidad**

Garantizamos la calidad de nuestros servicios y nos comprometemos con la satisfacción de los usuarios, mediante el fortalecimiento de nuestro Sistema de Gestión de la Calidad en el marco de la Norma Internacional ISO 9001:2015.

#### 1.4.2. **Imagen institucional**

EMSAPUNO S.A. informará permanentemente de sus actividades a la población, en aras de construir transparencia institucional. Al mismo tiempo, los trabajadores de la Empresa manejarán un diálogo amable y positivo, haciendo visible su vocación de servicio, sentido de pertenencia y proyectando una imagen institucional favorable.

#### 1.4.3. **Responsabilidad social empresarial**

EMSAPUNO S.A. apuesta por un desempeño empresarial sustentable, sostenible, fundamentado en los valores institucionales y atendiendo los principios que, en materia de derechos humanos, estándares laborales, ambiente y anticorrupción sean consensuados por la sociedad.

#### 1.4.4. **Desarrollo de talento humano**

La participación del personal es decisiva para alcanzar los fines empresariales, por esta razón creamos un clima laboral amable y productivo, cuidando de fomentar el desarrollo de las competencias laborales y realizar programas de bienestar que incluyan al trabajador y su familia con la finalidad de hacer del trabajo una fuente de desarrollo humano y profesional.



#### 1.4.5. **Sostenibilidad financiera**

EMSAPUNO S.A. realizara el manejo de los recursos públicos con transparencia, desarrollando sus actividades con calidad y costos adecuados, sin poner en peligro la estabilidad financiera y desarrollo a largo plazo de la Empresa.



## CAPÍTULO II

### 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua potable es una necesidad de consumo fundamental de la humanidad, las Naciones Unidas considera que cada persona requiere al menos 20 a 50 litros de agua potable limpia y segura al día para beber, cocinar y simplemente mantenerse limpios, por tanto el acceso al agua limpia y de calidad es un como un derecho básico de la humanidad y un paso esencial hacia un mejor estándar de vida en todo el mundo.

OMS (2006), considera que los sistemas de distribución deben lograr que el agua potable esté lo más cerca disponible al consumidor y que las personas no tengan que desplazarse más de un kilómetro desde el sitio donde utilizaran el agua, por lo general en ciudades con poblaciones medianas a grandes este servicio es realizado por Empresas Prestadoras de Saneamiento (EPS), mientras que en poblaciones pequeñas el servicio los realizan las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS), y para lograr este servicio estas empresas involucran costos monetarios en operaciones desde su captación y tratamiento del agua, hasta su distribución del agua potable al consumidor. Como también existen lugares en pleno proceso de crecimiento poblacional en donde no se cuenta con este tipo de servicios de saneamiento.

INEI (2018), publica que a enero del 2018, el Servicio de Agua Potable y Saneamiento Básico en el Perú, tanto urbano como rural; el 89,4% (28 millones 374 mil personas), tienen acceso a agua por red pública, de los cuales el 84,1% tienen acceso a agua por red pública dentro de la vivienda, el 3,9 % tienen acceso fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación y el 1,3 % tienen acceso por pilón de uso público. En el área urbana, el 94,4 % de la población tiene este servicio: el 88,4% lo tiene dentro de la vivienda, el 4,7% fuera de la vivienda; pero dentro de la edificación y el 1,2 % por pilón de uso público. En el área rural, el 71,9 % de la población tiene acceso a agua por red



pública; el 69,2% dentro de la vivienda, el 1,2 % fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación y el 1,6% por pilón de uso público. La cobertura de saneamiento básico, se refiere al porcentaje de personas que utilizan mejores servicios de saneamiento, a saber: conexión alcantarillas públicas; conexión a sistemas sépticos, letrinas entre otros; el 68,9 % de la población del Perú accede al sistema de alcantarillado por red pública dentro de la vivienda; en el área urbana el 84,1 % de la población cuenta con este servicio y en el área rural el 16,0 %.

Las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), como es el caso de EMSAPUNO S.A son empresas públicas de propiedad municipal de derecho privado y de acuerdo a la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento del D.L. N° 1280, las Municipalidades Provinciales son las responsables de la prestación de los servicios de saneamiento en el ámbito urbano a través de las EPS.

Lamentablemente los problemas en las EPS son evidentes, presentan deficiencias en los servicios de saneamiento que brindan como: (i) calidad del agua potable; (ii) presión en las redes de distribución (iii) continuidad en la prestación del servicio (a veces se brinda el servicio sólo por horas); (iiii) no dar un adecuado tratamiento a las aguas residuales; etc. Todos estos problemas redundan en una menor calidad de servicio al usuario. A su vez, las EPS presentan problemas de gestión tales como la cobranza morosa y habitualmente el monto de las tarifas es insuficiente para cubrir los costos de operación y mantenimiento y además realizar las inversiones necesarias para mejorar el servicio, actualmente a todo lo manifestado la EPS EMSAPUNO S.A, no es ajena a una mala calidad de servicio.

En la actualidad las EPS se encuentran en lo que se conoce como Régimen de Apoyo Transitorio (RAT), un programa de ayuda que brinda el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS) para aquellas que no son



sostenibles. Los estudios de SUNASS respecto a las EPS en el 2018, consideran que al menos 47 de las 50 empresas tienen causales para entrar a este régimen, es decir, la Sunass considera que el 94 % de las EPS debe tener “más” apoyo estatal.

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.2.1. Formulación del problema general**

¿Cómo es la producción de agua potable de la EPS. EMSAPUNO S.A para la población de la ciudad de Puno?

### **2.2.2. Formulación de problemas específicos**

- ¿Qué tratamiento de agua realiza la EPS. EMSAPUNO S.A en la planta Aziruni, reservorio Totorani y reservorio Aracmayo para la producción de agua potable?
- ¿Qué insumos utiliza la EPS. EMSAPUNO S.A en la planta Aziruni, reservorio Totorani y reservorio Aracmayo para la producción de agua potable?
- ¿Cuáles son los costos directos e indirectos de importancia en la producción de agua potable que realiza la EPS. EMSAPUNO S.A?

## **2.3. OBJETIVOS FUNCIONALES DEL CENTRO DE TRABAJO**

### **2.3.1. OBJETIVO GENERAL:**

- Determinar las características de producción de agua potable de la EPS. EMSAPUNO S.A para la población de la ciudad de Puno.

### **2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Describir el tratamiento de agua que utiliza la EPS. EMSAPUNO S.A en la planta Aziruni, reservorio Totorani y reservorio Aracmayo para la producción de agua potable.



- Describir los insumos que utiliza la EPS. EMSAPUNO S.A en la planta Aziruni, reservorio Totorani y reservorio Aracmayo para la producción de agua potable.
- Determinar los costos directos e indirectos de importancia en la producción de agua potable que realiza la EPS. EMSAPUNO S.A



## CAPÍTULO III

### 3.1. MARCO TEÓRICO

### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE PUNO

#### 3.2.1. Captaciones de agua para la producción de agua potable para la ciudad de Puno

El sistema de producción de agua potable para la ciudad de Puno, cuenta con tres fuentes o captaciones de agua; la nueva captación Chimu (fuente superficial) con aguas provenientes del Lago Titicaca, la captación antigua cuya fuente es específicamente de la desembocadura del río Huile, la captación Totorani (fuente superficial) se abastece de agua mediante galerías filtrantes (río Totorani), y la captación Aracmayo (fuente superficial) que se abastece de agua por medio de galerías filtrantes alimentado por manantiales.

##### 3.2.1.1. *Captación de Agua “Chimu”.*

La Captación de Agua Chimu (Antiguo u Nuevo) se encuentran en la comunidad Chimu, Provincia de Puno del Departamento de Puno, situado a una altitud de 3830 m s.n.m., cuyo acceso se puede realizar desde la ciudad de Puno utilizando la carretera Puno – Chucuito dura aproximadamente 15 minutos y tiene una distancia de 2 km aproximadamente.

La calidad del agua del Lago Titicaca para fines de uso poblacional se encuentra clasificado de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, en la Subcategoría de A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), la misma que se encuentra dentro de la Categoría 1: Poblacional y recreacional, mencionado en su Artículo 3 del D.S. N° 004-2017-MINAN.



#### 3.2.1.1.1. Captación de Agua Chimu (Antigua).

La Captación Chimu Antigua está conformada por dos tomas de succión de acero naval de 400 mm (16 pulg) de diámetro con longitud de 438 m, que se encuentran instaladas en la desembocadura del río Huile en lo profundo del Lago Titicaca, cada línea se encuentran acentuadas en el fondo del lago y en la extremidad de la Captación disponen de caja de anclaje empotrado a la columna hasta el nivel intermedio del lago donde se encuentra instalado la canastilla metálica para la retención de sólidos y una válvula de retención check, para evitar el vaciado fijado con boyas de señalización. La capacidad hidráulica de cada línea es de 150 l/s, succionando por bombas centrifugas verticales.

Esta instalación cuenta con tres equipos de bombeo, (Bomba Centrífuga Helicoidal, Motor Eléctrico y Tablero de Mando y Control) de una potencia de 125 HP cada uno, están instalados en una estructura de concreto tipo CAISSON, las cuales impulsan el agua cruda hacia la planta Aziruni mediante dos tuberías de 350 mm (14 pulg) de diámetro de 4020 m de longitud. Ante situaciones de interrupción del suministro de energía eléctrica, se cuenta con un equipo grupo electrógeno que opera con combustible diésel.

Los niveles del lago Titicaca varían en función a la temporada del año, el nivel mínimo es 3804,75 m s.n.m. y el nivel máximo 3812,50 m s.n.m., la cota del eje de la bomba debería de estar en 3803,64 m s.n.m., según la concepción del proyecto original de la captación Chimu, la canastilla de succión se encuentra instalado en la cota 3808,14 m s.n.m., ocasionando el problema de cavitación, que repercute en problemas operativos tales como: desgaste de rodamientos, rotura de ejes de bomba, desgaste prematuro del tazón de la bomba, rotura de pernos de anclaje, entre otros, generando el incremento de costos de mantenimiento, como también la interrupción de servicio.

Actualmente esta instalación entra en operación en casos de contingencia y/o mantenimiento de la estación nueva, en la tabla 1 se detalla las características técnicas.

*Tabla 1: Características de la Captación Chimu (Antigua)*

Nombre	Superficial (Lago Titicaca)			Observaciones
	Con Bombeo			
	l/s	HP (Motor)	h/d (Bombeo)	
Captación Chimu (Antigua)	150	125 (3)	22	Esta instalación opera con dos equipos electrobombas en paralelo con un caudal total de 260 l/s
Total	450	375	22	

Fuente: EMSAPUNO S.A

En el anexo 3, se ilustra en la figura 1 la Captación de Agua Chimu (Antigua).

#### 3.2.1.1.2. Captación de Agua Chimu (Nueva).

Esta instalación se llegó a construir en el año 2012, con la ejecución del proyecto de inversión pública denominado “Rehabilitación del sistema de abastecimiento de agua potable, Captación Chimu de la ciudad de Puno, Provincia de Puno”, las principales características de la instalación son:

Cuenta con un acceso de 220 m de largo por 10 m de ancho, el cual está construido con material granular.

El acceso al extremo final cuenta con enrocado cuya longitud es de 40 m de largo por 8 m de ancho, con rocas de 40 pulg a 60 pulg, con muro de protección lateral en base de gaviones en 100 m a ambos lados del terraplén.

La infraestructura de succión está construida en estructura metálica en acero naval de ½ pulg con un diámetro de ( $D = 5,70$  m), altura de ( $h = 5,40$  m), esta estructura se encuentra sobre una losa de cimentación de concreto armado  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de 10 m x 10 m, la misma que esta sobre un empedrado con piedras de canto rodado de 6” (bajo

agua), encima de la infraestructura se encuentra una caseta metálica de 6,10 m x 7,10 m y una altura de 4,73 m, con una cobertura de policarbonato de 8 mm que sirve de techo.

Esta instalación cuenta en su interior con los siguientes equipos de bombeo, los cuales se detallan a continuación en la Tabla 2.

*Tabla 2: Características de la Captación Chimu (Nueva)*

Nombre	Superficial (Lago Titicaca)			Observaciones
	Con Bombeo			
	l/s	HP (Motor)	h/d (Bombeo)	
Captación Chimu (Antigua)	160	150 (3)	24	Esta instalación se encuentra ubicado a la orilla del Lago Titicaca, Sector Chimu, opera con dos equipos electrobombas en paralelo con un caudal promedio de 290 a 310 l/s.
Total	480	450	24	

Fuente: EMSAPUNO S.A

En el anexo 3, se ilustra en la figura 2 la Captación de Agua Chimu (Nueva).

A continuación, en las tablas 3 y 4 se describen las características técnicas de los equipos de bombeo (Bomba) y de potencia (Motor).

*Tabla 3: Características Técnicas de los Equipos de Bombeo de la Captación Chimu (Nueva)*

Descripción	Características	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
	Tipo	Turbina Vertical	Turbina Vertical	Turbina Vertical
Bomba	Caudal	160 l/s	160 l/s	160 l/s
	Altura Dinámica Total (ADT)	48 mca	48 mca	48 mca
	Marca	Flowserve	Flowserve	Flowserve

Fuente: EMSAPUNO S.A

*Tabla 4: Características Técnicas de los Equipos de Potencia de la Captación Chimu (Nueva)*

Descripción	Características	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Motor Eléctrico	Potencia	150 HP	150 HP	150 HP
	Voltaje	440 VCA	440 VCA	440 VCA
	Corriente	180 A	180 A	180 A
	Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz
	Sistema	Trifásico	Trifásico	Trifásico
	Arrancador	Variador de Frecuencia	Variador de Frecuencia	Variador de Frecuencia
	Marca	USMOTORS	USMOTORS	USMOTORS

Fuente: EMSAPUNO S.A

Se cuenta con 03 equipos tableros de mando y control en esta instalación, la principal característica de estos equipos es que cuentan con variadores de frecuencia, conocido como VFD del inglés “Variable Frequency Drive”, estos permiten variar la velocidad de operación del equipo electrobomba, y por lo tanto variar el caudal de operación según los requerimientos exigidos por la planta de tratamiento. (Tabla 5).

*Tabla 5: Características Técnicas de los Equipos Tableros de Mando y Control de la Captación Chimu (Nueva)*

Descripción	Características	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Variador de Frecuencia	Potencia	150 HP	150 HP	150 HP
	Voltaje	440 VCA	440 VCA	440 VCA
	Corriente	180 A	180 A	180 A
	Frecuencia	0 - 60 Hz	0 - 60 Hz	0 - 60 Hz
	Sistema	Trifásico	Trifásico	Trifásico
	Arrancador	Variador de Frecuencia	Variador de Frecuencia	Variador de Frecuencia
	Marca	ABB	ABB	ABB

Fuente: EMSAPUNO S.A

La operación de los Tableros de Mando y Control son controlados por un Tablero General de Distribución, el cual tiene las siguientes características (Tabla 6).

*Tabla 6: Características Técnicas del Tablero General de Distribución de la Captación Chimu (Nueva)*

Descripción	Características	Equipos
Tablero General de Distribución	Potencia	150 HP (3)
	Voltaje	440 VCA
	Corriente	180 A
	Frecuencia	60 Hz
	Sistema	Trifásico

Fuente: EMSAPUNO S.A

La Captación Chimu (Nueva), además cuenta con las siguientes características de importancia:

**Equipos y Accesorios de protección.** - Se cuenta con un equipo pararrayos ionizante para protección ante descargas eléctricas y puestas a tierra para protección de los equipos con que se cuenta.

**Accesorios Hidráulicos.** - Está estación de bombeo cuenta con todo lo necesario en equipamiento hidráulico para el buen funcionamiento, tales como válvulas tipo check DN 350 mm (14 pulg), válvulas tipo mariposa DN 350 mm (14 pulg), uniones dresser DN 350 mm (14 pulg), válvula de aire DN 110 mm (4 pulg), válvula anticipadora de onda DN 250 mm (10 pulg), válvulas tipo compuerta DN 200 mm (8 pulg), manómetro digital, yee en cédula 40, conocido comúnmente en inglés como Schedule (SCH – 40 ) de 350 mm x 600 mm (14 in x 24 in) y niples bridados en SCH - 40.

**Línea de Impulsión.** - A la salida de la caseta de bombeo se cuenta con una línea de impulsión en tubería material de acero al carbono (SCH – 40) de 600 mm de diámetro (24 pulg), con una longitud de 4 m, posterior a esta línea esta empalmado a una tubería de HFD de 600 mm de diámetro (24 pulg) con una longitud de 258 m, la cual está finalmente empalmada a dos líneas de impulsión de 350 mm (14 pulg) de material de asbesto -cemento (AC) que conducen agua hasta la planta de tratamiento.

**Caseta de Subestación:** Compuesto por una estructura de ladrillo, reforzado con columnas y vigas de concreto armado, con techo en losa maciza en un área de 7 x 5 m, el que alberga a un transformador de 400/350/50 kVA (Figura 7) y a dos celdas de transformación eléctrica, un tablero de transferencia y un tablero en baja tensión (Figura 6), a partir de esta subestación se alimenta al tablero general de distribución de la estación de bombeo, las instalaciones eléctricas que alimentan a esta Subestación Eléctrica provienen de una red eléctrica primaria de 10 Kv, con postes de concreto y tendido de conductores NYY 3-1 X 50 mm<sup>2</sup>, se cuenta con iluminación interior y exterior en todas las infraestructuras de la captación Chimu, además de sus respectivas protecciones de pararrayos y puestas a tierra.

#### 3.2.1.2. *Captación de Agua “Totorani”.*

Es una captación de agua superficial, proveniente de un río denominado TOTORANI (En la zona Totorani Grande - Parte Alta), que se encuentra en las coordenadas UTM WGS 84 N:

8 251 879,00; E: 381 187,00 a una altitud de 3947 m s.n.m. Con un caudal aforado de 98 l/s, el acceso se consigue vía carretera (Asfaltada) Puno – Tiquillaca en un lapso de 25 min a una distancia de 3 km.

La calidad del agua del río Totorani para fines de uso poblacional se encuentra clasificado de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, en la Subcategoría de A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), la misma que se encuentra dentro de la Categoría 1: Poblacional y recreacional, mencionado en su Artículo 3 del D.S. N° 004-2017-MINAN.

