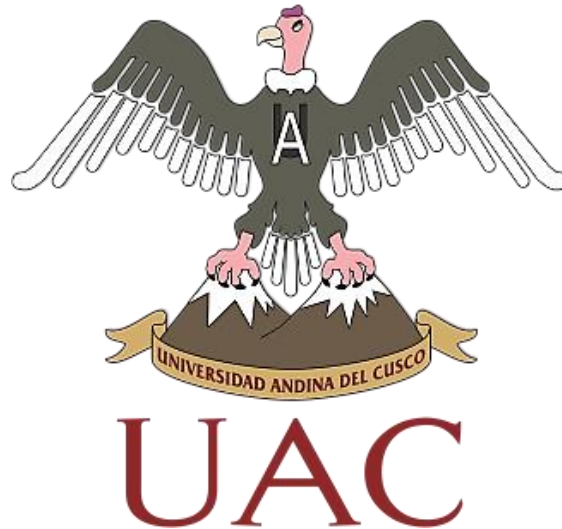




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SANTA ANA - CUSCO APLICANDO LA NORMA OS.020 Y EL REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000”.

Presentado por las Bachilleres:

LLAMOCCA TUPAYACHI, MARLIE.

PALIZA CHINO, DIANA SOLEDAD.

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

ING. WILLIAM RONALD DELGADO SALAZAR.

CUSCO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

A mis padres.

*Rubén Llamocca Vivanco y Emperatriz Tupayachi Cárdenas
Por darme el ejemplo diario de respeto y buenos valores, por
conducirme por la vida con mucha paciencia y amor, y sobre
todo por guiarme en esta etapa hasta llegar a este momento
donde siempre les estaré agradecida.*

A mis hermanos.

Orlando y Rubén

*Por todo su amor, apoyo, comprensión, preocupación,
confianza, principalmente por su amistad y su ejemplo.*

A mis sobrinos.

Camila, Eleanor, Diago y Bautista.

*Por haber sido fuente de inspiración para que yo mejore cada
día de mi vida, y por haberme sacado una sonrisa siempre.*

Atte. Marlié Llamocca Tupayachi



A Dios

Por guiar mi camino por el sendero del bien, brindarme la fortaleza y voluntad para realizar la presente tesis de investigación, los tiempos de Dios son perfectos.

A mis padres

Mario Paliza Aima y Julia Chino Chambi

Tengo la dicha de tener los mejores padres del mundo, gracias por su paciencia y por su guía en mi formación como persona, por brindarme los valores y la educación para hacer de mí una persona de bien, gracias por su apoyo incondicional, los amo infinitamente.

A mi hermano

Álvaro Eduardo Paliza Chino

Por ser la persona que más me apoyó en este proceso, su preocupación, compañía y las horas desveladas compartidas para que ambos lográramos nuestros propósitos.

A mi pareja

Jhonatan Hiroshi Kanashiro Vergara

Gracias por tomar mi mano cuando sentí que caía, por ser esa pequeña luminiscencia que disipaba los momentos oscuros, por brindarme tu apoyo y acompañarme en este proceso.

Atte. Diana Soledad Paliza Chino



AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarnos en el camino.

A nuestras familias por el apoyo incondicional que nos han brindado en esta etapa, a quienes debemos nuestros triunfos.

Al Ing. Álvaro Flores Boza por su orientación y apoyo para el desarrollo de la investigación.

A nuestro asesor, el Ing. William Ronald Delgado Salazar por su guía y entrega en el desarrollo de esta investigación.

A nuestros dictaminantes, el Ing. Carlos Mosqueira Lovón y el Ing. Calos Luna Loaiza, por su colaboración en la realización de nuestra investigación.

Al Sr. Julio Condori, y a todo el personal técnico y de seguridad de la EPS SEDACUSCO que colaboró con el desarrollo de la investigación.



RESUMEN

Esta investigación se sitúa en la Ciudad del Cusco y pretende evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la PTAP Santa Ana – Cusco, que abastece a una población de 124246 habitantes este se ajuste con mayor detalle a lo establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la norma OS.020 Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano, para ello estos valores fueron calculados de acuerdo con los datos de turbiedad del agua obtenidos antes y después de los filtros.

Para determinar la eficiencia del proceso de filtración se tomaron en cuenta los datos de turbiedad dentro, antes y a la salida de los filtros. Para poder tener más conocimiento del proceso de filtración se utilizó documentos de la PTAP que fueron brindados por la EPS SEDACUSCO S.A. Los meses elegidos fueron enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del año 2019, año en el que se realizó la investigación, estos meses fueron representativos de acuerdo con el estado meteorológico de la ciudad del Cusco.

Con los datos obtenidos de la planta se evalúa el porcentaje de eficiencia mediante la fórmula de eficiencia proporcionada por el Reglamento de Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 de la norma colombiana, estos resultados serán evaluados y comparados con los parámetros proporcionados en la norma peruana OS.020 del Reglamento Nacional de edificaciones.

El resultado de esta evaluación nos proporciona que, durante los meses con abundante precipitación pluvial, la PTAP Santa Ana – Cusco no cumple con los parámetros establecidos por la norma debido a que la turbiedad es abundante, por consecuencia la eficiencia del filtro se reduce.

En conclusión, los valores obtenidos de eficiencia varían de acuerdo con el estado meteorológico de la región del Cusco.

Palabras clave: eficiencia, filtros, filtración, turbiedad, planta de tratamiento de agua potable.



ABSTRACT

This research is located in the city of Cusco and aims to identify the efficiency of the filtration process in the Treatment Plant of Santa Ana – Cusco, which fits in more detail to what is established by the National Building Regulation (RNE) in the estándar OS.020 Water Treatment Plants for Human Consumption, for this purpose these values were calculated according to the turbidity data obtained from the water before and after the filters.

To determine the efficiency of the filtration process, turbidity data within the filters were taken into account, before entering the filters, when leaving the filters – before entering the reservoir. In order to have more knowledge of the operation and the filters operation and the filtration process, the functionality and operation documents of the PTAP were used, which were provided by the EPS SEDACUSCO. The months chosen within the investigation were representative according to the meteorological state of Cusco.

With the data obtained from the plant, the percentage of efficiency, that has been evaluated by a formula provided by the regulation of the RAS 2000 Drinking Water and Basic Sanitation Sector Regulation, these results will be evaluated and compared with the parameters provided in the OS.020 and the aforementioned RAS 2000.

The results of this evaluation provide us that, during the months with abundant rainfall, the Santa Ana – Cusco PTAP does not meet the parameters established by the estándar because the turbidity is abundant so the efficiency of the filter is reduced.

In conclusion, the values obtained from the data processing vary according to the meteorological state of Cusco.

Keywords: efficiency, filters. Filtration, turbidity, drinking water treatment plant.



INTRODUCCIÓN

La mayoría de las fuentes de agua de origen superficial, requieren un tratamiento para ser destinadas para el consumo humano. El uso de estas aguas implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas, debido a que el agua tiene la propiedad de ser un solvente universal, y por ello es capaz de transportar casi la totalidad de sustancias que encuentra a su paso, sean estas físicas, químicas o biológicas. En la presente investigación “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SANTA ANA - CUSCO APLICANDO LA NORMA OS.020 Y EL REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000”, se busca evaluar la eficiencia del proceso de Filtración de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana en la ciudad del Cusco.

Una planta de tratamiento de agua (PTAP), es una secuencia de operaciones y procesos unitarios convenientemente seleccionados y diseñados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables establecidos por las normas de calidad del agua.

En la presente tesis se utilizó la norma del RNE OS.0.20 para plantas de tratamiento de agua para consumo humano, el Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000, el Reglamento de calidad de Agua de Ley de Recursos Hídricos y la Norma de Límites Máximos permisibles, así como la utilización de hojas Excel para el procesamiento de datos y cálculo de resultados.

La presente tesis tiene como objetivo realizar una evaluación de la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana- Cusco, aplicando la norma OS.020 y el reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000, para posteriormente realizar una comparación de resultados entre ambas normas, e incluir parámetros importantes de la Norma Colombiana RAS 2000, no considerados dentro de la norma OS.020

En el capítulo I se formularan los problemas y las hipótesis que queríamos demostrar, en el capítulo II se presenta el marco teórico correspondiente al tema central, en el capítulo III se desarrolló la recopilación y el procesamiento de datos, asimismo en el capítulo IV se muestran



los resultados obtenidos, en el capítulo V las discusiones, Por último se formuló conclusiones y recomendaciones del tema de tesis “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SANTA ANA - CUSCO APLICANDO LA NORMA OS.020 Y EL REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000”.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA I