La Captación Totorani es la más antigua de la ciudad de Puno, que fue construido en el año de 1940, está constituido por un sistema de galerías filtrantes que reúnen las



aguas y son filtradas por medio de grava seleccionada (8 a 14 pulg en forma de canto rodado) a tuberías cribadas de material de PVC de 250 mm (10 pulg), los cuales interconectan a un buzón de inspección seguido de una caja de reunión de concreto de forma rectangular dividida internamente por una pantalla que da origen a dos cámaras con el fin de facilitar el mantenimiento preventivo, posteriormente el agua captada pasa a la siguiente cámara de la cual se interconecta a una tubería de PVC de 300 mm (12 pulg), pasando a otra cámara de reunión de la cual nace la línea de conducción que tiene una longitud total de 14 000 00 m de material asbesto cemento de DN 300 mm (12 pulg) y tubería de concreto armado también de DN 300 mm (12 pulg), esta línea de conducción cuenta con válvulas de purga de aire, como también purga de agua en las partes más bajas, durante el recorrido existen 2 túneles para llegar a la estación de bombeo, denominada: Estación de Bombeo EB 30 (Ubicada en el Barrio San José – Parte Alta), en esta estación se tiene una cámara de desinfección, en donde se dosifica cloro gaseoso para su desinfección del agua y posterior abastecimiento por gravedad al Reservorio de capacidad volumétrica de 1 100 m<sup>3</sup>, denominado RA-06 (Totorani), para finalmente realizar la distribución a la población, el total promedio de caudal captado es de 15 a 20 l/s en época de precipitación de lluvia y de 5 a 8 l/s en época de estiaje hídrico.

En el anexo 3, se ilustra en la figura 3 la Captación de Agua Totorani (Río Totorani).

### 3.2.1.3. *Captación de Agua “Aracmayo”.*

La captación de agua Aracmayo está conformado por 4 manantiales superficiales de forma de bocaminas, ubicadas en el cerro Aracmayo a fuera de la ciudad de Puno, a una altitud que oscila los 4069 m s. n. m., con coordenadas UTM WGS 84 N: 8 250 199,00; E: 386 572,00, se consigue utilizando la carretera Puno – Tiquillaca para llegar al lugar, dura aproximadamente 15 min y tiene una distancia aproximada de 2 km.



La calidad del agua de la captación de los manantiales de Aracmayo para fines de uso poblacional se encuentra clasificado de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, en la Subcategoría de A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable), la misma que se encuentra dentro de la Categoría 1: Poblacional y recreacional, mencionado en su Artículo 3 del D.S. N° 004-2017-MINAN.

Estas captaciones están selladas con infraestructuras de concreto para evitar la contaminación superficial, captadas en forma ramificada y paralela por medio de una tubería de 150 mm (6 pulg), los cuales alimentan a la línea de captación perpendicularmente, esta línea conduce el agua hacia un buzón de reunión donde empieza la línea de conducción de 150 mm (6 pulg), tiene una capacidad media de 8 l/s en época de lluvia y de 1,5 a 3 l/s, en épocas de estiaje hídrico. El almacenamiento se realiza en 2 reservorios, uno de capacidad de 225 m<sup>3</sup> y el otro de 125 m<sup>3</sup>, este último está destinado exclusivamente para el Penal de Yanamayo, en los mismos reservorios se realiza el proceso de desinfección con cloro gas, finalmente se procede a su distribución por gravedad hacia la población de Alto Puno.

En el anexo 3, se ilustra en la figura 4 la Captación de Agua Aracmayo (Manantiales).

### 3.2.2. **Planta Aziruni**

La empresa EMSAPUNO S.A. cuenta con una instalación de tratamiento de agua denominado “Planta Aziruni”, el cual cuenta con 02 plantas de tratamiento de agua para consumo humano (Agua Potable), denominados Módulo I y Módulo II, con capacidad máxima de tratamiento de agua de 150 l/s y 300 l/s respectivamente, cada módulo cuenta con sistemas de almacenamiento como también con su respectivas estaciones de bombeo, se recepciona agua cruda enviada desde la captación Chimu por medio de dos tuberías de



350 mm (14 pulg), estas están empalmadas en el ingreso a la Planta Aziruni a una tubería principal de 900 mm (36 pulg), el cual conduce el agua cruda hacia el módulo II, como también de esta tubería de 900 mm (36 pulg) se empalma a 2 tuberías de 350 mm (14 in) que conducen agua cruda hacia el módulo I.

#### 3.2.2.1. *Módulo I de Tratamiento de Agua.*

Las unidades de tratamiento del módulo I han sido construidas en los años de 1974 – 1975 y fue diseñada inicialmente para el tratamiento de agua de pozo, cuya calidad de agua era de alta dureza con contenido de carbonatos, hierro y manganeso. Las unidades de tratamiento estuvieron conformadas por 01 cascada de aireación, 02 sedimentadores convencionales, 03 filtros rápidos de 9 m<sup>3</sup> cada uno y 01 cámara de desinfección.

Para el año 1980, se cambia la fuente de agua de pozo por la fuente de agua superficial del Lago Titicaca, cuyas características son muy diferentes a las de los pozos. La evaluación de esta planta está a una capacidad de tratamiento con un caudal de 60 l/s como máximo.

En el año 2012 fue rediseñado mediante el programa “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) del gobierno peruano, aumentando su capacidad de tratamiento hasta 150 l/s, el cual cuenta con las siguiente unidades de tratamiento: 01 aireador tipo cascada, 04 unidades de floculación lenta mecánica, 04 unidades de floculación rápida mecánica, 04 unidades de sedimentación, 03 unidades de filtración, 01 cisterna de almacenamiento y 01 estación de bombeo, parte del caudal del agua captada es tratada en este módulo, las cuales se describe a continuación:

##### 3.2.2.1.1. Aireador Tipo Cascadas.

Romero (1999), al respecto menciona que en purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación al proceso en el cual el agua es puesta en contacto con el aire



con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella, en resumen, es el proceso de introducir airea al agua. Las funciones más importantes de la aireación son:

Transferir oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto (OD).

Disminuir la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Disminuir la concentración de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Remover gases como metano ( $\text{CH}_4$ ), cloro ( $\text{Cl}_2$ ) y amoniaco ( $\text{NH}_3$ ).

Oxidar minerales disueltos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y manganeso ( $\text{MnO}_2$ ).

Remover compuestos orgánicos volátiles (COV).

Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

“La aireación cumple con sus objetivos de purificación del agua mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por el proceso de oxidación de los metales y gases” (Romero, 1999).

“En este tipo de aireadores el agua se deja caer en láminas o capas delgadas, sobre uno o más escalones de concreto. El aireador de cascada produce una pérdida de energía grande, pero es muy sencillo” (Romero, 2000).

“El aireador de cascadas se diseña como una escalera; entre más grande sea el área horizontal más completa es la aireación. La aireación ocurre en las áreas de salpicamiento en forma similar a la que ocurre en un río turbulento; por ello se acostumbra colocar salientes, bloques o vertederos en los extremos de los escalones” (Romero, 1999).

#### 3.2.2.1.2. Flocculadores Mecánicos.

Según Vargas et al., (2004), afirma que “el objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia”.



Arboleda (2000), “Se entiende por floculadores mecánicos aquellos que requieren una fuente de energía externa que mueva un agitador en un tanque o en una serie de tanques, en donde el agua permanece por un tiempo determinado”.

Según el sentido del movimiento del agitador se clasifican en: giratorios y reciprocantes; los primeros pueden ser de baja velocidad de rotación (paletas) o de alta velocidad de rotación (turbinas); pueden ser de eje horizontal o de eje vertical; los segundos consisten ya sea en parrillas de madera que suben y bajan alternativamente o en sistemas oscilantes como cintas que van y vienen dentro del tanque. En ambos casos, la energía comunicada a la masa líquida es directamente proporcional a la energía con que se desplaza el elemento mecánico dentro de ella (Espinosa y Medina, 1998).

En el módulo I, se cuenta con 04 unidades de floculación rápida y 04 unidades de floculación lenta, todos de accionar mecánico por motores de 1 HP, en el año 2012 fue rediseñado la unidad de sedimentación convencional mediante el programa “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) del gobierno peruano, en donde se llegó a modificar la infraestructura de sedimentación, insertando antes del sedimentador las 8 unidades de floculación mecánica, los cuales cuenta con motorreductores enlazados a un tablero de mando y control.

Los motorreductores de los floculadores mecánicos rápidos, operan a 300 rpm cada uno, mientras que los motorreductores de los floculadores mecánicos lentos, operan entre 70 a 100 rpm cada uno.

En los floculadores mecánicos rápidos el principio técnico es el de mezcla rápida y aglomeración de partículas, dentro de ellos los sólidos suspendidos totales (SST) como también la aglomeración de organismos de vida acuática como los macroinvertebrados y algas hasta un tamaño y peso específico adecuado, luego de un periodo de retención de



aproximadamente de 10 minutos, el agua en pleno proceso de formación de flóculos son transferidos través de canales hacia los floculadores lentos con el fin de obtener un flóculo de tamaño y peso específico adecuado que pueda sedimentar fácilmente.

#### 3.2.2.1.3. Sedimentadores.

La sedimentación es la operación por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento, dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como pre sedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación (Arboleda, 2000).

“En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, o forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que ellas se adhieren unas con otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido” (Romero, 1999)

El módulo I, cuenta cuatro unidades de sedimentación hidráulica de flujo vertical. En el año 2012 fue rediseñado la unidad de sedimentación convencional mediante el programa “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del Ministerio de Vivienda,



Construcción y Saneamiento (MVCS) del gobierno peruano, construyéndose 04 unidades sedimentación hidráulica de flujo vertical de alta tasa con tuberías de recolección de agua clarificada.

El agua floculada se distribuye verticalmente a través de una tubería de PVC de DN 400 mm (16 pulg) con orificios laterales de 50 mm (2 pulg), el cual se encuentra instalado en el fondo de estas unidades, el agua floculada asciende desde la parte inferior del sedimentador, y por efecto de la gravedad estos flóculos precipitan al interior del sedimentador, el agua clarificada posteriormente es recogida a través de tuberías cribadas de 150 mm (6 pulg) con orificios de 25 mm (1 pulg) y conducida al canal intermedio de recolección mediante el cual el agua clarificada es transportada hacia las unidades de filtración.

Cada unidad de sedimentación tiene una capacidad máxima de tratamiento de 37.5 l/s, en total los 4 suman una capacidad máxima de 150 l/s, estas unidades cumplen la función de separar los flóculos, arena, partículas suspendidas en el agua por gravedad, con el fin de evitar el taponamiento continuo de las unidades de filtración, y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento.

#### 3.2.2.1.4. Filtros Rápidos.

Maldonado et al., (2004), describe que en el proceso de filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad.



Arocha (1977), considera que el filtro rápido por gravedad es el tipo de filtro más usado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas: filtración y lavado.

En un filtro rápido, el final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienzan a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Generalmente, cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración. Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de los canales de lavado.

En el módulo I, se cuenta con tres unidades de filtración rápida, con un área filtrante total de 27 m<sup>2</sup>, cada filtro cuenta con 9 m<sup>2</sup> de área de filtración, en el año 2012, a estas unidades de filtración se llegaron a cambiar el lecho de soporte y el lecho de medio filtrante, mediante el programa “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) del gobierno peruano, el lecho de soporte cuenta con grava de tipo canto rodado de diámetros diferentes, empezando de abajo hacia arriba desde el fondo tipo Wheeler la primera capa tiene una altura de 12,5 cm, las tres capas siguientes tienen una altura de 7,5 cm, y la quinta capa que viene a ser el lecho filtrante tiene una altura de 65 cm, el material de este último es arena Cuarzo Sílice con un tamaño efectivo de 0,9 mm a 1,10 mm y con coeficiente de uniformidad < a 1,5, a detalle se describe en la tabla 7.



*Tabla 7: Características del lecho de soporte y lecho filtrante de los filtros rápidos en el módulo I*

Capas (Lecho de Soporte)	Espesor (cm)	Tamaño (mm)	Tamaño (pulg)
1. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	12,5	31,75 - 25,40	1¼ - 1
2. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	7,5	25,40 - 15,90	1 – 0 5/8
3. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	7,5	15,90 - 9,50	0 5/8 – 0 3/8
4. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	7,5	9,50 - 4,80	0 3/8 – 0 3/16
Capas (Lecho filtrante)	Espesor (cm)	Tamaño (mm)	
1. <sup>a</sup> (Cuarzo Sílice)	65	0,9 – 1,10	

Fuente: EMSAPUNO S.A

Para el lavado de estas de estas unidades de filtración se cuenta con un tanque elevado de 40 m<sup>3</sup>, donde se almacena agua potable con el cual se realiza el lavado de filtros en sentido ascendente, posteriormente el agua de lavado de los filtros es evacuada a la red de alcantarillado. ésta forma de lavado es eficiente logrando una expansión de 25% a 30% del medio filtrante, manteniéndose limpio el lecho de estas unidades con carreras de filtración adecuadas.

#### 3.2.2.1.5. Almacenamiento.

El agua filtrada es conducida de cada unidad de filtración a través de tuberías de 250 mm (10 pulg) hacia una cisterna de almacenamiento subterránea de capacidad de 1000 m<sup>3</sup>, en el ingreso de agua a esta unidad de almacenamiento se dosifica el desinfectante cloro gas a través de difusores, en donde se le da tiempo de contacto de 5 minutos, tiempo necesario para una efectiva acción como bactericida, finalmente el agua potable es impulsada por medio de equipos de bombeo de tipo turbina vertical hacia las cámara de carga I, para luego ser distribuido a los reservorios R-Chanu Chanu (Cap. 320 m<sup>3</sup>), R- Chacarilla (Cap. 2500 m<sup>3</sup>) y redes de distribución derivados de la línea de conducción, previo control de calidad mediante la comprobación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que cumplan con las normas de calidad nacional e internacional y monitoreado por el área de control de calidad. En el anexo 3, se ilustra en

la figura 5 el Módulo I de Tratamiento de Agua (Planta Aziruni) y en las figuras 9, 10, 11, 12 y 13 las unidades de tratamiento de este módulo.

### 3.2.2.2. *Módulo II de Tratamiento de Agua.*

Esté módulo de tratamiento, es del tipo de planta de tratamiento convencional, construida en los años 1996 al 1998, puesta en operación en el año 1999, se compone de 01 canal de ingreso tipo parshall y de unidades de tratamiento como 01 floculador vertical hidráulico, 07 filtros rápidos y 01 cámara de desinfección. El caudal de diseño de la planta es de 300 l/s.

#### 3.2.2.2.1. Canal de Ingreso Tipo Parshall.

Pedroza (2001), conceptualiza al canal tipo Parshall (Aforador) como una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales: Transición de entrada, Sección convergente, Garganta y Sección divergente; en la Transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, comuna pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular; en la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo; en la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente; en cualquier parte del aforador, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular; fundamentalmente, el aforador es una reducción de la sección que obliga al agua a elevarse o a “remansarse”, y volver a caer hasta la elevación que se tenía sin la presencia del aforador.

En el módulo II esta unidad hidráulica es de material de concreto, ubicada en el segundo piso del edificio denominado sala química, el agua cruda que llega desde captación Chimu ingresa a dicha infraestructura y al pasar por esta unidad a la salida de este (Sección divergente), se crea un resalto hidráulico, el mismo que es aprovechado



para realizar la mezcla rápida y homogénea de los insumos químicos y el agua cruda, estos insumos son dosificados mediante una tubería cribada de PVC de 25 mm (1 pulg), la que está instalada en el medio de la garganta del Parshall, actualmente en esta unidad no se determina el caudal de agua que ingresa de la captación Chimu, en vista que el caudal de ingreso es controlado a la salida de la captación Chimu con un sistema de medición ultrasónica instalado en la línea de impulsión (SCH – 40) de 600 mm de diámetro (24 pulg).

#### 3.2.2.2.2. Floculador Vertical Hidráulico.

Romero (1999), menciona que los floculadores hidráulicos más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. En el floculador de flujo vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, pantallas o baffles que dividen el tanque. En general, los floculadores hidráulicos, con una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de baffles para asegurar suficientes curvas, proveen una floculación efectiva.

En el módulo II, el floculador vertical hidráulico, está construido de concreto armado, con 12 tramos verticales (Celdas de floculación), cada celda dividido con pantallas de concreto de espesor de 10,5 cm, su función principal es la de realizar la mezcla lenta produciendo la aglomeración y formación de flóculos hasta un tamaño y peso específico adecuado para su posterior sedimentación y retención en las unidades de filtración. Tiene un tiempo de retención aproximado de 12 minutos.

#### 3.2.2.2.3. Filtros Rápidos.

El módulo II cuenta con 07 unidades de filtración de rápida de flujo descendente y con tasa declinante, tienen una velocidad de operación de 149 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, cada uno cuenta con un área filtrante de 24 m<sup>2</sup>; en el año 2012 las unidades de filtración se llegaron a cambiar en forma íntegra, tanto para el lecho de soporte y para el lecho filtrante, se



realizaron cambio de válvulas de salida (Válvulas tipo mariposa de DN 500 mm (20 pulg) y las de ingreso (Válvulas tipo mariposa de DN 400 mm (16 pulg), el cambio e instalación de tubería de desagüe, como también se instaló un sistema de lavado con aire, estos cambios se realizaron con el programa “Mantenimiento de la Infraestructura Sanitaria” del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) del gobierno peruano, puesto que existía deficiencias de operación dentro de ellos la deficiencia en el proceso de lavado de filtros, no contaba con la expansión mínima de lecho filtrante, por consecuencia la carrera de filtración era muy corta, y la pérdida de agua de lavado de filtros llegaba a 2 000 m<sup>3</sup>/día que representa el 10 % de la producción. Con todos estos trabajos se llegó a recuperar la capacidad de tratamiento que es de 300 l/s, así mismo la reducción de pérdidas de agua al 0 %.