AGRADECIMIENTOS III

RESUMEN..... IV

ABSTRACT..... V

INTRODUCCIÓN VI

ÍNDICE GENERAL..... VIII

ÍNDICE DE TABLAS XIV

ÍNDICE DE FIGURAS..... XIX

1. *Capítulo 1 : Planteamiento Del Problema.* 1

 1.1 Identificación del Problema. 1

 1.1.1 Descripción del Problema. 1

 1.1.1.1 Ubicación geográfica..... 2

 1.1.2 Formulación interrogativa del problema..... 3

 1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general. 3

 1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos. 3

 1.2 Justificación e Importancia de la investigación. 3

 1.2.1 Justificación Técnica..... 3

 1.2.2 Justificación Social. 4

 1.2.3 Justificación por Viabilidad. 4

 1.2.4 Justificación por Relevancia. 5

 1.3 Limitaciones de la Investigación. 5

 1.3.1 Limitaciones de Estudio..... 5

 1.3.2 Limitaciones Técnicas..... 5

 1.4 Objetivo de la Investigación. 6

 1.4.1 Objetivo general..... 6

 1.4.2 Objetivos específicos. 6

2. *Capítulo 2: Marco Teórico.* 8

 2.1 Antecedentes de la tesis o investigación actual. 8

 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional..... 8



- 2.1.1.1 Antecedente Número 1: 8
- 2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional. 9
 - 2.1.2.1 Antecedente Número 2: 9
 - 2.1.2.2 Antecedente número 3: 10
- 2.2 Aspectos Teóricos pertinentes 12
 - 2.2.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable 12
 - 2.2.1.1 Tipos de Planta de Tratamiento de Agua..... 12
 - 2.2.1.1.1 Plantas de Filtración Rápida..... 12
 - 2.2.1.1.2 Plantas de Filtración Lenta 13
 - 2.2.1.2 Clasificación de plantas de Filtración Rápida por el tipo de Tecnología Utilizada¹⁴
 - 2.2.1.2.1 Sistema de tecnología convencional clásica o antigua..... 14
 - 2.2.1.2.2 Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS..... 15
 - 2.2.1.2.3 Sistemas de Tecnología Patentada 16
 - 2.2.2 Procesos unitarios de tratamiento de agua 16
 - 2.2.2.1 Coagulación 16
 - 2.2.2.1.1 Factores que influyen en la coagulación 17
 - 2.2.2.1.2 Tipos de Coagulante..... 17
 - 2.2.2.2 Mezcla Rápida 18
 - 2.2.2.3 Floculación 18
 - 2.2.2.4 Sedimentación 19
 - 2.2.2.4.1 Sedimentación de partículas discretas 19
 - 2.2.2.4.2 Sedimentación de partículas floculentas 20
 - 2.2.2.5 Filtración..... 20
 - 2.2.2.5.1 Mecanismos de Filtración 21
 - 2.2.2.5.2 Mecanismos de Transporte..... 21
 - 2.2.2.5.3 Factores que influyen en la filtración 23
 - 2.2.2.5.4 Características del medio filtrante 24
 - 2.2.2.5.5 Características hidráulicas 25
 - 2.2.2.5.6 Tipos de unidades de filtración 26
 - 2.2.2.5.7 Métodos de control operacional 27
 - 2.2.2.5.8 Medios filtrantes..... 28
 - 2.2.2.5.9 Filtración Directa..... 29



2.2.2.5.10 Filtros DEGREMONT	30
2.2.2.6 Desinfección del agua (cloración)	34
2.2.3 Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana - Cusco	35
2.2.3.1 Captación.....	36
2.2.3.2 Línea de conducción.....	36
2.2.3.3 Línea de conducción: Captación Laguna Piuray – Planta Santa Ana	36
2.2.3.4 Línea de conducción: Captación manantiales Maychu – Camara Kallanca	37
2.2.3.5 Procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana - Cusco	37
2.2.3.5.1 Pre - floculación.....	37
2.2.3.5.2 Filtración.....	38
2.2.3.5.3 Planta Auxiliar de Santa Ana.....	40
2.2.3.5.4 Desinfección	40
2.2.3.5.5 Reservorio.....	41
2.2.4 Ensayos de calidad de material filtrante	42
2.2.4.1 Granulometría del medio filtrante (ASTM D 422 – NTP 339.128)	42
2.2.4.2 Ensayo de Permeabilidad (ASTM D 2434)	42
2.2.4.2.1 Movimiento del fluido en el suelo. Ley de Darcy, coeficiente de permeabilidad	42
2.2.5 Norma OS.020 para Filtración Rápida.....	44
2.2.5.1 Alcance	44
2.2.5.2 Requisitos	44
2.2.5.2.1 Número de unidades.....	44
2.2.5.2.2 Dimensiones de las unidades filtrantes	44
2.2.5.2.3 Filtros rápidos convencionales con lecho filtrante de un solo material	44
2.2.5.2.4 Filtros rápidos con lechos mixtos y múltiples	46
2.2.6 Norma técnica colombiana RAS – 2000, capítulo 7: Filtración	53
2.2.6.1 Alcance	53
2.2.6.2 Clasificación de los procesos.....	53
2.2.6.3 Estudios previos.....	53
2.2.6.4 Descripción de los procesos.....	54
2.2.6.5 Parámetros de diseño.....	56
2.2.6.5.1 Filtros rápidos.....	56
2.2.6.6 Control de los procesos y operación.....	62



- 2.2.6.6.1 Filtro rápido..... 62
- 2.2.6.7 Tanque de almacenamiento del agua tratada..... 64
- 2.2.6.8 Control de la calidad del proceso..... 65
- 2.2.7 Escala valorativa..... 65
 - 2.2.7.1 Clasificación..... 65
- 2.3 Hipótesis..... 68
 - 2.3.1 Hipótesis general..... 68
 - 2.3.2 Sub hipótesis..... 68
- 2.4 Definición de variables..... 69
 - 2.4.1 Variables Dependientes..... 69
 - 2.4.2 Cuadro de Operacionalización de Variables..... 70
- 3. *Capítulo 3 : Metodología*..... 72
 - 3.1 Metodología de la Investigación..... 72
 - 3.1.1 Enfoque de la investigación..... 72
 - 3.1.2 Nivel o alcance de la investigación..... 72
 - 3.1.3 Método de investigación..... 72
 - 3.2 Diseño de la investigación..... 73
 - 3.2.1 Diseño Metodológico..... 73
 - 3.2.2 Diseño de ingeniería..... 73
 - 3.3 Población y Muestra..... 74
 - 3.3.1 Población..... 74
 - 3.3.1.1 Descripción de la población..... 74
 - 3.3.1.2 Cuantificación de la población..... 74
 - 3.3.2 Muestra..... 74
 - 3.3.2.1 Descripción de la muestra..... 74
 - 3.3.2.2 Cuantificación de la muestra..... 74
 - 3.3.2.3 Método de muestreo..... 74
 - 3.3.2.4 Criterios de evaluación de la muestra..... 75
 - 3.3.3. Criterios de inclusión..... 75
 - 3.4. Instrumentos..... 76
 - 3.4.1 Instrumentos metodológicos..... 76
 - 3.4.1.1 Fichas de Recolección de datos de tiempo de lavado..... 76



- 3.4.1.2 Fichas de Recolección de Datos de Turbiedad..... 77
- 3.4.1.3 Fichas de Recolección de Datos pH. 78
- 3.4.1.4 Fichas de Recolección de Alturas de poza para calcular el volumen que se pierde por lavado..... 79
- 3.4.1.5 Escala Valorativa..... 80
- 3.4.1.6 Ensayos de calidad el material filtrante..... 81
 - 3.4.1.6.1 Ensayo de granulometría..... 81
 - 3.4.1.6.2 Ensayo de permeabilidad..... 82
- 3.5. Procedimiento de recolección de datos..... 83
 - 3.5.1 Muestreo de agregados en campo 83
 - 3.5.2 Ensayos de Calidad del Material Filtrante 84
 - 3.5.2.1.1 Granulometría. 84
 - 3.5.3 Ensayo de Permeabilidad ASTM D 2434..... 86
 - 3.5.4 Recolección de información existente en la Planta de Santa Ana – Cusco. 88
 - 3.5.4.1 Ejemplo de registro de Fichas de datos de Altura de Poza de lavado. 89
 - 3.5.4.2 Ejemplo de registro de Fichas de datos de turbiedad. 90
 - 3.5.4.3 Ejemplo de registro de Fichas de datos de pH, color, conductividad y alcalinidad. Parámetros físicos - químicos..... 91
 - 3.5.4.4 Ejemplo de registro de Fichas de datos de tiempo de lavado..... 92
 - 3.5.4.5 Ejemplo de registro de Fichas de datos de Parámetros microbiológicos de agua tratada..... 93
- 3.6. Procedimiento de Análisis de datos..... 94
 - 3.6.1 Material filtrante 94
 - 3.6.1.1 Tipo de arena. 94
 - 3.6.1.2 Granulometría de arena..... 94
 - 3.6.1.3 Ensayo de permeabilidad..... 98
 - 3.6.2 Turbiedad..... 100
 - 3.6.2.1 Eficiencia..... 126
 - 3.6.3 Turbiedad en los filtros..... 134
 - 3.6.3.1 Eficiencia de los filtros..... 140
 - 3.6.3. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos..... 143
 - 3.6.3.1. Parámetros físicos – químicos..... 143
 - 3.6.3.1.1. pH..... 145