En estas unidades el lecho filtrante es arena cuarzo sílice con un tamaño efectivo de 0,9 mm a 1,10 mm, una altura de 65 cm y coeficiente de uniformidad <1,5, el lecho de soporte cuenta con grava de diámetros diferentes conformando por 8 capas, cada uno con una altura de 10,0 cm, la base del filtro está constituido por viguetas triangulares con toberas de filtro con ranuras verticales para la salida de agua filtrada de ancho de 2 mm x 22 mm de altura, en cuya superficie se encuentra instalada los tubos difusores de aire de DN: 110 mm (4 pulg) de material PVC; cada tubo tiene 6 líneas, en cada línea se hizo la perforación cada 5 cm linealmente con un total de 110 agujeros por línea, lo que hace un total de 660 orificios, y cada orificio tiene un diámetro de 5 mm (0,5 cm), en cada filtro se instaló 12 tubos, por consecuente el total de orificios que contiene el sistema de tuberías instaladas para la aireación es de 7 920 orificios, se describe a detalle en la tabla 8 las características del lecho de soporte y lecho filtrante.

*Tabla 8: Características del lecho de soporte y lecho filtrante de los filtros rápidos en el módulo II*

Capas (Lecho de Soporte)	Espesor (cm)	Tamaño (mm)	Tamaño (pulg)
1. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	50,8 - 38,10	2 - 1½
2. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	38,10 - 31,75	1½ - 1¼
3. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	31,75 - 25,40	1¼ - 1
4. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	25,40 - 19,05	1 - ¾
5. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	19,05 - 12,70	¾ - ½
6. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	12,70 - 6,35	½ - ¼
7. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	6,35 - 3,18	¼ - 1/8
8. <sup>a</sup> Capa (Grava – Tipo canto rodado)	10	3,18 - 1,59	1/8 - 1/16
Capas (Lecho filtrante)	Espesor (cm)	Tamaño (mm)	
1. <sup>a</sup> Capa (Cuarzo Sílice)	70	0,9 - 1,10	

Fuente: EMSAPUNO S.A

#### 3.2.2.2.4. Cámara de Desinfección o de Contacto.

Barrenechea et al., (2004), describe que “la cámara de desinfección, o también denominada cámara de contacto tiene por finalidad promover el tiempo de contacto necesario para permitir la acción bactericida del cloro con un máximo de eficiencia”.

Del mismo modo que para un floculador, las cámaras de contacto deben ser objeto de un diseño hidráulico cuidadoso, en la cámara de contacto el difusor de cloro se ubica al inicio de la cámara, seguido de un resalto hidráulico para promover una mezcla interna entre el cloro y el agua. Normalmente, los difusores se diseñan para un tiempo de contacto de 20 a 30 minutos. En la mayoría de casos, esto es suficiente; sin embargo, para aguas muy contaminadas y con elevado tenor de materia orgánica, el tiempo de contacto exigido puede ser mayor, dependiendo de la cantidad de cloro que se aplique, del pH del agua y de los compuestos resultantes (cloro libre o cloraminas) (Barrenechea et al., 2004).

El volumen de la cámara de contacto puede variar si antes de los centros de consumo existen líneas muy largas de aducción o reservorios de distribución, que permitan un tiempo de contacto suficiente. En el diseño de la cámara de contacto se debe procurar obtener el máximo rendimiento hidráulico, de modo que el tiempo real de



residencia se aproxime al tiempo nominal  $Q/V$ , con un mínimo de espacios muertos y con un flujo de características próximas al ideal-flujo de pistón (Barrenechea et al., 2004).

La forma del tanque de contacto y la buena ubicación de las pantallas son esenciales para un buen rendimiento hidráulico. Las entradas y salidas bien situadas también son importantes para reducir las zonas muertas y los cortocircuitos.

Una cámara de contacto diseñada de modo semejante a un floculador hidráulico de pantallas puede tener una buena eficiencia, siempre que se tome la relación longitud/ancho de cada canal lo más alta posible.

Se ha encontrado que una relación de 40:1 es la necesaria para que se alcance el máximo rendimiento hidráulico, con un flujo de características próximas al ideal.

Valdez (1994), menciona que la semejanza de una cámara de contacto ideal con un floculador de pantallas reside apenas en la aproximación al flujo de pistón deseable. Por lo tanto, las cámaras de contacto no deben diseñarse como cámaras de mezcla. El cloro, como ya se enfatizó previamente, debe mezclarse totalmente con el agua en la entrada de la cámara de contacto y, como su acción bactericida es más eficiente a un pH bajo, la aplicación de un alcalinizante para la corrección del pH debe hacerse a la salida de la cámara de contacto.

Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (2014), considera que la desinfección es un proceso clave en cualquier sistema de tratamiento de agua para la producción de agua segura para consumo humano.

OMS (2006), La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro. La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo 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 química de un sistema de abastecimiento de agua de consumo que presenta contaminación fecal reducirá el riesgo general de enfermedades, pero no garantizará necesariamente la seguridad del suministro. Por ejemplo, la desinfección con cloro del agua de consumo tiene una eficacia limitada frente a los protozoos patógenos, en particular *Cryptosporidium* y frente a algunos virus. La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante. Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro. Una estrategia general de gestión eficaz añade a la desinfección, para evitar o eliminar la contaminación microbiana, barreras múltiples, como la protección del agua de origen y operaciones de tratamiento adecuadas, así como la protección del agua durante su almacenamiento y distribución. 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.

OMS (2006), La cloración puede realizarse mediante gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico, y mediante generadores de cloro in situ. El gas cloro licuado se suministra comprimido en recipientes a presión. Un clorador extrae el gas del cilindro y lo añade al agua de forma dosificada, simultáneamente controlando y midiendo el caudal de gas. La solución de hipoclorito



sódico se dosifica mediante una bomba dosificadora eléctrica de desplazamiento positivo o mediante un sistema de suministro por gravedad. El hipoclorito cálcico debe disolverse en una porción de agua y luego mezclarse con el caudal principal. El cloro, ya sea en forma de gas cloro de un cilindro, de hipoclorito sódico o de hipoclorito cálcico, se disuelve en el agua y forma ión hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) y ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ).

Pueden utilizarse diversas técnicas de cloración, como son la cloración a la dosis crítica (breakpoint), la cloración marginal y la supercloración - descloración. La cloración a la dosis crítica es un método en el que se aplica una dosis de cloro suficiente para oxidar rápidamente todo el nitrógeno amónico presente en el agua y dejar una concentración adecuada de cloro libre residual para proteger el agua de la recontaminación entre el punto de cloración y el punto de consumo. La supercloración – descloración consiste en añadir una dosis grande de cloro para lograr una reacción química y desinfección rápidas, seguida de una reducción del exceso de cloro libre residual. Es importante eliminar el exceso de cloro para evitar problemas organolépticos. Se utiliza principalmente cuando la carga bacteriana es variable o cuando el tiempo de retención en un depósito es insuficiente. La cloración marginal se utiliza en los sistemas de abastecimiento de agua de calidad alta y consiste simplemente en añadir una dosis de cloro que genere la concentración deseada de cloro libre residual. En este tipo de aguas, la demanda de cloro es muy baja, y es posible que ni siquiera llegue a alcanzarse el punto crítico (breakpoint) (OMS, 2006)

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa también como oxidante y puede eliminar o ayudar a eliminar algunas sustancias químicas; por ejemplo, puede descomponer los plaguicidas fácilmente oxidables, como el aldicarb; puede oxidar especies disueltas, como el manganeso (II), y formar productos insolubles que pueden eliminarse mediante una filtración posterior; y



puede oxidar especies disueltas a formas más fáciles de eliminar (por ejemplo, el arsenito a arseniato). Un inconveniente del cloro es su capacidad de reaccionar con materia orgánica natural y producir trihalometanos y otros SPD halogenados. No obstante, la formación de subproductos puede controlarse optimizando el sistema de tratamiento (OMS, 2006).

En el módulo II, la cámara de desinfección de cloro es de flujo horizontal, el cual está construido en material concreto armado, ubicado posteriormente a la salida del agua proveniente de los filtros, en dicha cámara ingresa el agua filtrada y se mezcla con el cloro gaseoso con la finalidad de eliminar por completo la presencia de organismos bacterianos, esta operación de contacto entre el agua y el cloro aseguran la inocuidad dentro de la calidad microbiológica del agua producida (Agua potable). Las dosificaciones se manejan bajo monitoreo en coordinación directa con el área de control de calidad. A la salida de esta unidad se encuentra el punto de toma de muestra de agua donde el personal encargado de control de calidad realiza su muestreo respectivo. El tiempo de contacto según el recorrido hidráulico dentro de la cámara es de 12 minutos, terminado el recorrido el agua es apta para consumo humano, como producto es denominado “Agua Potable”, la misma que es almacenada en las respectivas cisternas de almacenamiento de 1 000 y 1 250 m<sup>3</sup> de capacidad.

Para poder inyectar el cloro gaseoso a la cámara de desinfección u contacto, se cuenta con una infraestructura denominada “Sala de Cloración”, en esta sala se encuentran el desinfectante cloro gaseoso y el sistema de cloración.

Esta sala está construida de material de concreto armado, cuenta con una puerta de ingreso y tres ventanas de ventilación rectangular ubicadas en las partes bajas de la pared, en la sala de cloración se encuentra instalado el sistema de cloración, el cual se compone de 01 dosificador de cloro del tipo de inyección al vacío de rango de operación

de 0 a 500 lb/d, este se instala en la válvula de salida del gas de la cisterna de cloro, la cual tiene un contenido neto de cloro de 907 kg, esta cisterna se encuentra encima de una balanza mecánica de capacidad de 2 t, para facilitar el cambio e instalación de las cisternas de cloro cada vez que se agotan , se cuenta con un sistema de teclé eléctrico de cadena de carga neta de 3 t, instalado en perfil H que se encuentra anclado en el techo de la sala de cloración. El dosificador de cloro para realizar la inyección se compone de un sistema hidráulico de tuberías y accesorios tales como 01 filtro de gases, 01 manómetro, 01 rotámetro, y 01 sistema electrónico de dosificación, entre otras válvulas de control, el diámetro de las tuberías instaladas es de 25,40 mm (1 pulg), el material de las tuberías y accesorios es de PVC tipo hidro.

#### 3.2.2.2.5. Almacenamiento.

El almacenamiento del agua potable en la planta Aziruni se realiza en 02 cisternas de material de concreto armado, la primera tiene una capacidad volumétrica de 1000 m<sup>3</sup> y la segunda de 1250 m<sup>3</sup>. Encima de cada cisterna de almacenamiento se encuentra instalado las estaciones de bombeo I, II y III, de las cuales se realiza la impulsión del agua potable hacia las cámaras de carga rompe presión y de ellas distribuir el agua a los respectivos reservorios para su distribución hacia la población. En el anexo 3, se ilustra en la figura 6 el Módulo II de Tratamiento de Agua (Planta Aziruni) y en las figuras 14, 15, 16, 17 y 18 las unidades de tratamiento de este módulo.

#### 3.2.2.3. *Estaciones de Bombeo.*

##### 3.2.2.3.1. Estación de Bombeo – Módulo I.

Consta de una caseta de bombeo nueva construida en el año 2011 y puesta en funcionamiento en el año 2013, la construcción fue en albañilería reforzada en las paredes, columnas y vigas, las dimensiones son de 5,50 m de ancho x 13,90 m de largo y 4,90 m de altura, techo es en losa maciza con piso de cemento pulido, debajo del piso se



tiene construido un pozo de succión de concreto armado de 1,50 m de ancho x 6,40 m de largo con una profundidad de 4,60 m, sobre la que se está instalado los 04 equipos de bombeo, en el techo se cuenta con sistema de tecele eléctrico de cadena de carga neta de 5 t, instalado en perfil H, además del sistema de iluminación interior, sistema de tomacorrientes, puertas y ventanas metálica con rejillas.

Esta estación de bombeo tiene 04 equipos bombeo compuesto por Motor y Bomba tipo turbina vertical, equipos que han sido renovados en febrero del año 2019, el trabajo de operación es de 24 horas de forma alternada cada 02 electrobombas en un turno de 12 horas, el caudal de bombeo tiene una variación de 290 a 310 l/s, el cual es modificable gracias a la operación del variador de frecuencia que se encuentra instalado en el tablero de mando y control propio de cada equipo de bombeo, el caudal es bombeado según la demanda de los reservorios de almacenamiento para su posterior distribución hacia la población, en caso de cortes de suministro de energía eléctrica se procede a realizar el bombeo con el apoyo del equipo de grupo electrógeno, sin embargo este último equipo solo tiene la capacidad de poder realizar el bombeo de una sola electrobomba; Desde esta estación se bombea agua a la cámara de carga 1, denominado cámara de carga “Chejoña”.

Cada equipo de bombeo a la salida de su línea de impulsión de 250 mm (10 pulg) cuenta con sus respectivos accesorios hidráulicos como válvula de paso, válvula check, entre otros como las uniones dresser que permiten el ensamblado con el juego de tuberías que empalman a la salida general de la línea de impulsión, esta última cuenta con 01 medidor de caudal electrónico y un 01 manómetro digital, seguidamente de accesorios hidráulicos necesarios para un correcto bombeo como son la válvula de aire, entre otras como válvulas de paso necesarias para su correcta operación de bombeo.

En la tabla 9 se detalla las características técnicas de los equipos instalados.

*Tabla 9: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Bombeo del Módulo I*

Descripción	Características	Equipo N° 1	Equipo N° 2	Equipo N° 3	Equipo N° 4	Estado Operacional	Observaciones
Bomba tipo	Tipo	VTP	VTP	VTP	VTP		
Turbina	Caudal	110 l/s	110 l/s	110 l/s	110 l/s	Operativos	
Vertical	ADT	85 mca	85 mca	85 mca	85 mca		La operación es cada 2 electrobombas en un turno de 12 horas, con un caudal de 160 l/s
	Potencia	180 HP	180 HP	180 HP	180 HP		
	Voltaje	440 VAC	440 VAC	440 VAC	440 VAC		
Motor	Corriente	210 A	210 A	210 A	210 A		
Eléctrico	Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	Operativos	
Trifásico	Sistema	Trifásico	Trifásico	Trifásico	Trifásico		
	Arrancador	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia		
Tablero de Mando y Control	Potencia	180 HP	180 HP	180 HP	180 HP	Operativos	

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 3.2.2.3.2. Estación de Bombeo – Módulo II.

Consta de una caseta de bombeo nueva construida en el año 1992 y renovada el año 2012, la construcción fue en albañilería reforzada en las paredes, columnas y vigas, las dimensiones son de 1,50 m de ancho x 1,50 m de largo y 4 m de altura, techo es en losa maciza con piso de cemento pulido, debajo del piso se tiene construido un pozo de succión de concreto de una profundidad de 6,80 m, sobre la que se está instalado los 04 equipos de bombeo, en el techo no se cuenta con sistema de teclé eléctrico, cuenta además con sistema de iluminación interior, sistema de tomacorrientes, puertas y ventanas metálica con rejillas.

Esta estación de bombeo tiene 04 equipos bombeo compuesto por Motor y Bomba tipo turbina vertical, equipos que han sido renovados en febrero del año 2019, el trabajo de operación es de 24 horas de forma alternada cada 02 electrobombas en un turno de 12 horas, el caudal de bombeo tiene una variación de 290 a 310 l/s, el cual es modificable gracias a la operación del variador de frecuencia que se encuentra instalado en el tablero

de mando y control propio de cada equipo de bombeo, el caudal es bombeado según la demanda de los reservorios de almacenamiento para su posterior distribución hacia la población, en caso de cortes de suministro de energía eléctrica no se puede realizar el bombeo, en vista que no se cuenta con el apoyo de ningún equipo de grupo electrógeno.

Desde esta estación se bombea agua a la cámara de carga 2, denominado cámara de carga “Huayna Pucara”.

Cada equipo de bombeo a la salida de su línea de impulsión de 250 mm (10 pulg) cuenta con sus respectivos accesorios hidráulicos como válvula de paso, válvula check, entre otros como las uniones dresser que permiten el ensamblado con el juego de tuberías que empalman a la salida general de la línea de impulsión, esta última cuenta con 01 medidor de caudal electrónico y un 01 manómetro digital, seguidamente de accesorios hidráulicos necesarios para un correcto bombeo como son la válvula de aire, entre otras como válvulas de paso necesarias para su correcta operación de bombeo.

En la tabla 10 se detalla las características técnicas de los equipos instalados.

*Tabla 10: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Bombeo del Módulo II*

Descripción	Características	Equipo N° 1	Equipo N° 2	Equipo N° 3	Equipo N° 4	Estado Operacional	Observaciones
Bomba tipo	Tipo	VTP	VTP	VTP	VTP		
Turbina Vertical	Caudal	110 l/s	110 l/s	110 l/s	110 l/s	Operativos	
	ADT	140 mca	140 mca	140 mca	140 mca		
	Potencia	250 HP	250 HP	250 HP	250 HP		La operación es cada 2
	Voltaje	440 VAC	440 VAC	440 VAC	440 VAC		
Motor Eléctrico	Corriente	298 A	298 A	298 A	298 A		electrobombas
Trifásico	Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	Operativos	en un turno de
	Sistema	Trifásico	Trifásico	Trifásico	Trifásico		12 horas, con un
	Arrancador	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia		caudal de 160 l/s
Tablero de Mando y Control	Potencia	250 HP	250 HP	250 HP	250 HP	Operativos	

Fuente: EMSAPUNO S.A



### 3.2.2.3.3. Estación de Bombeo – Módulo III.

Consta de una caseta de bombeo nueva construida en el año 2011 y puesta en funcionamiento en el año 2013, la construcción fue en albañilería reforzada en las paredes, columnas y vigas, las dimensiones son de 5,50 m de ancho x 13,90 m de largo y 4,90 m de altura, techo es en losa maciza con piso de cemento pulido, debajo del piso se tiene construido un pozo de succión de concreto armado de 1,50 m de ancho x 6,40 m de largo con una profundidad de 4,60 m, sobre la que se está instalado los 04 equipos de bombeo, en el techo se cuenta con sistema de teche eléctrico de cadena de carga neta de 5 t, instalado en perfil H, además del sistema de iluminación interior, sistema de tomacorrientes, puertas y ventanas metálica con rejillas.