3.6.3.1.2. Color.....	146
3.6.3.1.3. Conductividad.....	147
3.6.3.1.4. Alcalinidad.....	149
3.6.3.1.5. Parámetros restantes.....	149
3.6.3.2. Parámetros microbiológicos.....	151
3.6.3.3. Parámetros inorgánicos.....	152
3.6.3.4. Eficiencia total de calidad de agua – PTAP Santa Ana.....	152
3.6.4. Lavado de filtros.....	153
3.6.4.1. Caudal que se pierde por lavado.....	153
3.6.4.2. Tiempo de lavado.....	157
3.6.4.3. Eficiencia de lavado de los filtros.....	159
3.6.5. Eficiencia total del sistema.....	159
4 <i>Capítulo 4 : Resultados.....</i>	<i>160</i>
4.1 Eficiencia de la PTAP Santa Ana – Cusco.....	160
4.2 Calidad del material filtrante de acuerdo con el CEPIS.....	160
4.3 Calidad de agua según parámetros de DIGESA.....	161
4.4 Tiempo óptimo de lavado.....	162
5 <i>Capítulo 5 : Discusión.....</i>	<i>163</i>
<i>Glosario.....</i>	<i>169</i>
<i>Conclusiones.....</i>	<i>172</i>
<i>Recomendaciones.....</i>	<i>174</i>
<i>Bibliografía.....</i>	<i>175</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>177</i>
<i>PLANOS.....</i>	<i>225</i>
<i>MANUAL DE OPERACIONES DE LA PTAP SANTA ANA.....</i>	<i>227</i>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<i>Tabla N° 1: Límites de Calidad de Agua para Plantas de Filtración Directa</i>	<i>13</i>
<i>Tabla N° 2: Granulometría de arena.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla N° 3: Granulometría capa soporte del medio filtrante.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla N° 4: Granulometría de arena.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla N° 5: Modalidades de lavado de filtros.</i>	<i>60</i>
<i>Tabla N°6: Sistemas de drenaje”.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla N° 7: Cuadro de Operacionalización de variables.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla N° 8: Ficha de recolección de datos del tiempo de lavado.</i>	<i>76</i>
<i>Tabla N° 9: Fichas de recolección de datos Turbiedad.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla N° 10: Tabla de recolección de datos de pH, conductividad y alcalinidad.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla N° 11. Fichas de recolección de datos de altura de la poza para calcular el volumen que se pierde por lavado.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla N° 12: Escala Valorativa para evaluar la eficiencia del sistema.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla N° 13: Formato para Ensayo de granulometría de agregados finos.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla N° 14: Formato de Ensayo de Permeabilidad.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla N° 15. Ensayo Granulométrico del medio filtrante</i>	<i>85</i>
<i>Tabla N° 16. Ensayo de Permeabilidad.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla N° 17. Tabla de toma de datos de las alturas del pozo de descarga.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla N° 18. Ficha de toma de datos de la turbiedad, 1° enero del 2019.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla N° 19. Fichas de toma de datos pH, conductividad y alcalinidad, del mes de enero... </i>	<i>91</i>
<i>Tabla N° 20: Ficha de registro de datos de tiempo de lavado, 1 de enero 2019.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla N° 21. Parámetros microbiológicos de agua tratada del año 2019.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla N° 22: Datos iniciales de la arena fina.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla N° 23: Granulometría de arena fina.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla N° 24: Porcentaje de material en el agregado.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla N° 25: Resumen de cálculo.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla N° 26: Parámetros considerados en la norma OS.020 y RAS 2000.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 27: Verificación de resultados de acuerdo con la norma OS.020 y RAS 2000.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla N° 28: Verificación de resultados de acuerdo con CEPIS.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla N° 29: Porcentaje de eficiencia según norma OS.020 y RAS 2000.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla N° 30: Promedio diario de turbiedades del mes de enero del 2019.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla N° 31: Promedio diario de turbiedades del mes de febrero del 2019.</i>	<i>101</i>



<i>Tabla N° 32: Promedio diario de turbiedades del mes de marzo del 2019.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla N° 33: Promedio diario de turbiedades del mes de abril del 2019.</i>	<i>103</i>
<i>Tabla N° 34: Promedio diario de turbiedades del mes de mayo del 2019.</i>	<i>104</i>
<i>Tabla N° 35: Promedio diario de turbiedades del mes de junio del 2019.</i>	<i>105</i>
<i>Tabla N° 36: Frecuencia acumulada de días para el gráfico.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla N° 37: Parámetros de evaluación de las normas OS.020 y RAS 2000.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla N° 38: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de enero.</i>	<i>115</i>
<i>Tabla N° 39: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de febrero.</i>	<i>117</i>
<i>Tabla N° 40: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de marzo.</i>	<i>119</i>
<i>Tabla N° 41: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de abril.</i>	<i>121</i>
<i>Tabla N° 42: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de mayo.</i>	<i>123</i>
<i>Tabla N° 43: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de junio.</i>	<i>125</i>
<i>Tabla N° 44: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada de enero a junio del 2019.</i>	<i>125</i>
<i>Tabla N° 45: Eficiencia del proceso de filtración.</i>	<i>126</i>
<i>Tabla N° 46: Resumen del promedio de turbiedades en los filtros del mes de enero.</i>	<i>134</i>
<i>Tabla N° 47: Resumen del promedio de turbiedades del mes de febrero.</i>	<i>135</i>
<i>Tabla N° 48: Resumen del promedio de turbiedades del mes de marzo.</i>	<i>136</i>
<i>Tabla N° 49: Resumen del promedio de turbiedades del mes de abril.</i>	<i>137</i>
<i>Tabla N° 50: Resumen del promedio de turbiedades del mes de mayo.</i>	<i>138</i>
<i>Tabla N° 51: Resumen del promedio de turbiedades del mes de junio.</i>	<i>139</i>
<i>Tabla N° 52: Eficiencia de los filtros, enero 2019.</i>	<i>140</i>
<i>Tabla N° 53: Eficiencia promedio enero - junio 2019.</i>	<i>141</i>
<i>Tabla N° 54: promedio mensual pH, color, conductividad y alcalinidad, enero 2019.</i>	<i>143</i>
<i>Tabla N° 55: promedio mensual pH, color, conductividad y alcalinidad, febrero 2019.</i>	<i>144</i>
<i>Tabla N° 56: ph promedio mensual 2019.</i>	<i>145</i>
<i>Tabla N° 57: Comparación de resultados de acuerdo con el reglamento de DIGESA y RAS 2000.</i>	<i>146</i>
<i>Tabla N° 58: Promedio mensual del color, 2019.</i>	<i>146</i>
<i>Tabla N° 59: Comparación de los valores obtenidos de color, aplicando el reglamento de DIGESA y RAS 2000.</i>	<i>147</i>
<i>Tabla N° 60: Promedio mensual de conductividad, 2019.</i>	<i>147</i>
<i>Tabla N° 61: Comparación de los valores obtenidos de color, aplicando el reglamento de DIGESA y RAS 2000.</i>	<i>148</i>



<i>Tabla N° 62: Promedio mensual de alcalinidad, enero a junio 2019.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla N° 63: Parámetros físicos químicos - PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla N° 64: Comparación de valores obtenidos de parámetros físicos químicos, con las normas DIGESA y RAS 2000.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla N° 65: Evaluación de eficiencia de parámetros físicos- químicos PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla N° 66: Promedio de valores de parámetros microbiológicos enero a junio del 2019</i>	<i>151</i>
<i>Tabla N° 67: Comparación de valores obtenidos de parámetros microbiológicos, con las normas DIGESA y RAS 2000.</i>	<i>151</i>
<i>Tabla N° 68: Evaluación de eficiencia de parámetros microbiológicos PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla N° 69: Parámetros inorgánicos - PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla N° 70: Comparación de valores obtenidos de parámetros inorgánicos, con las normas DIGESA y RAS 2000.</i>	<i>152</i>
<i>Tabla N° 71: Evaluación de eficiencia de parámetros inorgánicos PTAP Santa Ana – Cusco.</i>	<i>152</i>
<i>Tabla N° 72: Resumen de eficiencia según reglamento de DIGESA y RAS 2000.</i>	<i>153</i>
<i>Tabla N° 73: Volumen de perdida de caudal, enero 2019.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla N° 74: Volumen de perdida de caudal, febrero 2019.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla N° 75: Volumen de perdida de caudal, junio 2019.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla N° 76: Resumen caudal que se pierde por lavado.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla N° 77: Promedio del tiempo de lavado, 5 de febrero 2019.</i>	<i>157</i>
<i>Tabla N° 78: Promedio del tiempo de lavado, 24 de febrero 2019.</i>	<i>157</i>
<i>Tabla N° 79: Resumen de tiempo de lavado por meses.</i>	<i>158</i>
<i>Tabla N° 80: Promedio mensual de tiempo de lavado.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla N° 81: Eficiencia de lavado de filtros.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla N° 82: Eficiencia total sistema de filtración.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla N° 83: Eficiencia de la PTAP Santa Ana - Cusco</i>	<i>160</i>
<i>Tabla N° 84: Comparación de valores obtenidos de la arena fina de la PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla N° 85: Parámetros de calidad de Agua evaluadas según reglamento de DIGESA.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla N° 86: Resumen de Tiempo de lavado.</i>	<i>162</i>
<i>Tabla N° 87. Especificaciones técnicas del material filtrante.</i>	<i>163</i>
<i>Tabla N° 88. Espesor y Características granulométricas.....</i>	<i>163</i>



Tabla N° 89: Parámetros de la norma colombiana que deben ser incluidos en la norma OS.020..... 164