Esta estación de bombeo tiene 04 equipos bombeo compuesto por Motor y Bomba tipo turbina vertical, equipos que han sido instalados en el año 2012, el trabajo de operación es de 2 horas de forma alternada cada 02 electrobombas en un turno de 12 horas, el caudal de bombeo tiene una variación de 70 a 90 l/s, el cual es modificable gracias a la operación del variador de frecuencia que se encuentra instalado en el tablero de mando y control propio de cada equipo de bombeo, el caudal es bombeado según la demanda de los reservorios de almacenamiento para su posterior distribución hacia la población, en caso de cortes de suministro de energía eléctrica no se puede realizar el bombeo, en vista que no se cuenta con el apoyo de ningún equipo de grupo electrógeno.

Desde esta estación se bombea agua directamente al Reservorio de Almacenamiento y Distribución, denominado “Jayllihuaya”.

Cada equipo de bombeo a la salida de su línea de impulsión de 250 mm (10 pulg) cuenta con sus respectivos accesorios hidráulicos como válvula de paso, válvula check, entre otros como las uniones dresser que permiten el ensamblado con el juego de tuberías que empalman a la salida general de la línea de impulsión, esta última cuenta con 01

medidor de caudal electrónico y un 01 manómetro digital, seguidamente de accesorios hidráulicos necesarios para un correcto bombeo como son la válvula de aire, entre otras como válvulas de paso necesarias para su correcta operación de bombeo.

En la tabla 11 se detalla las características técnicas de los equipos instalados.

*Tabla 11: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Bombeo del Módulo III*

Descripción	Características	Equipo N° 1	Equipo N° 2	Equipo N° 3	Equipo N° 4	Estado Operacional	Observaciones
Bomba tipo Turbina Vertical	Tipo	VTP	VTP	VTP	VTP	Operativos	La operación es cada 2 electrobombas en un turno de 12 horas, con un caudal de 70 a 90 l/s
	Caudal	90 l/s	90 l/s	90 l/s	90 l/s		
	ADT	100 mca	100 mca	100 mca	100 mca		
	Potencia	120 HP	120 HP	120 HP	120 HP		
	Voltaje	440 VAC	440 VAC	440 VAC	440 VAC		
Motor Eléctrico Trifásico	Corriente	200 A	200 A	200 A	200 A	Operativos	12 horas, con un caudal de 70 a 90 l/s
	Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz		
	Sistema	Trifásico	Trifásico	Trifásico	Trifásico		
	Arrancador	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia		
Tablero de Mando y Control	Potencia	120 HP	120 HP	120 HP	120 HP	Operativos	

Fuente: EMSAPUNO S.A

En el anexo 3, se ilustra en las figuras 19, 20, 21, 22 las estaciones de bombeo (Captación de Agua Chimu y Planta Aziruni).

#### 3.2.2.4. *Estaciones de Rebombeo.*

Las estaciones de rebombeo están conformadas por los reservorios de almacenamiento y distribución en los cuales se tienen estaciones de bombeo para dotar de agua a otros reservorios instalados en las partes altas de la ciudad de Puno. Entre los que se tiene son:

3.2.2.4.1. Estacion de Rebombear R-04 (Manto) al Reservorio R-02 (San Miguel).

En todas las estaciones de rebombear se llegaron a cambiar los equipos de bombeo e instalaciones electromecánicas en el año 2012, con la ejecución del proyecto de inversión pública: “Rehabilitación del sistema de abastecimiento de agua potable, Captación Chimu de la ciudad de Puno, Provincia de Puno”. Esta estación está constituida por 02 equipos de bombeo, acompañados de sus respectivos tableros de mando y control con potencia de 150 HP c/u, para una altitud de 80 mca y con caudales de bombeo de hasta 100 l/s para cada equipo. La línea de impulsión está conformada por 1 392 m de tubería de asbesto cemento de 300 mm (12 pulg) de diámetro.

En la tabla 12 se detalla las características técnicas de los equipos instalados.

*Tabla 12: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Rebombear del R-04 (Manto)*

Descripción	Características	Equipo N° 1	Equipo N° 2	Estado Operacional	Observaciones
Bomba tipo	Tipo	CH	CH		
Turbina Vertical	Caudal	100 l/s	100 l/s	Operativos	
	ADT	80 mca	80 mca		
	Potencia	150 HP	150 HP		La operación es cada 2
	Voltaje	440 VAC	440 VAC		
Motor Eléctrico	Corriente	182 A	182 A	Operativos	electrobombas en un turno de 24 horas, con un caudal de 180 l/s
Trifásico	Frecuencia	60 Hz	60 Hz		
	Sistema	Trifásico	Trifásico		
	Arrancador	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia		
Tablero de Mando y Control	Potencia	150 HP	150 HP	Operativos	

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 3.2.2.4.2. Estacion de Rebombear R-02 (San Miguel) al Reservorio R-01 (Villa Paxa).

Está conformada por 02 equipos de bombeo, acompañados de sus respectivos tableros de mando y control con potencia de 75 HP c/u, para una altitud de 134 mca y con caudales de bombeo de hasta 26 l/s para cada equipo. La línea de impulsión está conformada por 3 197 m de tubería de PVC de 150 mm (6 in) de diámetro.

En la tabla 13 se detalla las características técnicas de los equipos instalados.

*Tabla 13: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Rebombear del R-02 (San Miguel)*

Descripción	Características	Equipo N° 1	Equipo N° 2	Estado Operacional	Observaciones
Bomba tipo	Tipo	CH	CH		
Turbina	Caudal	26 l/s	26 l/s	Operativos	
Vertical	ADT	134 mca	134 mca		
	Potencia	75 HP	75 HP		La operación es de 1 electrobomba en un turno de 12 horas, con un caudal de 22 l/s
	Voltaje	440 VAC	440 VAC		
Motor	Corriente	86.5 A	86.5 A		
Eléctrico	Frecuencia	60 Hz	60 Hz	Operativos	
Trifásico	Sistema	Trifásico	Trifásico		
	Arrancador	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia		
Tablero de Mando y Control	Potencia	75 HP	75 HP	Operativos	

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 3.2.2.4.3. Estacion de Rebombear RA-03 (Chacarilla) al Reservorio RA-05 (El Manto) y R-R-3 (Ricardo Palma).

Está estación cuenta con 04 equipos de bombeo, acompañados de sus respectivos tableros de mando y control con potencias de 55 HP para 02 equipos y 60 HP para otros 02 equipos, para una altitud de 104 mca y con caudales de bombeo de 23 y 66 l/s.

En la tabla 14 se detalla las características técnicas de los equipos instalados.

*Tabla 14: Características Técnicas de los Equipos instalados en la Estación de Rebombeo del RA-03 (Chacarilla)*

Descripción	Características	Equipo	Equipo	Equipo	Equipo	Estado Operacional	Observaciones
		N° 1	N° 2	N° 3	N° 4		
Bomba tipo	Tipo	CH	CH	CH	CH	Operativos	
Turbina	Caudal	66 l/s	66 l/s	66 l/s	66 l/s		
Vertical	ADT	120 mca	120 mca	120 mca	120 mca		
	Potencia	60 HP	60 HP	60 HP	60 HP		
Motor	Voltaje	440 VAC	440 VAC	440 VAC	440 VAC	Operativos	La operación es cada 2 electrobombas en un turno de 12 horas, con un caudal de 50 a 60 l/s
	Corriente	72 A	72 A	72 A	72 A		
Eléctrico	Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	Operativos	
	Sistema	Trifásico	Trifásico	Trifásico	Trifásico		
Trifásico	Arrancador	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia		
	Tablero de Mando y Control	Potencia	60 HP	60 HP	60 HP		

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 3.2.2.5. **Reservorios de Almacenamiento y Distribución.**

EMSAPUNO S.A, cuenta con 17 reservorios para el almacenamiento y distribución del agua potable hacia la población, de donde 01 reservorio es de tipo Tanque Elevado, los otros 16 reservorios son del Tipo Apoyado, todos en sección circular de material de concreto armado, actualmente todos los reservorios se encuentran operativos y en estado físico regular.

La siguiente tabla nos resume las características principales de cada reservorio y su distribución del agua potable hacia la población de Puno.

*Tabla 15: Características de los Reservorios y su Distribución del Agua Potable hacia la Población*

Reservorio		Fuente	Características			Estado Físico	Operación
Identificación	Ubicación		Capacidad (m³)	Tipo	Sección		
R-300 Elevado Aziruni	Urb. Tepro S/N (Salcedo)	Chimu	300	Tanque Elevado	Circular	Bueno	Almacenamiento 2 veces por día, posterior distribución a la población.



R-850 Parque Industrial	Urb. Industrial S/N (Salcedo)	Chimu	850	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
R-300 San Juan de Dios	Urb. San Juan de Dios (Rinconada - Salcedo)	Chimu	300	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
R-04 Manto	Urb. Manto 2000	Chimu	660	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento continuo en 24 horas, distribución por bombeo al Reservorio-02 y hacia la población.
R-05 Las Torres	Urb. San Carlos	Chimu	850	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución hacia la población.
R-320 Chanu Chanu	Urb. Chanu Chanu	Chimu	320	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento continuo en 24 horas, posterior distribución hacia la población.
R-02 San Miguel	Barrio San Miguel	Chimu	660	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento continuo en 24 horas, distribución por bombeo al Reservorio-01, Reservorios Aracmayo y hacia la población.
R-01 Villa Paxa	Barrio Villa Paxa	Chimu	300	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población, y distribución hacia el R-Aracmayo.
R-03 Ricardo Palma	Barrio Ricardo Palma	Chimu	850	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento 1 vez por día, posterior



							distribución a la población.
R-250 Ricardo Palma	Barrio Ricardo Palma	Chimu	250	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
R-2500 Chacarilla	Barrio Chacarilla	Chimu	2500	Apoyo	Circular	Bueno	Almacenamiento continuo en 24 horas, distribución por bombeo al Reservorio-1175, Reservorio R-250 Ricardo Palma y posterior distribución hacia la población.
R-1175	Barrio San Antonio	Chimu	1175	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
R-Aracmayo I	Barrio Virgen de Guadalupe	Chimu	225	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
R-Aracmayo II	Barrio Virgen de Guadalupe	Aracmayo	125	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución al Penal de Yanamayo.
R-Aracmayo III	Barrio Virgen de Guadalupe	Chimu	500	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
R-Habitud Totorani	Urb. Ciudad Humanidad - Totorani	Chimu	250	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.



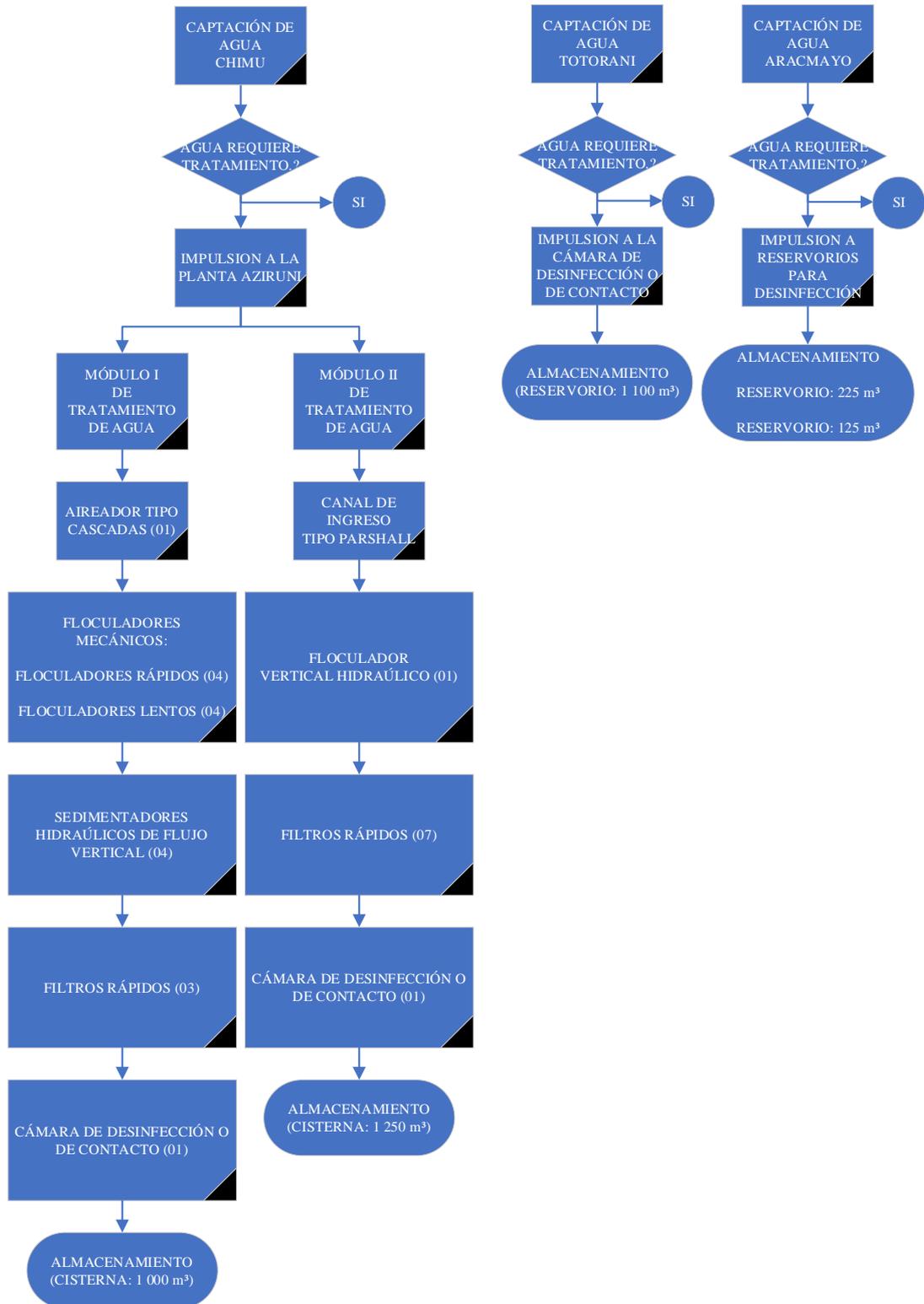
---

R-Totorani	Barrio Las Cruces	Totorani	1325	Apoyo	Circular	Regular	Almacenamiento 1 vez por día, posterior distribución a la población.
------------	-------------------	----------	------	-------	----------	---------	--

---

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 3.2.3. Diagrama de flujo del proceso de producción de agua potable en Planta Aziruni, Reservorio Totorani y Reservorio Aracmayo.



## CAPÍTULO IV

### 4.1. INSUMOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

Los insumos utilizados en los módulos de tratamiento I y II de la planta Aziruni, así como los insumos utilizados en el agua que abastecen al Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo, son insumos que han sido aprobados para el tratamiento de agua para consumo humano bajo legislación peruana mediante Normas Técnicas Peruanas por parte del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y deberán dar cumplimiento al Artículo 51 del Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A), el cual determina que todo insumo utilizado para el tratamiento de agua para consumo humano deberá contar su respectivo registro sanitario.

### 4.2. POLICLORURO DE ALUMINIO

La Norma Técnica Peruana: NTP 311.333:1999 (Revisión 2019), describe al policloruro de aluminio como un insumo químico inorgánico polimerizado a base de sales de aluminio, ampliamente usado como coagulante en sistemas de potabilización de aguas y tratamiento de aguas residuales, dentro del proceso de floculación contribuye a la remoción de sólidos suspendidos, color, turbidez y algunos otros contaminantes como partículas inorgánicas y/o orgánicas, este insumo desestabiliza los microorganismos y las partículas coloidales, permitiendo que estas se junten entre sí, formando coágulos que posteriormente se aglomeran conformando flóculos de mayor tamaño enviándolos hacia el fondo por efecto de la gravedad. Su formación depende de una gran variedad de condiciones como el pH, tipo de mezcla y el periodo de sedimentación.

#### 4.2.1. Características generales del Policloruro de Aluminio

##### 4.2.1.1. *Propiedades Físicas y Químicas.*

Las propiedades físicas y químicas del policloruro de aluminio pueden variar significativamente; Este producto se encuentra en solución acuosa:



- Aspecto : Líquido transparente
- Color : El color varía desde incoloro a ámbar
- Apariencia : De clara a turbia
- Densidad : 1,36 – 1,40 g/cm<sup>3</sup>
- Peso Molecular : 245, 642 g/mol
- pH : 2,73 a 25,3°C
- Aluminio : 15 a 23 +/- 0,5 como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> g/100g
- Basicidad : 38 – 48 g/100g

El policloruro de aluminio químicamente conocido como “Hidroxiclورو de Aluminio” y su abreviación es PACl según la norma ANSI/AWWA B408-10, comercialmente conocido como PAC.

El PACl es una sal básica del cloruro de aluminio, un polímero de Hidroxiclورو de Aluminio con fórmula: Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub>.5 H<sub>2</sub>O

En estado sólido puede alcanzar un contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 44 g/100 g.

#### 4.2.1.2. *Ventajas de Uso.*

Entre las ventajas que tiene el policloruro de aluminio frente a otros coagulantes son las siguientes:

- ✓ Genera un menor residual de aluminio
- ✓ Mejora la velocidad de formación de flóculos
- ✓ Mejora en la remoción de color o turbidez
- ✓ Genera mayor velocidad de sedimentación
- ✓ Requiere menores tiempos de mezclado para coagular
- ✓ Aumento en la remoción de Carbón Orgánico Total
- ✓ Mejora la eficiencia de la filtración
- ✓ Aumento de la operación de filtros
- ✓ Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros
- ✓ Reducción de lodos de un 25-75%
- ✓ Operación simplificada al eliminar reguladores de pH y ayudas de coagulación
- ✓ Trabaja en un amplio rango de pH



- ✓ No modifica el valor de pH del influente
- ✓ Menor costo de operación

#### 4.2.1.3. ***Presentación.***

Por su contenido de basicidad, es un producto bastante corrosivo, por cual es almacenado en recipientes de resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio (PRFV), estos ofrecen una excelente durabilidad y resistencia a los elementos, lo que los hace ideales para almacenamiento de líquidos en condiciones extremas como las del policloruro de aluminio.