Tabla N° 90: Modalidad de lavado de filtros – RAS 2000..... 165

Tabla N° 91: Sistema de drenaje..... 165

Tabla N° 92. Matriz de consistencia. 178

Tabla N° 93. Turbiedad en los filtros, 01 de marzo del 2019..... 188

Tabla N° 94. Turbiedades, 02 de marzo del 2019..... 189

Tabla N° 95. Turbiedades, 03 de marzo del 2019..... 190

Tabla N° 96. Turbiedades, 04 de marzo del 2019..... 191

Tabla N° 97. Turbiedades, 05 de marzo del 2019..... 192

Tabla N° 98. Turbiedades, 06 de marzo del 2019..... 193

Tabla N° 99. Turbiedades, 07 de marzo del 2019..... 194

Tabla N° 100. Turbiedades, 08 de marzo del 2019..... 195

Tabla N° 101. Turbiedades, 09 de marzo del 2019..... 196

Tabla N° 102. Turbiedades, 10 de marzo del 2019..... 197

Tabla N° 103. Turbiedades, 11 de marzo del 2019..... 198

Tabla N° 104. Turbiedades, 12 de marzo del 2019..... 199

Tabla N° 105. Turbiedades, 13 de marzo del 2019..... 200

Tabla N° 106. Turbiedades, 14 de marzo del 2019..... 201

Tabla N° 107. Turbiedades, 15 de marzo del 2019..... 202

Tabla N° 108. Turbiedades, 16 de marzo del 2019..... 203

Tabla N° 109. Turbiedades, 17 de marzo del 2019..... 204

Tabla N° 110. Turbiedades, 18 de marzo del 2019..... 205

Tabla N° 111. Turbiedades, 19 de marzo del 2019..... 206

Tabla N° 112. Turbiedades 20 de marzo del 2019..... 207

Tabla N° 113. Turbiedades, 21 de marzo del 2019..... 208

Tabla N° 114. Turbiedades, 22 de marzo del 2019..... 209

Tabla N° 115. Turbiedades, 23 de marzo del 2019..... 210

Tabla N° 116. Turbiedades, 24 de marzo del 2019..... 211

Tabla N° 117. Turbiedades, 25 de marzo del 2019..... 212

Tabla N° 118. Turbiedades, 26 de marzo del 2019..... 213

Tabla N° 119. Turbiedades, 27 de marzo del 2019..... 214

Tabla N° 120. Turbiedades, 28 de marzo del 2019..... 215

Tabla N° 121. Turbiedades, 29 de marzo del 2019..... 216



Tabla N° 122. Turbiedades, 30 de marzo del 2019..... 217

Tabla N° 123. Turbiedades, 31 de marzo del 2019..... 218



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1: Vista Frontal de los filtros dispuestos paralelamente en la PTAP Santa Ana - Cusco.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura N° 2: Ubicación Geográfica del Objeto de Estudio.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura N° 3: Floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas.</i>	<i>19</i>
<i>Figura N° 4: Diferentes mecanismos que pueden realizar transporte.</i>	<i>22</i>
<i>Figura N° 5: Esquema de un filtro Bi-flow.</i>	<i>27</i>
<i>Figura N° 6: Filtro ascendente - descendente bajo presión horizontal.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura N° 7: Placa soporte equipada con bujías.</i>	<i>31</i>
<i>Figura N° 8: Filtro de precapa.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura N° 9: Esquema de instalación de un filtro de pre - capa, con lavado “Canon” empastado con una materia inerte.</i>	<i>33</i>
<i>Figura N° 10: Esquema de la planta de tratamiento Santa Ana - Cusco.</i>	<i>40</i>
<i>Figura N° 11: Valores del coeficiente de permeabilidad para distintos suelos.</i>	<i>43</i>
<i>Figura N° 12: Diagrama de flujo.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura N° 13: Agregado fino de la PTAP Santa Ana – Cusco.</i>	<i>83</i>
<i>Figura N° 14: Obtención del agregado fino, de la muestra zarandeada.</i>	<i>83</i>
<i>Figura N° 15. Granulometría de la Arena del medio filtrante.</i>	<i>84</i>
<i>Figura N° 16. Ensayo de Permeabilidad </i>	<i>86</i>
<i>Figura N° 17. Ensayo de permeabilidad.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura N° 18. Ensayo de permeabilidad.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura N° 19. Ensayo de Permeabilidad </i>	<i>87</i>
<i>Figura N° 20. Ensayo de Permeabilidad </i>	<i>87</i>
<i>Figura N° 21: Tabla de valores de k en cm/seg.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura N° 22: Turbiedad promedio diaria de agua cruda de enero - junio del 2019.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura N° 23: Turbiedad promedio diaria de agua tratada de enero a junio del año 2019. </i>	<i>107</i>
<i>Figura N° 24: Turbiedad del mes de enero 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.</i>	<i>108</i>
<i>Figura N° 25: Turbiedad del mes de febrero 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.</i>	<i>109</i>
<i>Figura N° 26: Turbiedad del mes de marzo 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.</i>	<i>110</i>
<i>Figura N° 27: Turbiedad del mes abril 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.</i>	<i>111</i>



Figura N° 28: Turbiedad del mes de mayo 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio. 112

Figura N° 29: Turbiedad del mes de junio 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio. 113

Figura N° 30: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de enero..... 114

Figura N° 31: Turbiedad del agua ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de enero. 115

Figura N° 32: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de enero. 115

Figura N° 33: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de febrero. 116

Figura N° 34: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de febrero. 116

Figura N° 35: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de febrero. 117

Figura N° 36: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de marzo. 118

Figura N° 37: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de marzo. 118

Figura N° 38: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de marzo. 119

Figura N° 39: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de abril. 120

Figura N° 40: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de abril. 120

Figura N° 41: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de abril. 121

Figura N° 42: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de mayo. 122

Figura N° 43: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de mayo. 122

Figura N° 44: Valor eficiente de turbiedad - salida del reservorio según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de mayo. 123



<i>Figura N° 45: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de junio.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura N° 46: Turbiedad del agua ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de junio.</i>	<i>124</i>
<i>Figura N° 47: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de junio.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura N° 48: Eficiencia mes de enero - 2019.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura N°49: Eficiencia mes de febrero - 2019.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura N° 50: Eficiencia mes de marzo - 2019.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura N° 51: Eficiencia mes de abril - 2019.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura N° 52: Eficiencia mes de mayo - 2019.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura N° 53: Eficiencia mes de junio, 2019.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura N° 54: Eficiencia mensual enero a junio del 2019.</i>	<i>133</i>
<i>Figura N° 56: Eficiencia de los filtros, del promedio mensual enero a junio del 2019.</i>	<i>141</i>
<i>Figura N° 57: Eficiencia promedio de los filtros.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura N° 58: Gráfico de variación de pH, enero a junio 2019.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura N° 59: Gráfico de variación del color, enero a junio 2019.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura N° 60: Gráfico de variación de conductividad, enero a junio 2019.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura N° 61: Toma de muestra</i>	<i>180</i>
<i>Figura N° 62: Visita PTAP Santa Ana - Cusco</i>	<i>180</i>
<i>Figura N° 63: Filtros PTAP Santa Ana – Cusco.</i>	<i>180</i>
<i>Figura N° 64: Material filtrante PTAP Santa Ana - Cusco.....</i>	<i>180</i>
<i>Figura N° 65: Turbidímetro digital</i>	<i>180</i>
<i>Figura N° 66: Clorímetro</i>	<i>180</i>
<i>Figura N° 67: PTAP Santa Ana – Cusco.</i>	<i>181</i>
<i>Figura N° 68: Reservorio PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura N° 69: Sala de Floculación PTAP Santa Ana – Cusco.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura N° 70: Certificado de granulometría de arena.....</i>	<i>186</i>
<i>Figura N° 71: Certificado ensayo de permeabilidad.....</i>	<i>187</i>
<i>Figura N° 72: Fichas de resumen de pH del agua cruda y tratada – mes de enero 2019. ...</i>	<i>219</i>
<i>Figura N° 73: Fichas de resumen de pH del agua cruda y tratada – mes de febrero 2019..</i>	<i>220</i>
<i>Figura N° 74: Fichas de resumen de pH del agua cruda y tratada – mes de marzo 2019....</i>	<i>221</i>
<i>Figura N° 75: Fichas de resumen de pH del agua cruda y tratada – mes de abril 2019.....</i>	<i>222</i>
<i>Figura N° 76: Fichas de resumen de pH del agua cruda y tratada – mes de mayo 2019.....</i>	<i>223</i>



Figura N° 77: Fichas de resumen de pH del agua cruda y tratada – mes de junio 2019. 224



1. Capítulo 1 : Planteamiento Del Problema.

1.1 Identificación del Problema.

1.1.1 Descripción del Problema.

La ciudad del Cusco cuenta con una población urbana de 425,648 habitantes, del total de la población aproximadamente un 87.20% cuenta con el servicio de agua potable. Los sistemas Vilcanota y Piuray son los más importantes con una incidencia del 52.59% y 29.19% respectivamente. Además, el sistema Vilcanota abarca cuatro de los cinco distritos de la ciudad, Santiago, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo; mientras que el sistema Piuray suministra agua potable a la población asentada en el cercado del Cusco y parte del distrito de San Sebastián.

La planta de tratamiento de agua potable de Santa Ana se construyó en el año 1970 y está ubicada en el barrio de Carmencca del distrito de Cusco, está diseñado para tratar aguas crudas provenientes de la Laguna de Piuray, es de tipo de filtración directa de filtros horizontales de patente DEGREMONT (francesa), con lavado mixto de agua retorno filtrada y aire a presión proporcionada con compresoras de aire. Sin embargo, la PTAP Santa Ana fue construida antes que la norma OS.020 fuera aprobada debido a esto, no considera ciertos criterios de diseño de acuerdo a la norma OS.020 en cuanto al proceso de filtración como por ejemplo granulometría de arena, diseño de sedimentadores, floculadores y el diseño de los filtros, criterios que si se detallan en el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico - RAS 2000.

Es de considerar que los filtros son las unidades más complejas de una planta de tratamiento de agua potable y comprenden el corazón de una planta de tratamiento de agua potable por filtración, gracias al proceso de filtración depende el éxito o fracaso de una planta de tratamiento de agua potable; asimismo la relación que exista entre las características del afluente y el medio filtrante implica un factor determinante en el funcionamiento del filtro, los cuales garantizarán su máxima eficiencia.

Asimismo, las Plantas de tratamiento de Agua potable deben garantizar el cumplimiento de normas que regulan el proceso de Potabilización del agua, además de garantizar los estándares de calidad para una adecuada potabilización y desinfección del agua para que sea apta para consumo humano.



Figura N° 1: Vista Frontal de los filtros dispuestos paralelamente en la PTAP Santa Ana - Cusco.

Fuente: SUNASS. (2013). *Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de Gestión aplicable a la Empresa de Servicio de agua potable y alcantarillado SEDACUSCO S.A.*

1.1.1.1 Ubicación geográfica.

El objeto de investigación es La planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana – Cusco, se encuentra ubicada en la intersección de las avenidas Andrés Avelino Cáceres y Humberto Vidal Unda, en el distrito de Cusco, provincia del Cusco, departamento del Cusco.

Se sitúa a una altitud de 3590 msnm y tiene un perímetro de 366 metros y un área de 7267 m².

a) Coordenadas UTM.

N: 8504463.97

E: 826032.26



Figura N° 2: Ubicación Geográfica del Objeto de Estudio

Fuente: GOOGLE EARTH PRO.



1.1.2 Formulación interrogativa del problema.

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general.

¿Cuál será la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 y el reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos.

Problema Específico Número 1:

¿Cuál será la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020?

Problema Específico Número 2:

¿Cuál será la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000?

Problema Específico Número 3:

¿Cuál será el resultado de evaluar mediante ensayos de calidad las condiciones del material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS)?

Problema Específico Número 4:

¿Cumple el efluente de los filtros de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA?

Problema Específico Número 5:

¿Cuál es el periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua Potable Santa Ana - Cusco?

1.2 Justificación e Importancia de la investigación.

1.2.1 Justificación Técnica.

La presente investigación se realizó haciendo uso de los conocimientos dados en la especialidad de Hidráulica, dentro de la asignatura de saneamiento, mediante el estudio de la eficiencia de los filtros utilizando la norma peruana OS.020 del RNE y la norma colombiana RAS 2000, se realizó la evaluación de los parámetros de turbiedad para la eficiencia de los filtros y la



comparación de los parámetros de las normas mencionadas. Además, en esta investigación se obtuvieron datos y resultados que al ser procesados y analizados nos proporcionaron una base informativa actual y futura acerca del funcionamiento de los filtros dentro de la PTAP, dando paso a poder profundizar esta investigación, así como también formular nuevos temas de investigación a partir de esta.

1.2.2 Justificación Social.

La presente investigación beneficia a diferentes sectores de la población. Primeramente, a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil ya que podrán tener acceso a información sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco, al ser una patente de DEGREMONT no hay información disponible sobre el funcionamiento y operación de la planta de tratamiento. Asimismo, se realizó la evaluación de la eficiencia del proceso de filtración aplicando la norma peruana OS.020 y la norma técnica colombiana RAS 2000, mediante la presente investigación podrán tener diferentes perspectivas sobre los resultados y aportar al estudio la modificación o inclusión de parámetros más rigurosos dentro de la normativa peruana. En segundo lugar, beneficia a la EPS. SEDACUSCO para que mediante los resultados hallados en la investigación se puedan tomar diferentes criterios de inclusión y mejorar el proceso de filtración. Por otro lado, la población se verá beneficiada debido a que la presente investigación será de dominio público y se podrá tener acceso a los resultados obtenidos. Por último, esta investigación es una parte específica de un amplio tema como son las plantas de tratamiento de agua potable, por lo que esta investigación deja antecedentes y recomendaciones importantes para futuras investigaciones que complementen y conformen un estudio definitivo.

1.2.3 Justificación por Viabilidad.

La presente investigación es viable gracias a que reúne las características y condiciones técnicas para el desarrollo de esta, las cuales fueron:

- Los investigadores contaron con los recursos necesarios para realizar la investigación (tiempo, recursos humanos y asesoría adecuada).
- Se contó con la autorización de la EPS SEDACUSCO SA, para poder realizar la investigación en las instalaciones de la Planta de agua Potable Santa Ana – Cusco, además la EPS SEDACUSCO SA proporcionó el acceso a la información y brindó los datos requeridos por las tesis.



- Se dispuso de las correspondientes normativas técnicas peruanas como la norma OS.020 Plantas de tratamiento de agua para consumo humano del Reglamento Nacional de Edificaciones y el Reglamento de calidad de Agua de DIGESA.
- Se dispuso de las normativas extranjeras para realizar la comparación de resultados, las cuales fueron el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico RAS 2000 de la Norma Técnica Colombiana, los 4 Manuales del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente CEPIS.

1.2.4 Justificación por Relevancia.

La presente tesis de investigación es relevante debido a que no se cuenta con trabajos de investigación en base a evaluaciones de procesos unitarios en Plantas de Tratamiento de Agua Potable, además se realizó una comparación de resultados entre la norma peruana OS.020 y la norma técnica colombiana RAS 2000, para poder identificar carencias normativas dentro de la norma peruana y además aportar al estudio la inclusión o modificación de nuevos y más rigurosos parámetros tomando como referente la norma técnica colombiana RAS 2000.

1.3 Limitaciones de la Investigación.

1.3.1 Limitaciones de Estudio.

La presente investigación, se limita a la evaluación de la eficiencia del proceso de filtración de la Planta de tratamiento de Agua Potable Santa Ana – Cusco, lugar donde se realizó la recolección de datos y a los cuales se aplicó la norma peruana OS.020 del RNE y el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico RAS 2000 de la norma técnica colombiana actualizada en el 2017.

- Se requiere una base de datos de 6 meses para poder realizar la evaluación de los filtros de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana – Cusco, nos limitamos a la recolección de datos de los meses de enero a junio del año 2019, teniendo en cuenta el estado meteorológico de la ciudad del Cusco.

1.3.2 Limitaciones Técnicas.

- Disponibilidad de datos para la evaluación de la eficiencia del proceso de Filtración, por parte de la EPS SEDACUSCO S.A, Gerencia de Operaciones, Departamento de Distribución y Producción de agua.
- Disponibilidad de Laboratorios Certificados de Suelos, para que la PTAP proporcione el material del lecho filtrante condicionó que se realice los ensayos de calidad del material



filtrante en un laboratorio certificado, por lo que tuvimos que enviar el material de estudio a un laboratorio certificado en Puerto Maldonado.

- Se realizó la comparación de las normas OS.020 y RAS 2000, de los parámetros contemplados por ambas normas tales como: turbiedad, pH y características del medio filtrante. Para las características del medio filtrante la norma OS.020 incluye parámetros de pérdidas por ignición y solubilidad del Ácido Clorhídrico (HCl) al 40%, debido a que en la norma colombiana RAS 2000 no se consideran estos ensayos, no se realizó una comparación de estos parámetros ya que no se tenía un valor de comparación para estos dos ensayos.
- En la presente investigación no se pudo realizar el ensayo de Expansión del Lecho filtrante propuesto por el CEPIS, debido a que no se contó con el apoyo de personal autorizado de la EPS SEDACUSCO para la realización in situ de este ensayo.
- En la presente investigación, la EPS SEDACUSCO S.A. brindo datos de laboratorio de los meses enero a junio del 2019 correspondientes a los pH, turbiedad, color, alcalinidad y conductividad para realizar posteriormente el cálculo respectivo.
- En la presente investigación, la EPS SEDACUSCO S.A. brindo resultados de laboratorio en una tabla resumen de enero a junio del 2019, correspondiente a los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que hacían falta para la investigación.
- En la presente investigación, el personal encargado de la PTAP Santa Ana –Cusco, limitó el acceso a la información y solo proporcionó datos de alturas de poza de descarga correspondiente a los meses de enero, febrero y junio.

1.4 Objetivo de la Investigación.

1.4.1 Objetivo general.

Evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 y el reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000.

1.4.2 Objetivos específicos.

Objetivo específico Número 1:

Evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020.



Objetivo específico Número 2:

Evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000.

Objetivo Específico Número 3:

Evaluar mediante ensayos de calidad las condiciones del material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS).