El policloruro de aluminio se comercializa en diversas presentaciones como en cilindros de 270 kg, contenedores de 1000 kg, hasta cisternas de 30 t.

La materia prima para su fabricación es cualquier fuente de aluminio (como hidróxido de aluminio) y ácido clorhídrico. Ambos productos son colocados en el reactor químico y mantenidos a determinadas temperaturas y presiones mientras son agitados, produciendo el PAC al cabo de cierto tiempo. Las características tecnológicas de cada fabricante pueden variar. Generalmente el producto resultante es sometido a un filtro de bandas y luego almacenado para su uso. Algunos fabricantes ofrecen diferentes tipos de PAC según sea su contenido de óxidos útiles o su basicidad.

#### 4.2.1.4. ***Precauciones para su Manejo y Almacenaje.***

El personal que descarga los envases en los almacenes respectivos de la planta Aziruni para su manipulación cuentan con la ropa de seguridad adecuada como careta y lentes de protección facial, guantes de neopreno con protección térmica, traje de PVC y botas de seguridad. Es un producto altamente corrosivo para el ser humano.

Los envases son descargados sobre los pallets de madera debidamente acondicionados dentro del almacén de reactivos, este último es un ambiente donde la

temperatura ambiental no sobrepasa los 11 °C, verificando que exista recirculación de aire a través de las toberas tipo ventana ubicadas en la parte alta del almacén de insumos.

#### 4.2.1.5. ***Información sobre Riesgos y Efectos sobre la Salud.***

La exposición directa con la piel (Ojos en especial) produce quemaduras e irritación, la inhalación produce irritación en las membranas mucosas, la ingesta de presentarse tendría efectos de dolores de cabeza, tos y hasta náuseas, debe advertirse que, si se ha tenido una exposición altamente peligrosa, se deberá realizar los primeros auxilios respectivos realizados por un especialista médico.

#### 4.2.2. **Concentración de Policloruro de Aluminio utilizado en la Planta Aziruni**

La concentración a utilizarse en la planta Aziruni, depende de las pruebas de jarras realizadas en el laboratorio de control de calidad de EMSAPUNO, se realiza de acuerdo a su cronograma anual, éstas se realizan 01 cada inicio de trimestre.

La concentración óptima es el resultado de las pruebas de jarras para la calidad de agua cruda propia para la fuente del Lago Titicaca (Chimu), estas se utilizan en las etapas de coagulación y floculación, las cuales oscilan entre 6 a 8 mg/l, esta concentración posteriormente es aplicada en el proceso de tratamiento del agua. En el anexo 1, se muestra el formato de ejecución de la prueba de jarras realizado en el laboratorio de EMSAPUNO.

### 4.3. **SULFATO DE COBRE**

La Norma Técnica Peruana: NTP 311.328 1997 (Revisión 2018), describe al sulfato de cobre como un insumo químico multipropósito, utilizado como alguicida dentro del tratamiento del agua usado para el control puntual de algas.

El sulfato de cobre es muy tóxico para los peces y para los invertebrados acuáticos.



Su efectiva acción alguicida y fungicida dependen de su concentración y su alta solubilidad lo hacen ideal para el combate de numerosas algas y plagas, evitando enfermedades en plantas permitiendo a los cultivos tener un crecimiento sano y evitar las deficiencias que surgen por la falta de este importante mineral.

#### 4.3.1. Características generales del Sulfato de Cobre

##### 4.3.1.1. *Propiedades Físicas y Químicas.*

Las propiedades físicas y químicas del sulfato de cobre pueden variar significativamente:

- Aspecto : Cristales
- Estado : Sólido
- Color : Celeste
- Olor : Inodoro
- Granulometría : 150  $\mu\text{m}$  (Malla N° 100)
- Fórmula química :  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , cuya composición es:
  - Sal anhidra ( $\text{CuSO}_4$ ) : 63,92 %
  - Agua de cristalización : 36,08 %
  - Cobre ( $\text{Cu}^{++}$ ) : 25,45 %
  - Sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) : 38,47 %
- Peso molecular : 249,67 g/mol
- Punto de fusión : Se descompone a temperaturas mayores de 88° C, seguido de eliminación de agua.
- pH : 3,5 – 4,5 (5% solución a 20° C)
- Solubilidad : 320 g/l (a 20 °C)

##### 4.3.1.2. *Ventajas y Usos.*

Entre las ventajas del sulfato de cobre se tiene:

- ✓ En el tratamiento de aguas, es uno de los mejores alguicidas
- ✓ Genera un menor residual de cobre
- ✓ Mejora la velocidad de formación de flóculos



- ✓ Mejora en la remoción de color o turbidez
- ✓ Mejora la eficiencia de la filtración
- ✓ Aumento de la operación de filtros
- ✓ Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros
- ✓ Trabaja en un amplio rango de pH de ácido a básico
- ✓ Dependiendo de la concentración utilizada modifica el valor de pH del influente

#### 4.3.1.3. ***Presentación.***

El sulfato de cobre viene comercialmente en estado sólido en forma granulada de cristales, tiene una tonalidad azul clara a celeste, característica que se volverá más oscura con la concentración, viene en sacos de polipropileno, EMSAPUNO los adquiere en presentaciones de 25 kg por unidad de saco.

#### 4.3.1.4. ***Precauciones para su Manejo y Almacenaje.***

El personal que descargué los sacos en los almacenes respectivos de la planta Aziruni para su manipulación cuenta con la ropa de seguridad adecuada como careta y lentes de protección facial, guantes de neopreno con protección térmica, traje de PVC y botas de seguridad. Es un producto altamente corrosivo para el ser humano.

Los envases son descargados sobre los pallets de madera debidamente acondicionados dentro del almacén de reactivos, este último es un ambiente donde no debe existir bastante humedad.

#### 4.3.1.5. ***Información sobre Riesgos y Efectos sobre la Salud.***

El sulfato de cobre es muy irritante, las vías habituales por las que los seres humanos pueden recibir exposición tóxica al sulfato de cobre son el contacto con los ojos o la piel, así como la inhalación de polvos. El contacto con la piel puede provocar picazón o eccema. El contacto ocular con sulfato de cobre puede causar conjuntivitis, inflamación del revestimiento del párpado, ulceración y enturbiamiento de la córnea, debe advertirse



que si se ha tenido una exposición por algún periodo largo, se deberá realizar los primeros auxilios respectivos realizados por un especialista médico.

El sulfato de cobre se clasifica a efectos de transporte como sustancia peligrosa o residuo peligroso. Puede representar un riesgo irrazonable para la salud, la seguridad o la propiedad cuando se transporta. El sulfato de cobre es altamente corrosivo para el acero liso, el hierro y los tubos galvanizados. No debe almacenarse en recipientes metálicos.

#### **4.3.2. Concentración de Sulfato de Cobre utilizada en la Planta Aziruni**

La concentración a utilizarse en la planta Aziruni, depende de las pruebas de jarras realizadas en el laboratorio de control de calidad de EMSAPUNO, a diferencia del policloruro de aluminio, esta prueba se realiza una vez por año, generalmente antes del inicio del último trimestre, la razón es porque en ese trimestre comienza el afloramiento biótico de plantas acuáticas e invertebrados propios del agua del Lago Titicaca.

La concentración óptima, que habitualmente resulta de las pruebas de jarras para la calidad de agua cruda propia de la fuente del Lago Titicaca (Chimu) es de 2 a 5 mg/l, concentración que posteriormente es aplicada en el proceso de tratamiento de agua. En el anexo 2, se muestra el formato de ejecución de la prueba de jarras realizado en el laboratorio de EMSAPUNO.

#### **4.4. CLORO GAS LICUADO.**

La Norma Técnica Peruana: NTP 311.256:2019, describe al cloro gas licuado como un insumo químico utilizado en el proceso de desinfección para la eliminación y preservación del agua potable de cualquier tipo de patógeno que pueda afectar la inocuidad del agua tratada.

EMSAPUNO, utiliza el cloro gas licuado en recipientes de contenido neto de 907 kg y 68 kg en concentraciones del 99,9 %, es un insumo ampliamente usado para este fin por su eficacia, garantizando la calidad del agua apta para consumo humano cumpliendo



con las normas de calidad exigidas, este producto es utilizado en la Planta Aziruni, y en algunos Reservorios donde se realiza una post cloración.

La cantidad anual de este insumo que se utiliza es de 32 652 kg de Cloro Gas Licuado en cilindros de contenido neto de 907 kg (36 Cilindros), y de 2 040 kg de Cloro Gas Licuado en cilindros de contenido neto de 68 kg (30 Cilindros).

#### 4.4.1. Características generales del Cloro Gas Licuado

##### 4.4.1.1. *Propiedades Físicas y Químicas.*

- Nombre : Cloro líquido, Cloro gas licuado
- Fórmula química :  $\text{Cl}_2$
- Número atómico : 17
- Peso atómico : 35,453
- Peso molecular : 70,90 g/mol
- Apariencia : Como gas es amarillo verdoso, en estado líquido es ligero ambar
- Olor : Acre, picante, irritante
- Densidad : 1,5 veces la del agua
- Punto de congelamiento :  $-101\text{ }^\circ\text{C}$
- Punto de inflamación : No aplicable
- Punto de ebullición :  $-34\text{ }^\circ\text{C}$  (1 Atm)
- Presión de vapor : 600 kPa (a  $23\text{ }^\circ\text{C}$ ), 1 000 kPa (a  $37,8\text{ }^\circ\text{C}$ )

**Nota.** - Cuando baja la presión del cloro se vaporiza en un gas de color amarillo verdoso de cerca de 2,5 veces la densidad del aire. El peso de un volumen de cloro líquido es igual al peso de 457,6 volúmenes de cloro gaseoso en condiciones normales ( $0\text{ }^\circ\text{C}$  y 1 atmósfera). A  $15,6\text{ }^\circ\text{C}$  y a presión de 1 atmósfera, 8 kg de cloro son solubles en 1 000 kg de agua.

##### 4.4.1.2. *Estabilidad y Reactividad.*

- Estabilidad.- El cloro líquido es estable.



- Reactividad.- El cloro líquido ni el gaseoso son explosivos o inflamables, pero reaccionan químicamente con muchas sustancias. Aunque el cloro seco no reacciona (corroe) con muchos metales, es muy reactivo (corrosivo) en presencia de humedad. Reacciona espontáneamente con el fierro o el acero a 251°C y se conoce de reacción similar con el cobre a temperaturas elevadas. El cloro seco reacciona espontáneamente con el titanio metálico.

#### 4.4.1.3. *Metales Pesados.*

La suma de todos los metales pesados no debe exceder 0,003 % en peso expresado como plomo:

- El plomo no debe exceder 0,001 % expresado en peso como plomo.
- El mercurio no debe exceder 0,0001 % en peso expresado como plomo.
- El arsénico no debe exceder 0,0003 % en peso expresado como plomo.

#### 4.4.1.4. *Residuos no Volátiles.*

El residuo total no debe exceder de:

- 0,005 % en peso en cloro cargado por el productor en tanques y carrotanques.
- 0,015 % en peso en cloro envasado en cilindros o recipientes.

#### 4.4.1.5. *Tetracloruro de Carbono.*

No debe exceder de 0,010 % (% w/w)

#### 4.4.1.6. *Tricloruro de nitrógeno.*

Solamente se aplicará este requisito si se utiliza materia prima u otros insumos que contengan nitrógeno para procesar cloro. No debe exceder de 5 mg/l.

**Nota.** - Los límites de impurezas aparecen listados en el codex de la química del agua (1982), considerando un máximo de dosificación del producto. Este se puede consultar si se van a considerar límites alternos, basados en dosificaciones diferentes.

#### 4.4.1.7. *Presentación.*

El producto viene envasado en presentaciones en cilindros o contenedores de acero, el contenido neto varía desde 68, 907, 1 000 y 5 000 kg cada recipiente (Contenedor



y Cilindros), el contenido del cloro gas líquido lleva impresa y en forma legible la siguiente información:

- Razón social del fabricante y marca del producto.
- Descripción del producto, con el detalle de sus características fisicoquímicas.
- Peso neto, en kg.
- Fecha de producción.
- Lote de producción.
- Fecha de vencimiento.
- Información preventiva respecto al manipuleo del producto según la normativa correspondiente.

El transporte de estos productos hasta los almacenes de la empresa, cumplen con lo establecido en la Ley que regula el transporte de materiales y residuos peligrosos (Ley N° 28256) y su reglamento (D.S. N° 021-2008-MTC).

#### 4.4.1.8. ***Precauciones para su Manejo y Almacenaje.***

Para su manipulación se requiere de equipos de seguridad adecuada: mascararas para respiración autónoma, antiparras y careta de protección facial, guantes de neopreno con protección térmica, traje de PVC y buena ventilación. Es un producto altamente tóxico, oxidante, corrosivo y letal para el ser humano. La ingesta o exposición a esta produce quemaduras e irritación, de presentarse dolores de cabeza, tos y/o nauseas debe advertirse que se ha tenido una exposición altamente peligrosa para lo cual se deberá realizar los primeros auxilios respectivos.

El personal que descargue los envases de cloro, debe de contar con el equipo de protección personal respectivo (Botas de seguridad, casco, guantes, mascarillas antigas).

Los cilindros y contenedores son almacenados en una locación interior dentro de la infraestructura denominada “Sala de Cloración”, está es un área limpia y de libre de acumulación de basura y grasas, los cilindros están alejados de áreas con riesgo de incendio, tales como almacenes de productos inflamables (líquidos, gases o sólidos).



El almacén cuenta con dispositivo con sistema de tecele eléctrico de cadena de carga neta de 5 t, instalado en perfil H para la correcta sujeción de los cilindros de 907 kg.

Todos los cilindros y contenedores deberán ser almacenados en lugares donde se minimice la exposición a ambientes corrosivos.

Nunca exponga a los cilindros y contenedores al fuego directo o a temperaturas extremas, ya que los fusibles provistos como protección, actuarán (cerca de 70°C), dejando escapar el cloro.

Nunca almacene cilindros y contenedores de cloro cerca de otros productos químicos, tales como Amoníaco o compuestos de amoníaco, hidrocarburos y grasas/aceites de origen mineral.

#### 4.4.1.9. *Certificación del Producto Cloro Gas Licuado.*

El cloro gas licuado cuenta obligatoriamente con el correspondiente certificado de calidad del producto con ocasión de cada entrega de los bienes. El certificado deberá cumplir con las especificaciones técnicas y disposiciones específicas mencionadas en las bases de contratación del producto y tendrán como referencia a la Norma Técnica Peruana (NTP 311.256:2019).

En caso de que el producto sea importado: Deberá de presentar la certificación internacional correspondiente de alguna Institución Internacional (ANSI, AWWA, NSF). El producto deberá contar también con el Registro Sanitario respectivo emitido por la Dirección General de Salud Ambiental, en concordancia con el D.S. N° 031-2010-S.A (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano).

En caso de que el producto sea nacional, deberá contar con el Registro Sanitario emitido por la Dirección General de Salud Ambiental.



#### 4.4.2. **Concentración del Cloro Gas Licuado utilizado en la Planta Aziruni**

La concentración a utilizarse en la planta Aziruni, que se dosifica en la cámara de desinfección o de contacto se encuentra en concordancia con el D.S. N° 031-2010-S.A (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano), dentro del rango que no supere los 5 mg/l, en la planta Aziruni se tiene ya establecido la dosificación siguiente:

A la salida de la planta (Estaciones de Bombeo): En el rango de 2 a 2,5 mg/l de cloro residual libre.

A la salida de los reservorios: En el rango de 1 a 1,5 mg/l de cloro residual libre.

A la salida de los grifos del consumidor (Redes de distribución): No debe ser menor a 0,5 mg/l de cloro residual libre.

#### 4.5. **HIPOCLORITO DE CALCIO**

La Norma Técnica Peruana: NTP 311.091:1997 (Revisión 2018), describe a este producto como un polvo blanco amarillento granular, o en forma de tableta que contiene como mínimo 65 % de cloro activo, en peso. La densidad aparente del polvo granular está entre 0,51 g/cm<sup>3</sup> y 0,8 g/cm<sup>3</sup> y la densidad aparente de las tabletas está entre 1,1 g/cm<sup>3</sup> y 1,3 g/cm<sup>3</sup>. Se puede fabricar mediante la adición de cloro a la cal lechosa, la cual se puede preparar por mezcla de la cal hidratada con agua o apagando la cal viva con agua.

##### 4.5.1. **Características generales del Hipoclorito de Calcio**

###### 4.5.1.1. *Propiedades Físicas y Químicas.*

Las propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio pueden variar significativamente:

- Aspecto : Polvo granular o en tabletas
- Estado : Sólido
- Color : Blanco
- Olor : Parecido al cloro
- Formula química : Ca(OCl)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O



- Peso molecular : 171,283 g/mol
- Densidad : 0,8 g/cm<sup>3</sup> (Granular) y 1,9 g/cm<sup>3</sup> (Tabletas)
- Solubilidad en agua : 18 % a 25°C
- pH : 10,4 a 10,8 (Solución al 1% en agua neutral a 25°C)

#### 4.5.1.2. ***Ventajas y Usos.***

Entre las ventajas del hipoclorito de calcio se tiene:

- ✓ En el tratamiento de aguas, es un desinfectante de alta concentración,

EMSAPUNO utiliza en casos de emergencia hipoclorito de calcio en el proceso de desinfección para la eliminación y preservación del agua potable de cualquier tipo de patógeno que pueda afectar la inocuidad del agua tratada que se brinda a la población usuaria de la ciudad de Puno, este producto asegura una calidad apta para consumo humano.

EMSAPUNO, también da uso a este insumo en la desinfección de las unidades de tratamiento: Módulos I y II y Reservorios cuando se realiza la acción operativa de limpieza y mantenimiento, como también se utiliza en la desinfección de Redes de distribución, esta cuando por algún motivo de incidencia se han visto afectadas por contaminación.

#### 4.5.1.3. ***Presentación.***

El hipoclorito de calcio viene comercialmente en estado sólido en forma granulada, tiene una tonalidad blanquecina, viene contenedores de polietileno, EMSAPUNO adquiere en presentaciones de 45 kg de contenido neto por unidad de contenedor.