Objetivo Específico Número 4:

Determinar el cumplimiento de la calidad del efluente de los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA.

Objetivo Específico Número 5:

Determinar el periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco.



- 2. Capítulo 2: Marco Teórico.
- 2.1 Antecedentes de la tesis o investigación actual.
- 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional.
- 2.1.1.1 Antecedente Número 1:

TESIS DE GRADO : “EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CENTRO POBLADO DE YAURI, DISTRITO DE YAURI, PROVINCIA DE ESPINAR, REGIÓN CUSCO”

AUTOR : RODRIGO LUIS DUEÑAS CORRALES.
UNIVERSIDAD : UNIVERSIDAD DE CATÓLICA DE SANTA MARÍA.
LUGAR Y FECHA : PERÚ, AREQUIPA 2016.

Tesis para obtener el título de ingeniero civil.

Esta investigación tuvo como objetivo principal *“Evaluar la operatividad y eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable de tecnología convencional existente, y plantear la alternativa más adecuada para su mejoramiento; asegurando la eficiencia de su funcionamiento, operación y mantenimiento, de tal manera que el agua producida sea suficiente en cantidad, y cumpla con las normas de calidad del agua de consumo”*. Con ese fin, se desarrolló la evaluación del funcionamiento y eficiencia de los procesos unitarios de la PTAP de tecnología convencional lo cual permitió determinar que los procesos unitarios como la dosificación, mezcla rápida, floculación, decantación y filtración; resultaban poco eficientes, debido al alto caudal de tratamiento, además la planta se ve en la obligación de paralizar todo el funcionamiento debido a la alta turbiedad que se da en épocas de lluvia.

Al finalizar la investigación se realizó la propuesta de mejoramiento de la PTAP que tendrá un horizonte mínimo de 15 años, con un presupuesto que asciende a la suma de S/. 393,881.26, y un tiempo de ejecución de 60 días calendarios.

Concluyendo que *“En el proceso de filtración, se ha incrementado la tasa de filtración de 120 m³/m²-día a 270 m³/m²-día, mediante el cambio del medio filtrante a un lecho doble de arena y antracita de 0.65m de espesor. Todas estas acciones permitirán que el efluente producido por los filtros sea menor a 0.10 UNT, garantizando la ausencia de huevos de parásito.”*

Este antecedente tiene relación con la presente investigación; puesto que se realizó un estudio detallado de cada proceso dentro de la PTAP, por lo que lleva correlación con la presente investigación al evaluar el proceso de filtración.



2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional.

2.1.2.1 Antecedente Número 2:

TESIS DE GRADO : “EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA REHABILITADA DE AGUA POTABLE SANTA LUISA DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA (EMPAGUA) DE LA CIUDAD DE GUATEMALA”

AUTOR : GERMAN RAFAEL REYES VELA

UNIVERSIDAD : UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS GUATEMALA.

LUGAR Y FECHA : GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004.

Tesis para obtener el título de ingeniero civil.

La presente tesis tiene por objetivo principal *“Evaluar el proceso de filtración de la planta de tratamiento Santa Luisa ya rehabilitada, la cual es una de las tres plantas que ha sido rehabilitada, de las seis que abastecen a la ciudad capital”*.

En este estudio se recopilaban los datos de los análisis físicos químicos que realiza el laboratorio de EMPAGUA en el periodo 2003-2004, para conocer los porcentajes de remoción en los filtros y realizar el análisis estadístico de turbiedad y pH. Dando como resultado que el 80% del tiempo se obtienen valores, por debajo del límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR 29-001. Así mismo, se obtuvieron los caudales de entrada a la planta Santa Luisa para el año 2004, con los cuales se realizó el análisis estadístico respectivo, con el objetivo de conocer el caudal promedio con que opera la planta de tratamiento, de acuerdo a los resultados obtenidos la planta de tratamiento opera con un caudal de 288 lt/s. Para la evaluación de las unidades de filtración se utilizaron los procedimientos propuestos por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente CEPIS, contenido en el manual IV: Evaluación, Filtración Rápida, Tomo III: Procesos – tecnología Convencional.

Concluyendo que *“El tiempo óptimo de lavado para las unidades de filtración es de seis minutos, igual al tiempo contemplado en el diseño y utilizado en el lavado de las unidades”*.

“El resultado granulométrico indica que el diámetro efectivo de la arena de los cinco filtros es muy fino, en comparación a lo recomendado en el diseño”.

“Las unidades de filtración presentan espesores de arena variables y son inferiores a 60 centímetros”.

Este antecedente se relaciona con la presente investigación por la similitud del estudio del proceso de filtración dentro de una Planta de tratamiento de Agua Potable con filtración rápida, sirviendo como base para el estudio del proceso de filtración de la Planta de tratamiento de Agua Potable que forma parte de nuestra investigación.

**2.1.2.2 Antecedente número 3:**

TESIS DE GRADO : “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUENGASI – EPSMAPS - QUITO, E INVESTIGACIÓN EN COLUMNA DE FILTRACIÓN PILOTO”

AUTOR : JOSÉ FERNANDO OJEDA NOLIVOS.
UNIVERSIDAD : ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
LUGAR Y FECHA : QUITO – ECUADOR, 2013.

Tesis para obtener el título de ingeniero civil.

El objetivo del presente trabajo de investigación es *“Evaluar el sistema de filtración de la planta de tratamiento de agua potable de Puengasi (PTAP), de la Empresa Publica Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPSMAPS) de Quito, Ecuador”*.

En el desarrollo de la investigación se evaluaron en una primera fase los filtros del prototipo, determinándose con pruebas y ensayos las características granulométricas y espesores del lecho filtrante y, sus parámetros operativos como: velocidad de filtración, velocidad de lavado, expansión del lecho filtrante, tiempo de lavado, fluctuaciones de pérdida de carga.

Los filtros fueron operados con flujo continuo a gravedad, con el agua de los clarificadores de la planta; los lechos filtrantes piloto fueron evaluados en función de la turbiedad del efluente, carrera de filtración y de la evolución y distribución de la pérdida de carga, parámetros que fueron monitoreados y medidos durante las pruebas.

Concluyendo que *“Los porcentajes de expansión obtenidos en los lechos filtrantes son bajos y se ubican en el rango del 13.7% a 18.2% y presenta n un promedio de 16.4%, valores inferiores al rango óptimo de expansión del 20% al 25% que recomienda la bibliografía”*.

“El tamaño efectivo promedio de la antracita de los filtros del prototipo, actualmente, es de 0.55 mm, siendo menor a su rango original de 1 a 1.10mm. De acuerdo a las recomendaciones técnicas la capa de antracita no debe contener granos más pequeños a 0.7 mm, los resultados de los análisis granulométricos evidencian que entre el 13% y 23% del peso acumulado de la antracita pasa el tamiz N°25 (0.707 mm), de igual modo se tiene el incremento del coeficiente de uniformidad de su valor original 1.60 a un valor promedio de 2.98 y la presencia de una fracción alta de granos finos”.



“La arena de los filtros de la PTAP, ha sufrido una moderada variación con relación a sus características granulométricas originales, así su tamaño efectivo de originalmente 0.45 mm, se ha incrementado a un valor promedio de 0.51 mm; el coeficiente de uniformidad obtenido en el estudio $CU=1.46$, es casi similar al de la arena original que tenía un $CU=1.47$ ”.

Las condiciones de estudio del proceso de filtración de la Planta de tratamiento Puengasi – EPSMAPS - Quito son similares a la planta de tratamiento de Agua Potable Santa Ana – Cusco, la cual forma parte de nuestra investigación, además se realizaron los mismos ensayos para evaluar el lecho filtrante.

2.2 Aspectos Teóricos pertinentes

2.2.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable

Una Planta de tratamiento de agua potable es una secuencia de operaciones y procesos unitarios convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas. (CEPIS, 2004)

Según (OS.020, 2009) “el objetivo del tratamiento es la remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del agua de bebida hasta los límites establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país”. En adición, la norma OS.020 indica que “Deberán someterse a tratamiento las aguas destinadas al consumo humano que no cumplan con los requisitos del agua potable establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país. En el tratamiento del agua no se podrá emplear sustancias capaces de producir un efluente con efectos adversos a la salud”.

2.2.1.1 Tipos de Planta de Tratamiento de Agua

2.2.1.1.1 Plantas de Filtración Rápida

Se denominan plantas de filtración rápida porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m². d, de acuerdo a las características del agua, el medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones. (CEPIS, 2004, pág. 110)

“A consecuencia de las altas velocidades con las que operan los filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación se procede con el lavado del filtro, aplicando el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos (dependiendo del tipo de sistema de lavado) para descolmatar el medio filtrante, devolviéndole su porosidad inicial y reanudar la operación de la unidad. De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos soluciones dentro de este tipo de plantas: plantas de filtración rápida completa y plantas de filtración directa”. (CEPIS, 2004, pág. 110)

a. Planta de Filtración Rápida Completa

“Este tipo de planta está integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. La coagulación tiene la finalidad de mejorar la eficiencia de remoción de partículas coloidales en el proceso de decantación (sedimentación de partículas floculentas). El proceso final de la filtración desempeña una labor de acabado, le da el pulimento final al agua”. (Maldonado, 2004, pág. 102)

“Según investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, el filtro debe producir un efluente con una turbiedad menor o igual a 0.10 UNT para garantizar que esté libre de huevos de parásitos (*Giardia*, *Cryptosporidium*, etc). Para lograr esta eficiencia en la filtración, es necesario que los decantadores produzcan un agua con 2 UNT como máximo.” (CEPIS, 2004)

b. Planta De Filtración Directa

Según (CEPIS, 2004) “Es una alternativa de filtración rápida, constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras. Son ideales para este tipo de alternativa las aguas provenientes de embalses o represas, que operan como grandes pre - sedimentadores y proporcionan aguas constantemente claras y poco contaminadas”.