#### 4.5.1.4. ***Precauciones para su Manejo y Almacenaje.***

El personal que descargué los contenedores en los almacenes respectivos de la planta Aziruni para su manipulación cuenta con la ropa de seguridad adecuada como



careta y lentes de protección facial, guantes de neopreno con protección térmica, traje de PVC y botas de seguridad. Es un producto altamente corrosivo para el ser humano.

Los envases son descargados sobre los pallets de madera debidamente acondicionados dentro del almacén de reactivos, este último es un ambiente donde no debe existir bastante humedad.

#### 4.5.1.5. ***Información sobre Riesgos y Efectos sobre la Salud.***

Se debe tener las siguientes recomendaciones:

En caso de inhalación, traslade a la persona a un lugar donde haya aire fresco. Si la persona no respira, llame a una ambulancia, luego dele respiración artificial, preferiblemente, boca a boca, si es posible. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar más consejos sobre el tratamiento.

En caso de contacto con la piel o la ropa, quítese la ropa contaminada. Enjuague la piel inmediatamente con mucha agua de 15 a 20 minutos.

En caso de contacto con los ojos, mantenga el ojo abierto y enjuágueselo lenta y suavemente con agua de 15 a 20 minutos, si tiene lentes de contacto, quíteselos después de los primeros 5 minutos y luego continúe enjuagando.

En caso de ingestión, llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico inmediatamente para solicitar consejos sobre el tratamiento, pida a la persona que beba a sorbos un vaso de agua si puede tragar, no induzca el vómito, a menos que un centro de control de intoxicaciones o un médico se lo indique, no dé nada por la boca a una persona que haya perdido el conocimiento, el probable daño a las mucosas puede ser una contraindicación para el uso de lavado gástrico.



#### 4.5.2. **Concentración del Hipoclorito de Calcio utilizado en la Planta Aziruni**

La concentración a utilizarse en la planta Aziruni, que se dosifica en la cámara de desinfección o de contacto se encuentra en concordancia con el D.S. N° 031-2010-S.A (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano), dentro del rango que no supere los 5 mg/l, en la planta Aziruni se tiene establecido los mismos criterios técnicos de dosificación, a la salida de la planta (Estaciones de Bombeo), deberá estar en el rango de 2 a 2,5 mg/l de cloro residual libre, a la salida de los reservorio en el rango de 1 a 1,5 mg/l de cloro residual libre y a la salida de los grifos del consumidor (Redes de distribución), no deberá ser menor a 0,5 mg/l de cloro residual libre.

En el anexo 3, se ilustra en las figuras 23, 24, 25 y 26 insumos utilizados en la producción de agua potable (Planta Aziruni, Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo).

## CAPÍTULO V

### 5.1. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

EMSAPUNO S.A puntualiza la producción de agua potable para la población de Puno iniciando desde sus captaciones de agua como fuente principal de materia prima, seguido sus instalaciones de producción en la Planta Aziruni y el agua que es tratada en los Reservorios que se abastecen de las fuentes del río Totorani y manantiales de Aracmayo.

### 5.2. PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA CAPTACIÓN CHIMU

La producción del agua potable comienza desde la captación de agua Chimu, esta cantidad de agua es bombeada por medio de la línea de impulsión de tubería en acero al carbono (SCH – 40) de 600 mm de diámetro (24 pulg), con una longitud de 4 m, posterior a esta línea esta empalmado a una tubería de HFD de 600 mm de diámetro (24 pulg) con una longitud de 258 m, la cual está finalmente empalmada a dos líneas de impulsión de 350 mm (14 pulg) en una distancia de 4 020 m de material de asbesto - cemento (AC) que conducen el agua cruda hasta la planta Aziruni. La tabla 16 muestra la producción promedio del año 2019 de agua cruda producido en la estación de bombeo de la captación Chimu (Nueva).

*Tabla 16: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Cruda producido en la Captación de Agua Chimu (Nueva)*

Caudal Promedio (Año 2019)	Captación de Agua Chimu
Caudal (l/s)	244,72
Caudal por día (m <sup>3</sup> /d)	21 143,81
Caudal por año (m <sup>3</sup> /año)	7 717 489,92

Fuente: EMSAPUNO S.A



### **5.3. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL MÓDULO I DE LA PLANTA AZIRUNI**

El ingreso del caudal de agua cruda proveniente de la captación Chimu lo realiza por dos (02) tuberías de 350 mm (14 pulg) de material asbesto - cemento (AC) que conducen el agua cruda hacia el módulo I. La tabla 17 muestra la producción promedio del año 2019 de agua potable producido en el módulo I de la Planta Aziruni.

*Tabla 17: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Módulo I – Planta Aziruni*

Caudal Promedio (Año 2019)	Planta Aziruni
	Planta de Tratamiento Módulo I
Caudal (l/s)	155,08
Caudal por día (m <sup>3</sup> /d)	13 398,91
Caudal por año (m <sup>3</sup> /año)	4 890 602,88

Fuente: EMSAPUNO S.A

### **5.4. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL MÓDULO II DE LA PLANTA AZIRUNI**

El ingreso del caudal de agua cruda proveniente de la captación Chimu lo realiza una (01) tubería de 900 mm (36 pulg), de material hierro dúctil (HD) que conducen agua cruda hacia el módulo II. La tabla 18 muestra la producción promedio del año 2019 de agua potable producido en el módulo II de la Planta Aziruni.

*Tabla 18: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Módulo II – Planta Aziruni*

Caudal Promedio (Año 2019)	Planta Aziruni
	Planta de Tratamiento Módulo II
Caudal (l/s)	79,03
Caudal por día (m <sup>3</sup> /d)	6 828,19
Caudal por año (m <sup>3</sup> /año)	2 492 325,85

Fuente: EMSAPUNO S.A

### **5.5. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL RESERVORIO TOTORANI (RA-06)**

La producción de agua potable en el reservorio Totorani clasificado con las siglas: RA-06, comienza su producción de la captación de agua del río Totorani ubicado en la zona Totorani Grande - Parte Alta dentro del distrito de Paucarcolla de la provincia de Puno, la captación de Totorani es la primera fuente de agua que tuvo la ciudad de Puno para el servicio de consumo humano, conjuntamente con el reservorio ambos fueron construidos en el año 1940, el proceso de producción comienza desde el ingreso del agua de río a un sistema de galerías filtrantes que reúnen las aguas las filtran por medio de grava seleccionada (8 a 14 pulg en forma de canto rodado) a tuberías cribadas de material de PVC de 250 mm (10 pulg), los cuales interconectan a un buzón de inspección seguido de una caja de reunión de concreto de forma rectangular dividida internamente por una pantalla que da origen a dos cámaras con el fin de facilitar el mantenimiento preventivo, posteriormente el agua captada pasa a la siguiente cámara de la cual se interconecta a una tubería de PVC de 300 mm (12 pulg), pasando a otra cámara de reunión de la cual nace la línea de conducción que tiene una longitud total de 14 000.00 m de material asbesto cemento de DN 300 mm (12 pulg) y tubería de concreto armado también de DN 300 mm (12 pulg), esta línea de conducción cuenta con válvulas de purga de aire, como también

purga de agua en las partes más bajas, durante el recorrido existen 2 túneles para llegar a la estación de bombeo, denominada: Estación de Bombeo EB 30 (Ubicada en el Barrio San José – Parte Alta), en esta estación se tiene una cámara de desinfección, en donde se dosifica cloro gaseoso para su desinfección del agua y posterior abastecimiento por gravedad al reservorio de capacidad volumétrica de 1 100 m<sup>3</sup>.

La tabla 19 muestra la producción promedio del año 2019 de agua potable producido en el reservorio Totorani.

*Tabla 19: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Reservorio Totorani*

Caudal Promedio (Año 2019)	Captación de Agua Totorani Reservorio Totorani RA-06 (Capacidad: 1,100 m <sup>3</sup> )
Caudal (l/s)	12,39
Caudal por día (m <sup>3</sup> /d)	1 070,5
Caudal por año (m <sup>3</sup> /año)	390 731,04

Fuente: EMSAPUNO S.A

## **5.6. PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL RESERVORIO ARACMAYO (RA-07 I Y II)**

La producción de agua potable en los reservorio Aracmayo, son clasificado con las siglas: RA-07 I y RA-07 II, comienza su producción en la captación de agua Aracmayo, que está conformado por 4 manantiales superficiales de forma de bocaminas, ubicadas en el cerro Aracmayo a fueros de la ciudad de Puno, estas captaciones están selladas con infraestructuras de concreto para evitar la contaminación superficial, captadas en forma ramificada y paralela por medio de una tubería de 150 mm (6 pulg), los cuales alimentan a la línea de captación perpendicularmente, esta línea conduce el agua hacia un buzón de reunión donde empieza la línea de conducción de 150 mm (6



pulg), tiene una capacidad media de 8 l/s en época de lluvia y de 1,5 a 3 l/s, en épocas de estiaje hídrico. El almacenamiento se realiza en 2 reservorios, uno de capacidad de 225 m<sup>3</sup> y el otro de 125 m<sup>3</sup>, este último está destinado exclusivamente para el Penal de Yanamayo, en los mismos reservorios se realiza el proceso de desinfección con cloro gas.

La tabla 20 muestra la producción promedio del año 2019 de agua potable producido en el reservorio Aracmayo.

*Tabla 20: Producción Promedio del Año 2019 de Agua Potable producido en el Reservorio Aracmayo*

	Captación de Agua Aracmayo
	Reservorios
Caudal Promedio (Año 2019)	Aracmayo RA-07 I RA-07 II (Capacidad: 225 y 125 m <sup>3</sup> )
Caudal (l/s)	1,31
Caudal por Día (m <sup>3</sup> /d)	113,18
Caudal por año (m <sup>3</sup> /año)	41 312,16

Fuente: EMSAPUNO S.A

## CAPÍTULO VI

### **6.1. COSTOS DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE**

Vallejos y Chilingua (2017), define al costo como el conjunto de pagos, obligaciones contraídas, consumos, depreciaciones, amortizaciones y aplicaciones atribuibles a un período determinado con las funciones de producción, distribución, administración y financiamiento.

La EPS. EMSAPUNO S.A considera de gran importancia los costos de producción del agua potable, los divide en directos e indirectos dentro de la producción del agua a tratar en la planta Aziruni y el agua a tratar en los reservorios que se abastecen de las fuentes del río Totorani y manantiales de Aracmayo, estos costos de prioridad son los costos de insumos como directos y los costos energéticos como indirectos.

### **6.2. COSTOS DIRECTOS DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE**

EMSAPUNO, considera como costo directo de gran importancia a los costos de insumos utilizados en la producción de agua potable dentro de la planta Aziruni, a los insumos utilizados dentro del reservorio Totorani y reservorio Aracmayo, en el presente capítulo no se están considerando otros costos directos que acompañan o están relacionados indirectamente con la producción del agua tratada, como son los costos directos de la mano de obra de los trabajadores (Salarios).

Los insumos que se utilizan fueron mencionados a mayor detalle en el capítulo anterior, los cuales son adquiridos de forma directa y anualmente según lo señalado en las tablas siguientes:



*Tabla 21: Costo Anual de Insumo Químico Policloruro de Aluminio (Pacso-100)*

Ítems	Descripción			Cantidad (Unidades/año)	Cantidad (kg/año)	Unidades	Precio Referencial Estimado	
	Insumo Químico	Presentación	Contenido Neto (kg)				Precio Unitario/kg (S/)+IGV	Costo Anual/kg (S/)+IGV
1.0	Policloruro de Aluminio	Barriles (Polietileno)	270	30	8 100	kg	3,90	31 590,00

Fuente: EMSAPUNO S.A

*Tabla 22: Costo Anual de Insumo Químico Sulfato de Cobre*

Ítems	Descripción			Cantidad (Unidades/año)	Cantidad (kg/año)	Unidades	Precio Referencial Estimado	
	Insumo Químico	Presentación	Contenido Neto (kg)				Precio Unitario/kg (S/)+IGV	Costo Anual/kg (S/)+IGV
1.0	Sulfato de Cobre	Sacos (Polipropileno)	25	128	3 200	kg	9,50	30 400,00

Fuente: EMSAPUNO S.A

*Tabla 23: Costo Anual de Insumo Químico Cloro Gas Licuado*

Ítems	Descripción			Cantidad (Unidades/año)	Cantida d (kg/año)	Unidades	Precio Referencial Estimado	
	Insumo Químico	Presentación	Contenido Neto (kg)				Precio Unitario/kg (S/)+IGV	Costo Anual/kg (S/)+IGV
1.0	Cloro Gas Licuado	Cisternas	907	36	32 652	kg	7,40	241 624,80
2.0	Cloro Gas Licuado	Contenedores	68	48	3 264	kg	7,40	24 153,60
Total					35 916	kg	7,40	265 778,40

Fuente: EMSAPUNO S.A

Tabla 24: Costo Anual de Insumo Químico Hipoclorito de Calcio

Ítems	Descripción			Cantidad (Unidades/año)	Cantidad (kg/año)	Unidades	Precio Referencial Estimado	
	Insumo Químico	Presentación	Contenido Neto (kg)				Precio Unitario/kg (S/)+IGV	Costo Anual/kg (S/)+IGV
1.0	Hipoclorito de Calcio	Contenedores (Polipropileno)	45	105	4 725	kg	6,90	32 602,50

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 6.3. COSTOS INDIRECTOS DE IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

EMSAPUNO, considera como costo indirecto de gran importancia a los costos energéticos utilizados en la producción de agua potable dentro de la planta Aziruni, en el presente capítulo no se están considerando otros costos indirectos que acompañan o están relacionados indirectamente con la producción del agua potable, tales como pagos por la extracción del agua como materia prima proveniente de sus distintas fuentes, pagos por retribución ecosistémica a las comunidades adyacentes que se encuentran alrededor de las fuentes, costos de adquisición de diversos materiales hidráulicos, repuestos eléctricos y electrónicos, entre otros, pagos de diversos servicios externos por parte de otras entidades, y finalmente tampoco se incluye a los gastos administrativos, gastos de organización, gastos de dirección técnica.

Estos costos de carácter indirecto se generan por el consumo de energía activa en kWh en todo el año 2019, en sus diversas instalaciones de producción de la planta Aziruni y otras instalaciones que forman parte de la producción y distribución del Agua Potable, generada exclusivamente en las estaciones de bombeo y rebombeo, empezando desde las estaciones de bombeo de captación de agua Chimu y de la planta Aziruni, y de las estaciones de rebombeo ubicadas en determinados reservorios de almacenamiento y

distribución, tal como se muestra en la tabla 25, los costos son de la energía activa consumida en el año 2019.

*Tabla 25: Consumo y Costo Total de Energía Activa en las Instalaciones de Producción y Distribución de Agua Potable en el año 2019*

N°	Nombre de Instalación	Descripción de Consumo	Consumo de Energía Activa Total Empleada (kWh)/año	Costo Total (S/)
1.0	Captación de agua Chimu	Generado por la operación de bombeo hacia la Planta Aziruni	1 102 237,51	431 851,26
2.0	Planta Aziruni (Estación de Bombeo Módulos I, II y III)	Generado por la operación de bombeo hacia el Reservorio Manto (R-4) y Reservorio Chacarilla (RA-3 “R-2500”) y Reservorio Jayllihuaya	3 100 936,67	1 104 706,66
3.0	Reservorio Manto (R-4)	Generado por la operación de rebombeo hacia el Reservorio San Miguel (R-2)	479 454,00	225 810,20
4.0	Reservorio San Miguel (R-2)	Generado por la operación de rebombeo hacia el Reservorio Aracmayo (RA-07 – I) y Reservorio Ricardo Palma (R-03 “R-850”)	394 641,41	167 715,80
5.0	Reservorio Chacarilla (RA-3 “R-2500”)	Generado por la operación de rebombeo hacia el Reservorio El Manto (RA-5 “Taller Manto”) y Reservorio Ricardo	95 950,75	39 231,84



		Palma (R-03 “R-250”)		
6.0	Reservorio El Manto (RA-5 “Taller Manto”)	Generado por consumo de diversas areas del sector operacional, entre oficinas administrativas	20 593,00	16 495,20
7.0	Reservorio Aracmayo (RA-07 – I)	Generado por la operación de rebombeo hacia el Reservorio Habilidad Totorani	22 889,89	21 710,81
9.0	Reservorio Totorani (RA-06)	Generado por consumo de oficinas administrativas (Guardianía)	1 064,00	931,73
10.0	Reservorio Alto Llavini (EB-30)	Generado por consumo de oficinas administrativas (Guardianía)	2 706,00	2 319,73
11.0	Reservorio Jayllihuaya	Generado por consumo de oficinas administrativas (Guardianía)	2 950,00	2 520,84
	Total		5 223 423,23	2 013 294,07

Fuente: EMSAPUNO S.A



## CAPÍTULO VII

### 7.1. RESULTADOS

### 7.2. RESULTADOS RESPECTO AL TRATAMIENTO DE AGUA QUE REALIZA LA EPS. EMSAPUNO S.A

El tratamiento que actualmente utiliza la EPS. EMSAPUNO S.A, para la producción de agua potable obedece al Artículo 3 señalado en la legislación ambiental titulado Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), documento aprobado mediante D.S. N° 004-2017-MINAN, el cual categoriza a las aguas de acuerdo a su calidad y uso para poder ser tratadas, esta clasificación se encuentra en la Categoría 1: Poblacional y Recreacional, la cual se subdivide en una subcategoría denominada A, denominada “Aguas Superficiales destinadas a la producción de Agua Potable”, en el caso de la que la calidad del agua cruda del lago Titicaca que se extrae de la captación de agua “Chimu”, esta pertenece a la subcategoría de A2: “Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional”, esta conceptualiza que son aguas sometidas a dos o más procesos de tratamiento tales como: Coagulación, Floculación, Decantación, Sedimentación y Filtración o procesos equivalentes a los ya mencionados, finalmente pasan por el proceso de Desinfección y su posterior almacenamiento; por consiguiente el tratamiento convencional que se aplica en los 02 módulos de tratamiento de la planta Aziruni cumplen con lo dictaminado en el D.S. N° 004-2017-MINAN.