“Cuando la fuente de abastecimiento es confiable, donde la turbiedad del agua no supera de 10 a 20 UNT el 80% del tiempo, y no supera los 30 UNT y las 25 UNC el 90% del tiempo, puede considerarse la alternativa de emplear filtración directa descendente”. (CEPIS, 2004)

Tabla N° 1: Límites de Calidad de Agua para Plantas de Filtración Directa

ALTERNATIVA	PARÁMETROS	90% DEL TIEMPO	80% DEL TIEMPO	Esporádicamente
<i>Filtración directa descendente</i>	Turbiedad (UNT)	25 – 30	< 20	< 50
	Color verdadero (UC)	< 25		
	NMP de coliformes totales/ 100 ml.	< 2500		
	Concentración de algas (unidades/ml)	< 200		
<i>Filtración directa ascendente</i>	Turbiedad (UNT)	< 100	< 50	< 200
	Color (UC)	< 60		< 100
<i>Filtración directa ascendente – descendente</i>	Turbiedad (UNT)	< 250	< 150	< 400
	Color (UC)	< 60		< 100

Fuente: (CEPIS, 2004)

2.2.1.1.2 Plantas de Filtración Lenta

“Se les denomina filtros lentos porque operan con tasas bajas, las cuales normalmente varían entre 0.10 y 0.30 m/h; tasas que son 100 veces menores que las empleadas en los filtros rápidos, otro nombre atribuido a los filtros lentos es filtros ingleses, por su lugar de origen.” (CEPIS, 2004)



“Una planta de filtración lenta puede estar constituida solo por filtros lentos, pero dependiendo de la calidad del agua, puede comprender los procesos de desarenado, sedimentación, pre filtración en grava y filtración lenta. Mediante este tipo de plantas se pueden remover hasta 500 UNT, teniendo en cuenta que la turbiedad que ingresa al filtro lento propiamente no debe ser mayor de 50 UNT. Así mismo, se pueden remover en forma efectiva coliformes totales o fecales mediante la capa biológica que se forma en la parte superior del lecho de arena. Los procesos previos tienen la función de acondicionar la calidad del agua cruda a los límites aceptables por el filtro lento.” (CEPIS, 2004, pág. 115)

2.2.1.2 Clasificación de plantas de Filtración Rápida por el tipo de Tecnología Utilizada

2.2.1.2.1 Sistema de tecnología convencional clásica o antigua

“La tecnología convencional se ha venido utilizando desde principios del siglo pasado (1910 – 1920). Para la época en que estos sistemas fueron proyectados, los proyectistas aplicaban criterios y parámetros por intuición. Es a partir de la década del 60 que se realizan investigaciones y descubrimientos en el campo del tratamiento de agua, los cuales ayudaron a mejorar y desarrollar parámetros estandarizados que mejoraron la calidad de servicio de las futuras plantas de tratamiento de agua potable”. (CEPIS, 2004, pág. 115)

Según (CEPIS, 2004) “Este tipo de sistema presenta muchas deficiencias, sin embargo, por el tamaño de las unidades, presentan potencial para ser transformados en sistemas convencionales de alta tasa, sin la necesidad de una alta inversión”.

“Este sistema se caracteriza por la extensión que ocupan las unidades, principalmente el decantador rectangular de flujo horizontal, el cual se diseña normalmente con tasas comprendidas entre 10 y 60 m³/m². d. Los filtros son de tasa constante de 120 m³/m². d y de nivel variable. El lecho filtrante es simple, solo de arena, estas instalaciones se caracterizan por una gran galería de tubos a través de los cuales pasa el agua filtrada, el agua para el lavado de los filtros y el desagüe de retro lavado.” (CEPIS, 2004)

“El agua y la carga para el retro lavado del lecho filtrante normalmente son proporcionadas por un tanque elevado, el cual es alimentado mediante una estación de bombo desde la cisterna de aguas claras”. (CEPIS, 2004)



2.2.1.2.2 Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS

“Esta tecnología se empezó a desarrollar en la década de 1970 y se ha ido perfeccionando cada vez más a la luz de las últimas investigaciones realizadas en los países desarrollados. Las unidades son de alta tasa, ocupan una extensión que constituye el 25% o 30% del área que ocupa un sistema convencional de la misma capacidad. La reducción del área se debe al empleo de floculadores verticales que por su mayor profundidad ocupan menos área que los horizontales y que permiten compactar mejor el sistema. Los decantadores son de placas inclinadas a 60°”. (CEPIS, 2004, pág. 119)

Según (CEPIS, 2004) “Los filtros se proyectan en baterías para ser operados con altura variable y por el principio de tasa declinante. El lavado de una unidad se efectúa mediante el caudal que producen los otros filtros en operación, por lo que no se precisa de sistema de bombeo ni de tanque elevado. El costo de operación es mucho más bajo que el de otros sistemas, debido a que no requieren energía eléctrica para su funcionamiento, es muy compacto y se reduce también la cantidad de personal necesario para la operación”.

Se le denomina tecnología apropiada para países en desarrollo. Las principales ventajas de esta tecnología son las siguientes:

- a. **Es sumamente eficiente:** A pesar del aspecto sencillo, alberga procesos complejos y sumamente eficientes.
- b. **Es fácil de construir, operar y mantener:**
 - Los procesos se generan mediante energía hidráulica.
 - Los recursos necesarios para la construcción de este tipo de plantas son recursos que se encuentran normalmente disponibles en cualquier país en desarrollo.
 - La operación es sencilla porque carecen de mecanismos complicados.
 - El mantenimiento es económico, fácil y rápido de realizar.
- c. **Es económica:**
 - La sencillez de la estructura hace que sea necesario solo 1/3 del área que requiere una planta convencional, por lo que el costo se reduce a 1/3 o a la mitad del costo de otro tipo de tecnologías disponibles.
- d. **Es muy confiable:**
 - No requiere energía eléctrica para su funcionamiento; por lo tanto, puede trabajar en forma continua.



“Este tipo de plantas no son fáciles de diseñar, requieren ser diseñadas hasta el mínimo detalle para que el comportamiento hidráulico sea casi perfecto y se obtenga la máxima eficiencia de remoción. Debe compactarse el diseño para facilitar la labor del operador, economizar mano de obra, evitar errores humanos y negligencia operacional”. (CEPIS, 2004)

2.2.1.2.3 Sistemas de Tecnología Patentada

“Este tipo de tecnología generalmente es importada de los países desarrollados, tecnología corriente en Europa y Estados Unidos, se caracteriza por considerar gran cantidad de equipos con un alto grado de complejidad en los procesos”. (CEPIS, 2004)

Son sistemas mecanizados y debido a su complejidad requieren por lo menos lo siguiente:

- Personal calificado para operación y mantenimiento.
- Programa de mantenimiento preventivo para los equipos.
- Existencia permanente de repuestos.
- Suministro confiable de energía.

Según (CEPIS, 2004) “La complejidad de estos sistemas va en aumento con el tiempo. Ahora los sistemas son más compactos porque el accionamiento es electrónico, lo cual dificulta aún más el mantenimiento y la calibración. A pesar de ello, estos sistemas son colocados de manera indiscriminada en localidades de escasos recursos”.

2.2.2 Procesos unitarios de tratamiento de agua

2.2.2.1 Coagulación

Según (SEDAPAL, 2000) “La coagulación es un proceso que consiste en la desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos como sales de aluminio o hierro, o polímeros sintéticos”.

Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- Fenómeno químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración de coagulante y el pH final de la mezcla.
- Fenómeno físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

(SEDAPAL, 2000) afirma “Es un proceso muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: ph, temperatura, cantidad de partículas, etc. Se lleva a cabo en la mezcla rápida”.



“Luego se realiza una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocaran entre sí, se aglomerarán y formaran otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida”. (SEDAPAL, 2000)

Según (SEDAPAL, 2000) “La coagulación es el tratamiento más eficaz, pero presenta un gasto elevado cuando no está bien realizado, es un método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos”.

“El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y dificulta la clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada”. (SEDAPAL, 2000)

2.2.2.1.1 Factores que influyen en la coagulación

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de mezcla.
- Sistema de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.
- Tiempo de contacto.

2.2.2.1.2 Tipos de Coagulante

Según (SEDAPAL, 2000) “Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua.”

a. Sulfato de Aluminio

“El sulfato de aluminio es el coagulante más usado, es un sólido de cristal grisáceo. Se le conoce como alúmina o alumbre. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos.” (SEDAPAL, 2000)



- “Rango de pH para la coagulación óptima: 5 – 7.5.
- Dosis: en el tratamiento de aguas residuales, de 100 a 300 g/m³, según el tipo de agua residual y la exigencia de calidad”. (Juberay, 2011)

b. Sulfato Ferroso

Según (Kasetsu, 2017) “Se usa generalmente junto con la cal o con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción de sulfato ferroso con la cal hidratada se ve favorecida a Ph altos”.