El módulo I de tratamiento de agua cuenta con las siguientes unidades de tratamiento convencional: 01 Aireador tipo cascada, 04 Floculadores mecánicos rápidos (Tipo eje vertical), 04 Floculadores mecánicos lentos (Tipo eje vertical), 04 Sedimentadores hidráulicos, 03 Filtros rápidos, 01 Cámara de desinfección o de contacto.

El módulo II de tratamiento de agua, cuenta con las siguientes unidades de tratamiento convencional: 01 Canal de ingreso Parshall, 01 Floculador vertical hidráulico,



07 Filtros rápidos y 01 Cámara de desinfección o de contacto, cada una de estas unidades han sido descritas a detalle en el capítulo 3.

Para el caso de las fuentes de agua del río Totorani y de los manantiales subterráneos de la pampa de Aracmayo que abastecen al Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo, estas han sido clasificadas dentro de la subcategoría A1: “Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección”, no pasando anteriormente por ningún proceso adicional para su tratamiento. Por consiguiente el único tratamiento que reciben estas aguas crudas antes de ser almacenadas en sus respectivos reservorios es el proceso de desinfección con cloro gas, para el caso de las aguas de la fuente de Totorani estas son desinfectadas en la cámara de contacto que se encuentra ubicada en la: Estación de Bombeo EB 30 (Ubicada en el Barrio San José – Parte Alta), posteriormente recién se procede a su abastecimiento por gravedad al reservorio de capacidad volumétrica de 1 100 m<sup>3</sup>, denominado RA-06 (Totorani), mientras que el agua de la fuente de los manantiales de Aracmayo tiene su proceso de desinfección en los propios reservorios de almacenamiento de capacidad volumétrica de 225 m<sup>3</sup> (RA-07-I) y 125 m<sup>3</sup> (RA-07-II).

### **7.3. RESULTADOS RESPECTO A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE PUNO QUE PRODUCE LA EPS. EMSAPUNO S.A**

La producción de agua potable para la ciudad de Puno que produce la EPS. EMSAPUNO S.A proviene de las tres fuentes de agua superficial con las que cuenta la empresa, la de mayor cantidad con una producción del 95 % es la de captación Chimú, con el 4 % la captación de Totorani y con el 1 % la de captación de Aracmayo.

La siguiente tabla resume la producción promedio de agua potable del año 2019.

Tabla 26: Producción Promedio de Agua Potable del Año 2019 – EMSAPUNO S.A

Caudal Promedio (Año 2019)	Captación de Agua Chimú	Planta Aziruni			Producción Total de Agua Potable en la Planta Aziruni	Captación de Agua Totorani	Captación de Agua Aracmayo	Producción Promedio de Agua Potable para la Población de Puno
		Planta de Tratamiento Módulo I	Planta de Tratamiento Módulo II	Consumo de Agua en Lavado de Filtros: Módulos I y II		Reservorio Totorani RA-06 (Capacidad: 1 100 m <sup>3</sup> )	Reservorios Aracmayo RA-07 I RA-07 II (Capacidad: 225 y 125 m <sup>3</sup> )	
Caudal (l/s)	244,72	155,08	79,03	4,97	234,11	12,39	1,31	247,81
Caudal por día (m <sup>3</sup> /d)	21 143,81	13 398,91	6 828,19	916,5	20 227,10	1 070,5	113,18	21 410,78
Caudal por año (m <sup>3</sup> /año)	7 717 489,92	4 890 602,88	2 492 325,85	156 614,2	7 382 928,73	390 731,04	41 312,16	7 814 971,93

Fuente: EMSAPUNO S.A

De la tabla 26, se puede observar que el caudal promedio de agua cruda de la captación Chimú que llegó a la planta Aziruni en el año 2019 fue de 21 143,81 m<sup>3</sup>/d y de 7 717 489,92 m<sup>3</sup>/año.

El caudal promedio de agua potable que se pasó por el módulo I de tratamiento de tratamiento de agua en el año 2019 fue de 13 398,91 m<sup>3</sup>/d y de 4 890 602,88 m<sup>3</sup>/año.

El caudal promedio de agua potable que se pasó por el módulo II de tratamiento de tratamiento de agua en el año 2019 fue de 6 828,19 m<sup>3</sup>/d y de 2 492 325,85 m<sup>3</sup>/año.

El reservorio Totorani (RA-06), de capacidad de 1 100 m<sup>3</sup>, recibió un caudal promedio de agua tratada de 1 070,50 m<sup>3</sup>/d y de 390 731,04 m<sup>3</sup>/año.

Los reservorios de Aracmayo RA-07-I de capacidad de 225 m<sup>3</sup> y RA-07-II de capacidad de 125 m<sup>3</sup>, recibieron un caudal promedio de agua tratada de 113,18 m<sup>3</sup>/d y de 41 312,16 m<sup>3</sup>/año.

El resultado de la producción total de agua potable para la población de Puno producida en el año 2019 por EMSAPUNO S.A, fue de 21 410,78 m<sup>3</sup>/d y de 7 814 971,93 m<sup>3</sup>/año.



### 7.3.1. **Discusión de los Resultados**

La captación de Chimu (Nueva) tiene una capacidad de diseño teórico de 480 l/s al 100 % de su trabajo operativo, actualmente de acuerdo a los resultados promedio para el año 2019, viene trabajando solo al 50,98 %, esto se debe a que la línea de impulsión de esta captación está diseñada en su totalidad para una impulsión de 600 mm (24 pulg) desde su salida de la estación de bombeo hasta su llegada a la planta Aziruni, otro de los factores es el deterioro de la actual línea de impulsión: 2 tuberías de 350 mm (14 pulg) de material de asbesto – cemento (AC), esta línea hasta su llegada a la planta tiene una longitud de 4 020 m y no garantizan la capacidad de bombeo al 100 % de la nueva captación.

La planta de tratamiento del módulo I, tiene una capacidad de diseño de 150 l/s al 100 % de trabajo operativo, según los resultados promedio para el año 2019 viene trabajado al 103,38 %, mientras que la planta de tratamiento del módulo II, tiene una capacidad de diseño de 300 l/s al 100% de trabajo operativo, según resultados esta viene trabajando solo al 26,34 %, esto se debe a que la producción de agua de este módulo de tratamiento está sujeta a la demanda de capacidad de almacenamiento de los Reservorios que son abastecidos con agua de parte del módulo II; por consiguiente se tiene un 73,66 % (220,97 l/s) de restante en el trabajo operativo de este módulo de tratamiento que no se viene aprovechando.

La producción de agua potable en el reservorio Totorani en el año 2019 fue de 12,39 l/s, 1 070,5 m<sup>3</sup>/d y anualmente de 390 731,04 m<sup>3</sup>/año, actualmente el reservorio viene trabajando con un 97,32 %, sin embargo el diseño de la captación en el río Totorani compuesto por el sistema de galerías filtrantes solo viene captando 12,39 l/s de los 15 a 20 l/s que obedecen al diseño hidráulico de la captación, este volumen de agua captado se ve afectado en épocas de estiaje hídrico llegando a reducir hasta 5 a 8 l/s, afectando



críticamente a la población usuaria que se beneficia de dicha fuente, en especial a los pobladores del lado norte de la ciudad de Puno.

La producción de agua potable en el reservorio Aracmayo en el año 2019 fue de 1,31 l/s, 113,18 m<sup>3</sup>/d y anualmente de 41 312,16 m<sup>3</sup>/año, actualmente los reservorios RA-07-I de 225 m<sup>3</sup> y el RA-01-II de 125 m<sup>3</sup> de capacidad vienen recibiendo solo un 32,34 % de agua de la captación de agua de los manantiales de Aracmayo, por cual el actual caudal de 1,31 l/s es insuficiente para poder abastecer a los dos reservorios juntos y actualmente con este caudal de ingreso solo se abastece al reservorio RA-01-II de 125 m<sup>3</sup> de capacidad el cual está destinado exclusivamente para el penal de Yanamayo, mientras que el reservorio RA-07-I de 225 m<sup>3</sup> es llenado con agua potable proveniente de la estación de rebombeo del reservorio R-02 (San Miguel), este reservorio abastece del servicio de agua potable al centro poblado de la Alto Puno.

#### **7.4. RESULTADOS RESPECTO A LOS INSUMOS UTILIZADOS EN LA PLANTA AZIRUNI, RESERVORIO TOTORANI Y RESERVORIO ARACMAYO PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE**

Como se describió en el capítulo 4, los insumos utilizados en los módulos de tratamiento I y II de la planta Aziruni, y los insumos utilizados en el agua que abastecen al Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo, son insumos que han sido aprobados para el tratamiento de agua para consumo humano bajo legislación peruana mediante Normas Técnicas Peruanas por parte del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y deberán dar cumplimiento al Artículo 51 del Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A), el cual determina que todo insumo utilizado para el tratamiento de agua para consumo humano deberá contar su respectivo registro sanitario; entre los insumos se utilizados se citan a continuación:



Como floculante principal se tiene al “Policloruro de Aluminio”, aprobado bajo la NTP 311.333:1999 (Revisión 2019), insumo químico inorgánico polimerizado a base de sales de aluminio, usado como coagulante en el proceso de floculación en ambos módulos de tratamiento I y II de la planta Aziruni, el objetivo fundamental es la remoción de turbidez y algunos otros contaminantes como partículas inorgánicas y/o orgánicas, este insumo desestabiliza los microorganismos y las partículas coloidales, permitiendo que estas se junten entre sí, formando coágulos que posteriormente se aglomeran conformando flóculos de mayor tamaño enviándolos hacia el fondo por efecto de la gravedad en la unidades de sedimentación; la concentración óptima que se utiliza en la planta Aziruni oscilan entre 6 a 8 mg/l, esta concentración posteriormente es aplicada en el proceso de tratamiento del agua. En el anexo 1, se muestra el formato de ejecución de la prueba de jarras realizado en el laboratorio de EMSAPUNO para hallar la concentración óptima de dosificación.

El Sulfato de Cobre, aprobado bajo la Norma Técnica Peruana: NTP 311.328 1997 (Revisión 2018), es un insumo químico multipropósito, usado como floculante en el proceso de floculación en ambos módulos de tratamiento I y II de la planta Aziruni, el objetivo fundamental es la remoción de algas dentro del tratamiento del agua; la concentración óptima a utilizarse en la planta Aziruni es de 2 a 5 mg/l, este insumo solo es aplicado en épocas de afloramiento biótico de plantas acuáticas e invertebrados propios del agua del Lago Titicaca. En el anexo 2, se muestra el formato de ejecución de la prueba de jarras realizado en el laboratorio de EMSAPUNO para hallar la concentración óptima de dosificación.

El tercer insumo de gran importancia es el “Cloro Gas Licuado”, aprobado bajo la Norma Técnica Peruana: NTP 311.256:2019, es un insumo químico utilizado en el



proceso de desinfección para la eliminación y preservación del agua potable de cualquier tipo de patógeno que pueda afectar la inocuidad del agua tratada.

EMSAPUNO, utiliza el cloro gas licuado en recipientes de contenido neto de 907 kg y 68 kg en concentraciones del 99,9 %, es un insumo ampliamente usado para este fin por su eficacia, garantizando la calidad del agua apta para consumo humano cumpliendo con las normas de calidad exigidas, este producto es utilizado en la Planta Aziruni, y en algunos Reservorios donde se realiza una post cloración.

La concentración a utilizarse en la planta Aziruni, que se dosifica en la cámara de desinfección o de contacto se encuentra en concordancia con el D.S. N° 031-2010-S.A (Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano), dentro del rango que no supere los 5 mg/l, en la planta Aziruni se tiene ya establecido la dosificación siguiente:

- A la salida de la planta (Estaciones de Bombeo): En el rango de 2 a 2,5 mg/l de cloro residual libre.
- A la salida de los reservorios: En el rango de 1 a 1,5 mg/l de cloro residual libre.
- A la salida de los grifos del consumidor (Redes de distribución): No debe ser menor a 0,5 mg/l de cloro residual libre.

Finalmente como insumo adicional al proceso de desinfección se tiene al “Hipoclorito de Calcio”, aprobado bajo Norma Técnica Peruana: NTP 311.091:1997 (Revisión 2018), este es producto en polvo tipo granular de color blanco amarillento, o en forma de tableta que contiene como mínimo 65 % de cloro activo en peso; La concentración a utilizarse en la planta Aziruni, que se dosifica en la cámara de desinfección o de contacto se encuentra en concordancia con el D.S. N° 031-2010-S.A, dentro del rango que no supere los 5 mg/l, las dosificaciones de este producto son las mismas que los criterios aplicados para cloro gas licuado.

La tabla 27 describe la cantidad de insumos utilizados en la producción de agua potable en los módulos de tratamiento I y II de la planta Aziruni, Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo.

*Tabla 27: Cantidad Anual de Insumos Utilizados en la Producción de Agua Potable en Planta Aziruni, Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo*

Ítems	Descripción			Cantidad (Unidades/año)	Cantidad (kg/año)	Unidades	Instalación de Producción
	Insumo Químico	Presentación	Contenido Neto (kg)				
1.0	Policloruro de Aluminio	Barriles (Polietileno)	270	30	8 100	kg	Módulo I y II – Planta Aziruni
2.0	Sulfato de Cobre	Sacos (Polipropileno)	25	128	3 200	kg	Módulo I y II – Planta Aziruni
3.0	Cloro Gas Licuado	Cisternas	907	36	32 652	kg	Módulo I y II – Planta Aziruni
	Cloro Gas Licuado	Contenedores	68	48	3 264	kg	Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo
4.0	Hipoclorito de Calcio	Contenedores (Polipropileno)	45	105	4 725	kg	Módulo I y II – Planta Aziruni

Fuente: EMSAPUNO S.A

## **7.5. RESULTADOS RESPECTO A LOS COSTOS DE IMPORTANCIA DIRECTOS E INDIRECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE QUE REALIZA LA EPS. EMSAPUNO**

EMSAPUNO S.A considera de gran importancia los costos de producción del agua potable, los divide en directos e indirectos dentro de la producción del agua a tratar en la planta Aziruni y el agua a tratar en los reservorios que se abastecen de las fuentes del río Totorani y manantiales de Aracmayo, estos costos de prioridad son los costos de insumos como directos y los costos energéticos como indirectos; como resultado se

muestra a continuación en la tabla 28 el resumen de los costos directos de los insumos utilizados en la producción de agua potable en la Planta Aziruni, reservorio Totorani y reservorio Aracmayo.

*Tabla 28: Costo Anual de Insumos Químicos Utilizados en la Producción de Agua Potable para la ciudad de Puno*

Ítems	Descripción			Cantidad (Unidades/año)	Cantidad (kg/año)	Unidades	Precio Referencial Estimado		
	Insumo Químico	Presentación	Contenido Neto (kg)				Precio Unitario/kg (S/)+IGV	Costo Anual/kg (S/)+IGV	
1.0	Policloruro de Aluminio	Barriles (Polietileno)	270	30	8 100	kg	3,90	31 590,00	
2.0	Sulfato de Cobre	Sacos (Polipropileno)	25	128	3 200	kg	9,50	30 400,00	
3.0	Cloro Gas Licuado	Cisternas	907	36	32 652	kg	7,40	241 624,80	
	Cloro Gas Licuado	Contenedores	68	48	3 264	kg	7,40	24 153,60	
4.0	Hipoclorito de Calcio	Contenedores (Polipropileno)	45	105	4 725	kg	6,90	32 602,50	
Total									360 370,90

Fuente: EMSAPUNO S.A

### 7.5.1. **Discusión de los Resultados**

Como se puede observar en la tabla 28, anualmente en las diversas instalaciones de producción de agua potable se tiene un consumo de:

8 100 kg de policloruro de aluminio con un costo total de S/ 31 590,00 soles, esta cantidad ha sido utilizado en los módulos de tratamiento de agua I y II de la planta Aziruni.

3 200 kg de sulfato de cobre con un costo total de S/ 30 400,00 soles, esta cantidad ha sido utilizado en los módulos de tratamiento de agua I y II de la planta Aziruni.

32 652 kg de cloro gas licuado (Cisternas de 907 kg) con un costo total de S/ 241 624,80 soles, esta cantidad ha sido utilizado en las cámaras de desinfección o contacto de los módulos de tratamiento de agua I y II de la planta Aziruni.

3 264 kg de cloro gas licuado (Contenedores de 68 kg) con un costo total de S/ 24 153,60 soles, esta cantidad ha sido utilizado en las instalaciones de desinfección o contacto del reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo.

4 725 kg de hipoclorito de calcio con un costo total de S/ 32 602,50, esta cantidad ha sido utilizado en las cámaras de desinfección o contacto de los módulos de tratamiento de agua I y II de la planta Aziruni.

Como resultado final, el costo directo de importancia respecto a los insumos utilizados en la producción de agua potable por parte de EMSAPUNO para el año 2019 fue de S/ 360 370,90 soles.

Respecto al costo indirecto la tabla 29 nos resume el consumo de energía activa total empleada en el año 2019 en las diversas instalaciones de producción de agua potable dentro de la planta Aziruni y otras instalaciones que forman parte de la producción y distribución del agua generada exclusivamente en las estaciones de bombeo y rebombeo.

*Tabla 29: Consumo y Costo Total de Energía Activa en las Instalaciones de Producción y Distribución de Agua Potable en el año 2019*

Nº	Nombre de Instalación	Descripción de Consumo	Consumo de Energía Activa Total Empleada (kWh)/Año	Costo Total (S/)
1.0	Planta Aziruni y Reservorio de Almacenamiento y Distribución	Generado por la operación de bombeo y rebombeo	5 223 423,23	2 013 294,07

Fuente: EMSAPUNO S.A

Como resultado el costo indirecto de importancia respecto al consumo energético utilizados en la producción de agua potable por parte de EMSAPUNO para el año 2019 fue de S/ 2 013 294,07 soles.



El resultado del costo total se da de la sumatoria de ambos costos, los directos y los indirectos, los cuales ascienden a S/ 2 373 664,97 soles anuales.



## CONCLUSIONES

- El tratamiento que actualmente utiliza la EPS. EMSAPUNO S.A, para la producción de agua potable en la planta Aziruni es el tratamiento convencional de acuerdo a su clasificación dentro de la Subcategoría A2: “Aguas Superficiales destinadas a la producción de Agua Potable” - Categoría A1: Poblacional y Recreacional, señalado en la legislación ambiental “Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA)”, documento aprobado mediante D.S. N° 004-2017-MINAN; para el caso de las fuentes de agua del río Totorani y de los manantiales subterráneos de la pampa de Aracmayo que abastecen al Reservoirio Totorani y Reservoirios Aracmayo, estas han sido clasificadas dentro de la subcategoría A1: “Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección”, no pasando anteriormente por ningún proceso adicional para su tratamiento. Por consiguiente el único tratamiento que reciben estas aguas crudas antes de ser almacenadas en sus respectivos reservorios es el proceso de desinfección con cloro gas; el producto del tratamiento es la producción de agua potable para la ciudad de Puno, el cual durante el año 2019 fue de 7 814 971,93 m<sup>3</sup>, volumen de agua potable que proviene de las tres fuentes de agua superficial con las que cuenta la empresa, la producción de mayor cantidad con el 95 % proviene de planta Aziruni con un caudal de 155,08 l/s para el módulo I y de 79,03 l/s para el módulo II, llegando a producir 7 382 928,73 m<sup>3</sup>/año, con el 4 % la captación de Totorani con un caudal de 12,39 l/s con una producción de 390 731,04 m<sup>3</sup>/año y con el 1 % la captación de Aracmayo con un caudal de 1,31 l/s con una producción de 41 312,16 m<sup>3</sup>/año.
- Los insumos utilizados en los módulos de tratamiento I y II de la planta Aziruni, y los utilizados en el agua que abastecen al Reservoirio Totorani y Reservoirios Aracmayo, son insumos que han sido aprobados para el tratamiento de agua para consumo humano bajo legislación peruana mediante Normas Técnicas Peruanas por parte del Instituto



Nacional de Calidad (INACAL) y cumplen con el Artículo 51 del Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A); la concentración óptima del insumo policloruro de aluminio oscila entre 6 a 8 mg/l, para el sulfato de cobre entre 2 a 5 mg/l, el cloro gas licuado y el hipoclorito de calcio es utilizado en todas las cámaras de desinfección o contacto dentro del rango que no supere los 5 mg/l.

▪ EMSAPUNO S.A considera de gran importancia a los costos de insumos como directos y los costos energéticos como indirectos dentro de la producción del agua potable en la planta Aziruni y el agua a tratar en los reservorios que se abastecen de las fuentes del río Totorani y manantiales de Aracmayo, en el 2019 se utilizaron 8 100 kg de policloruro de aluminio, con un costo total de S/ 31 590,00 soles, 3 200 kg de sulfato de cobre con un costo total de S/ 30 400,00 soles, 32 652 kg de cloro gas licuado (Cisternas de 907 kg) con un costo total de S/ 241 624,80 soles, 3 264 kg de cloro gas licuado (Contenedores de 68 kg) con un costo total de S/ 24 153,60 soles, y de 4 725 kg de hipoclorito de calcio con un costo total de S/ 32 602,50, como resultado final el costo directo en la producción de agua potable por parte de EMSAPUNO para el año 2019 fue de S/ 360 370,90 soles; respecto al costo indirecto del consumo de energía activa total empleada en el año 2019 en las diversas instalaciones de producción de agua potable dentro de la planta Aziruni y otras instalaciones que forman parte de la producción y distribución del agua generada exclusivamente en las estaciones de bombeo y rebombeo, se tiene un costo de S/ 2 013 294,07 soles, por consiguiente el costo total de los costos directos e indirectos fueron de S/ 2 373 664,97 soles anuales.



## RECOMENDACIONES

- Con el fin de incrementar la producción de agua en la estación de bombeo de la captación de Chimu (Nueva) del 50, 98 % que actualmente está con un caudal de 244,72 l/s al 100 % y llegar al caudal de diseño de 480 l/s, se recomienda el cambio de la actual línea de impulsión de 350 mm (14 pulg) de material de asbesto -cemento (AC) que tiene una longitud de 4 020 m por una línea de impulsión de 600 mm (24 pulg) desde su salida hasta su llegada a la planta Aziruni.
- Para el módulo II de tratamiento de agua de la planta Aziruni que solo viene trabajando al 26,34 % con un caudal de 79,03 l/s y llegar al 100 % de producción con una caudal de diseño de 300 l/s, se recomienda la construcción de nuevos reservorios de mayor capacidad de almacenamiento para poder ser abastecidos con agua de parte de este módulo, por consiguiente la producción incrementaría un 73,66 % (220,97 l/s), los cuales no se vienen aprovechando en la actualidad.
- Para aumentar la producción de agua que proviene de la fuente del río Totorani, se recomienda la construcción de un nuevo reservorio de almacenamiento para poder acoger las aguas de dicha fuente, así como el mantenimiento y/o cambio de tuberías de su actual línea de aducción a fin de evitar pérdidas en la conducción de las aguas.
- Para solucionar la prestación de servicio de continuidad y presión en el centro poblado de Alto Puno que cada día va aumentando su crecimiento poblacional y que anteriormente eran abastecidos al 100 % con aguas de la fuente de los manantiales de Aracmayo y actualmente su caudal va disminuyendo con el pasar del tiempo, se recomienda la construcción de nuevos reservorios de mayor capacidad en el sector más alto del centro poblado de Alto Puno, considerándose una nueva línea de impulsión de que pueda ser abastecida por bombeo desde la estación más cercana de rebombeo que proviene desde la planta Aziruni, o de buscar nuevas fuentes de agua que puedan ser



tratadas y de poder cumplir con las necesidades de agua potable para la población de Alto Puno.

- Actualmente se cuenta con las aguas del Lago Titicaca como fuente principal para la producción de agua potable, por lo que se recomienda la construcción de una planta de tratamiento de tipo convencional que cuente con unidades de almacenamiento de pre sedimentación de las aguas proveniente de la captación Chimu a fin de disminuir la carga orgánica compuesta en general por algas y macroinvertebrados, así como la inorgánica compuesta por metaloides y metales propios dentro de la composición fisicoquímica de la calidad del agua del Titicaca, así como también la incorporación de un sistema de pre oxidación para poder disminuir el crecimiento biótico de las algas, estas pre unidades de tratamiento disminuirían el consumo de insumos en el tratamiento de las unidades de floculación, sedimentación y filtración cumpliendo en su totalidad con las legislaciones de agua para consumo humano, como es el caso del Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-S.A).
- Respecto del insumo desinfectante como es el caso del cloro gas licuado, se recomienda la adquisición de una planta compacta de producción de cloro.
- Para poder disminuir los costos de energéticos considerados como costos indirectos y de mayor relevancia en la producción de agua potable en la planta Aziruni, se recomienda la instalación de una nueva moderna subestación de energía, actualmente la que se tiene instalado en la planta Aziruni tiene una capacidad de 480 kVA y presenta desgaste de uso por haber cumplido su tiempo de vida útil, generando pérdidas de energía en el transformador de potencia, la nueva subestación tendría la capacidad de 1000 kVA (1 MVA), el equipamiento de está subestación contendría un transformador ecológico moderno con sistema de control de pérdidas de energía, así como la renovación de grupos electrógenos de mayor capacidad que puedan generar energía en su totalidad para el



funcionamiento de todos los equipos de bombeo de cada estación, de modo que no dejen de operar los equipos de bombeo en caso de cortes de fluido eléctrico.

- Finalmente se recomienda realizar gestiones con la empresa que suministra la energía en la ciudad de Puno (Electro Puno S.A.A), con el propósito de disminuir el costo tarifario que se aplica por el consumo de energía activa en kWh en las instalaciones de bombeo y rebombeo que posee EMSAPUNO.



## BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Tercera ed., Vol. I y II). Santa Fe de Bogotá: NOMOS S.A.
- Arocha Ravelo, S. (1977). *ABASTECIMIENTOS DE AGUA Teoría & Diseño* (Segunda ed.). Caracas: VEGA.
- Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento. (2014). *MANUAL DE LA CLORACION*. Madrid, España: AEAS.
- Canepa de Vargas, L., Maldonado, V., Barrenechea, A., & Aurazo, M. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría Tomo 1* (Segunda ed.). Lima: CEPIS.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente OPS/OMS. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua* (Primera ed.). Lima: OMS.
- Espinosa Rubio, M. E., & Medina Nicolau, F. M. (1998). *MANUAL DEL AGUA Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Mexico: McGraw - Hill Book Co., U.S.A.
- Instituto Nacional de Calidad Perú. (2018). HIPOCLORITOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. *NTP 311.091 1997 (Revisión 2018), Primera*, 18. Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad Perú. (2018). SULFATO DE COBRE PARA TRATAMIENTO DE AGUA. *NTP 311.328 1997 (Revisión 2018), Primera*, 22. Lima, Perú: INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad Perú. (2019). CLORURO DE POLIALUMINIO LIQUIDO PARA TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO



HUMANO. *NTP 311.333 1999 (Revisión 2019), Primera*, 32. Lima, Perú:

INACAL.

Instituto Nacional de Calidad Perú. (2019). PRODUCTOS QUÍMICOS

INDUSTRIALES. Cloro líquido para el tratamiento de agua. *NTP 311.256 2019, Tercera*, 20. Lima, Perú: INACAL.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico*. Lima: INEI.

Ministerio de Salud Perú. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *D.S. N° 031-2010-SA, Primera*, 44. Lima, Perú: MINSA.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú. (2008). D.S. N° 021-2008-MTC. *Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos*, 24. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.

Ministerio del Ambiente Perú. (2017). ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA. *D.S. N° 004-2017-MINAM*, 10. Lima, Perú: MINAM.

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable - Volumen 1 (Vol. I)*. Genova: OMS.

Pedroza González, E. (2001). *SERIE AUTODIDACTICA DE MEDICIÓN CANAL PARSHALL* (Segunda ed.). D.F.Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Poder Ejecutivo - Gobierno Del Perú. (2016). Decreto Legislativo N° 1280. *Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento*, 20. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.

Poder Legislativo - Congreso de la República. (2004). Ley N° 28256. *Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos*, 2. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.



Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del Agua* (Tercera ed.). D.F.Mexico:

ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A de C.V.

Romero Rojas, J. A. (2000). *CALIDAD DEL AGUA* (Segunda ed.). D.F.Mexico:

ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A de C.V.

Valdez, E. C. (1994). *ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE* (Cuarta ed.).

D.F.Mexico: UNAM.

Vallejos Orbe, H. M., & Chiliquinga Jaramillo, M. P. (2017). *COSTOS Modalidad*

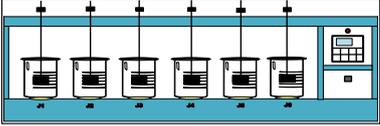
*Órdenes de Producción*. Ibarra, Ecuador: UNT.

Vicente Méndez, M. (1995). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de*

*agua*. Caracas, Venezuela: UCAB.

## ANEXOS

### ANEXO 1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE POLICLORURO DE ALUMINIO

 <b>ENSAYO: PRUEBA DE JARRAS (Jar Test)</b> DETERMINACION DE LA CONCENTRACION OPTIMA DE COAGULANTE												
Coagulante:		Policloruro de Aluminio		Formula Química: $Aln(OH)nCl(3n-m)$		Tipo: PACSO - 100						
PLANTA AZIRUNI - EMSAPUNO S.A			FECHA: 08/01/2019		HORA: 17:00:00							
AGUA CRUDA			DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA					
Turbiedad (UNT):		2,16		MEZCLA RÁPIDA		VOLUMEN DE JARRAS		FLOCULACION:		SEDIMENTACION (min)		
pH (H+)/(OH-):		8,25		Gradiente de velocidad / G-1,(rpm):		300		Gradiente de velocidad / G-1,(rpm):		10		
Alcalinidad Total (mg/l):		145		Tiempo (s):		10		Tiempo (min):		10		
N° de JARRAS		pH		Alcalinidad Total (mg/l)		Dosis del Coagulante (ml)		Concentración del Coagulante (mg/l)		Tiempo de formación del Floc (min):(s):(ms)		
Índice de Willcomb		Color (Pt/Co)		pH		Turbiedad residual (UNT)		Aluminio residual (mg/L)				
1		8,25		145		0,2		2		3:10:00		
2		8,25		145		0,3		3		3:00:00		
3		8,25		145		0,4		4		2:20:00		
4		8,25		145		0,5		5		2:20:00		
5		8,25		145		0,6		6		1:30:00		
6		8,25		145		0,7		7		1:50:00		
CONCENTRACIÓN ÓPTIMA:			6		mg/l		Jarra N°		5		<b>INDICE DE WILLCOMB (Interpretación):</b> 0 Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación. 2 Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado. 4 Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no Sedimenta). 6 Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud. 8 Bueno. Floc que se deposita facil pero no completamente. 10 Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina.	
ALCALINIDAD TOTAL: (Jarra con dosis óptima)			110		mg/l							
OBSERVACIONES:												
Ensayista de Laboratorio:						FIRMA: .....						

Fuente: EMSAPUNO S.A

## ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE COBRE

<b>ENSAYO: PRUEBA DE JARRAS (Jar Test)</b> DETERMINACION DE LA CONCENTRACION OPTIMA DE COAGULANTE											
Coagulante:		Sulfato de Cobre		Formula Química:		CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O		Tipo:		Cristales	
PLANTA AZIRUNI - EMSAPUNO S.A				FECHA:		04/10/2019		HORA:		17:30:00	
AGUA CRUDA			DOSIFICACIÓN			OBSERVACIONES VISUALES			AGUA SEDIMENTADA		
Turbiedad (UNT):		2,73		MEZCLA RÁPIDA		VOLUMEN DE JARRAS		FLOCULACION:		SEDIMENTACION (min)	
pH (H+)/(OH-):		8,89		Gradiente de velocidad / G-1,(rpm):		300		Gradiente de velocidad / G-1,(rpm):		10	
Alcalinidad Total (mg/l):		152		Tiempo (s):		10		Tiempo (min):		10	
N. de JARRAS	pH	Alcalinidad Total (mg/l)	Dosis del Coagulante (ml)	Concentración del Coagulante (mg/l)	Tiempo de formación del Floc (min):(s):(ms)	Índice de Willcomb	Color (Pt/Co)	pH	Turbiedad residual (UNT)	Cobre residual (mg/l)	
	1	8,89	152	0.2	2	3:20:00	2	22	7,52	1,55	0.023
	2	8,89	152	0.3	3	3:10:00	2	18	7,49	1,53	0.019
	3	8,89	152	0.4	4	2:10:00	6	16	7,45	1,50	0.018
	4	8,89	152	0.5	5	2:10:00	10	12	7,44	1,46	0.018
	5	8,89	152	0.6	6	1:50:00	8	15	7,46	1,52	0.020
	6	8,89	152	0.7	7	2:00:00	8	15	7,48	1,53	0.021
CONCENTRACIÓN ÓPTIMA:			5	mg/l	Jarra N°	4	INDICE DE WILLCOMB (Interpretación):				
ALCALINIDAD TOTAL: (Jarra con dosis óptima)		132	mg/l	<b>0</b> Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación. <b>2</b> Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado. <b>4</b> Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no Sedimenta). <b>6</b> Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud. <b>8</b> Bueno. Floc que se deposita facil pero no completamente. <b>10</b> Excelente. Floc que se deposita todo, dejando el agua cristalina.							
OBSERVACIONES:			FIRMA: .....								
Ensayista de Laboratorio:											

Fuente: EMSAPUNO S.A

### ANEXO 3. ÁLBUM DE FIGURAS

#### Captaciones de Agua Chimu, Totorani y Aracmayo



*Figura 1: Captación de Agua Chimu (Antigua)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 2. Captación de Agua Chimu (Nueva)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 3. Captación Totorani (Río Totorani)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 4. Captación Aracmayo (Manantiales)*

Fuente: EMSAPUNO S.A

## Planta Aziruni: Módulos de Tratamiento I y II, Reservorio Totorani y Reservorios Aracmayo.



*Figura 5. Módulo I de Tratamiento de Agua (Planta Aziruni)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 6. Módulo II de Tratamiento de Agua (Planta Aziruni)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 7. Reservorio de Almacenamiento Totorani (1 100 m<sup>3</sup>) RA-06*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 8. Reservorio de Almacenamiento Aracmayo (225 m<sup>3</sup>) RA-07 I y (125 m<sup>3</sup>) RA-07*

*II*

Fuente: EMSAPUNO S.A

## Unidades de Tratamiento en el Módulo I (Planta Aziruni)



*Figura 9. Aireador de Cascadas*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 10. Floculadores Mecánicos (Rápidos y Lentos)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 11. Sedimentador*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 12. Filtros Rápidos*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 13. Cámara de Desinfección o de Contacto, Cisterna de Almacenamiento de 1 250 m<sup>3</sup> y Estación de Bombeo del Módulo I*

Fuente: EMSAPUNO S.A

#### **Unidades de Tratamiento en el Módulo II (Planta Aziruni)**



*Figura 14. Canal de Ingreso Tipo Parshall*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 15. Floculador Vertical Hidráulico*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 16. Filtros Rápidos*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 17. Sala de Cloración y Cámara de Desinfección o de Contacto*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 18. Cisterna de Almacenamiento de 1 000 m<sup>3</sup> y Estaciones de Bombeo de los Módulos II y III*

Fuente: EMSAPUNO S.A

## Estaciones de Bombeo de la Captación de Agua Chimú y Planta Aziruni



*Figura 19. Estación de Bombeo de Captación de Agua Chimú (Nueva)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 20. Estación de Bombeo del Módulo I (Planta Aziruni)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 21. Estación de Bombeo del Módulo II (Planta Aziruni)*

Fuente: EMSAPUNO S.A



*Figura 22. Estación de Bombeo del Módulo III (Planta Aziruni)*

Fuente: EMSAPUNO S.A

## Insumos Utilizados en la Producción de Agua Potable



Figura 23. Policloruro de Aluminio (Planta Aziruni)

Fuente: EMSAPUNO S.A



Figura 24. Sulfato de Cobre (Planta Aziruni)

Fuente: EMSAPUNO S.A



Figura 25. Cisternas de Cloro Gas Licuado de Contenido Neto de 907 y de 68 kg  
(Planta Aziruni)

Fuente: EMSAPUNO S.A



Figura 26. Hipoclorito e Calcio (Planta Aziruni)

Fuente: EMSAPUNO S.A