- “Rango de pH para la coagulación óptima: alrededor de 9.5.
- Dosis: se necesitan de 200 a 400 g/m³ de reactivo comercial de sulfato ferroso con cal”. (Juberay, 2011)

c. Sulfato férrico

“El sulfato férrico está disponible comercialmente en forma granular de color marrón rojizo. Es muy soluble en agua. Puede reaccionar con la alcalinidad del agua o con materiales alcalinos añadidos como cal”. (Kasetsu, 2017)

- “Rango de pH para la coagulación óptima: entre 4 y 7, mayor a 9.
- Dosis: de 10 a 150 g/m³ de reactivo comercial de sulfato férrico con cal”. (Juberay, 2011)

d. Cloruro férrico

“Está disponible en fase sólida y líquida. Se genera por la oxidación de sulfatos ferroso con cloro. Este método tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes ph (entre 4.8 y 11). Es usado en tratamientos de aguas residuales e industriales. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los compuestos alcalinos añadidos”. (Kasetsu, 2017)

- “Rango de pH de coagulación óptima: entre 4 y 6, mayor a 8.
- Dosis: de 5 a 160 g/m³ de reactivo comercial cloruro férrico con cal”. (Juberay, 2011)

2.2.2.2 Mezcla Rápida

“La mezcla rápida es una unidad de tratamiento donde se realiza la dispersión instantánea del coagulante en la masa de agua, con una intensidad y tiempo de mezcla óptimos, de acuerdo con el mecanismo de coagulación predominante. La mezcla rápida se produce mediante mezcladores hidráulicos o mecánicos, tales como resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, etc.” (Corrales, 2016, pág. 25)

2.2.2.3 Floculación

“La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad”. (SEDAPAL, 2000)

“El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas para formar flóculos, los flóculos son inicialmente pequeños, en el momento en que estos se aglomeran forman flóculos de una mayor dimensión para que puedan ser fácilmente sedimentados”. (SEDAPAL, 2000)

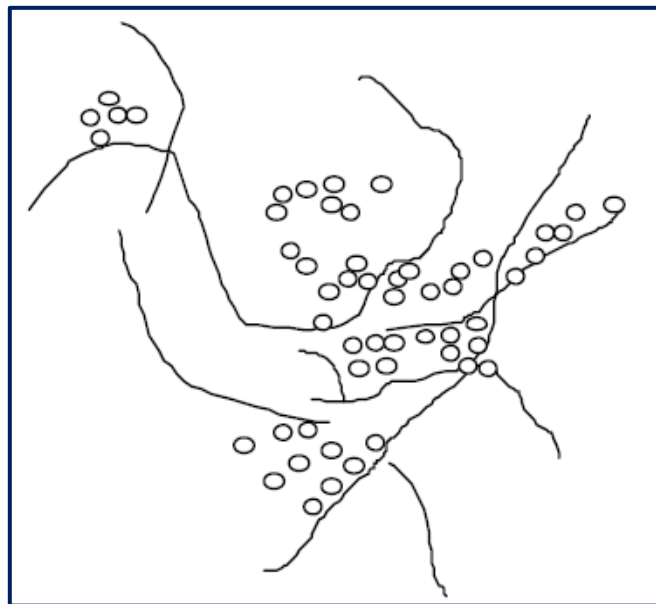


Figura N° 3: Floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas.

Fuente: (SEDAPAL, 2000)

2.2.2.4 Sedimentación

“La sedimentación, es la remoción por efecto de la gravedad de las partículas en suspensión presentes en el agua, debiendo tener estas partículas un peso específico mayor que el fluido. La sedimentación es un fenómeno netamente físico y constituye una de las operaciones más utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación, está relacionada principalmente con las propiedades de caída de partículas del agua, cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada”. (Maldonado Yactayo, 2004)

2.2.2.4.1 Sedimentación de partículas discretas

(Maldonado Yactayo, 2004) afirma “Partículas discretas, son aquellas partículas que no cambian sus características como: forma, tamaño, densidad; durante la caída. Al proceso de sedimentación de partículas discretas, se denomina sedimentación o sedimentación simple. Este



tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, sedimentadores y pre - sedimentadores”.

2.2.2.4.2 Sedimentación de partículas floculentas

“Partículas floculentas, son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. Las características de este tipo de partículas como forma, tamaño, densidad cambian durante la caída. Al proceso de depósito de partículas floculentas, se denomina sedimentación floculenta o decantación”. (Maldonado Yactayo, 2004)

2.2.2.5 Filtración

“La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que discurre a través de un medio poroso. Es el proceso 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. Una vez que se ha decantado el agua para terminar el proceso de clarificación, se hace pasar por una etapa de filtración, la cual consiste en hacer pasar el agua que todavía contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido, pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros”. (Maldonado, 2004, pág. 83)

(Maldonado, 2004) afirma que “El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte. Aunque también existen otros tipos de lechos como membranas filtrantes que pueden ser de plástico o de metal”.

“Para evitar atascamientos en esta etapa, es importante que la retención de las partículas se haga en el interior del lecho filtrante, y no en la superficie del lecho, por este motivo, será muy importante hacer una elección adecuada del tamaño del grano del lecho filtrante. Los filtros más utilizados en potabilización de agua son los filtros rápidos en los que el agua ha sido pasada previamente por un proceso de coagulación- floculación. La expansión de la arena durante el lavado del filtro (expresada en porcentajes de la altura de la capa de arena preparada) debe ser de 25 a 30%; es decir, si la capa de arena preparada es, por ejemplo, de 0,60 metros, la expansión de la arena debe ser de 0,15 a 0,18 metros adicionales a su nivel normal. En el caso de filtros con sistema de lavado mediante aire y agua, la expansión solo debe ser de 10%, porque en este



caso la fricción de los granos de arena para desprender la suciedad adherida la hace el aire comprimido y no el agua”. (Maldonado, 2004)

“La tasa de filtración (velocidad de filtración) de un filtro rápido clásico, de arena, debe ser de 120 m³/m²/d; es decir, por cada metro cuadrado de área filtrante debe pasar 120 m³ de agua por día”. (Maldonado, 2004)

2.2.2.5.1 Mecanismos de Filtración

“La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios; transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento. El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos”. (Maldonado, 2004, pág. 112)

Según (CEPIS, 2004) “Más de un mecanismo deberá entrar en acción para transportar los diferentes tamaños de partículas hasta la superficie de los granos del medio filtrante y adherirlas”. Los mecanismos que pueden realizar transporte son los siguientes:

- Cernido
- Sedimentación
- Intercepción
- Difusión

2.2.2.5.2 Mecanismos de Transporte

“Simultáneamente pueden actuar varias causas para aproximar el material suspendido hasta los granos del medio filtrante, estas causas varían si la filtración se produce en las capas superficiales o en la profundidad del medio filtrante”. (Maldonado, 2004)

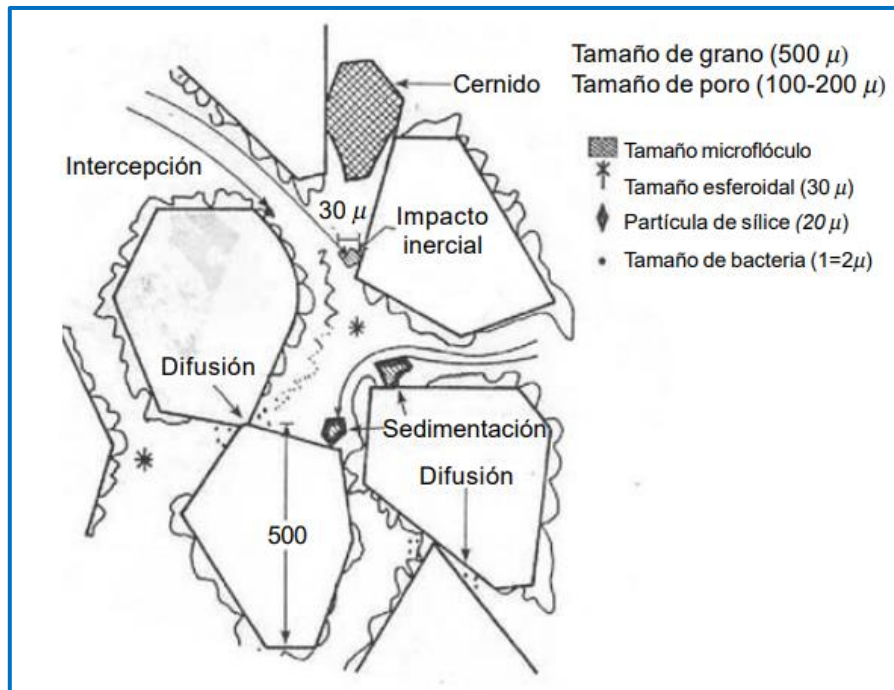


Figura N° 4: *Diferentes mecanismos que pueden realizar transporte.*

Fuente: (SEDAPAL, 2000)

a. Cernido

Según (Maldonado, 2004) “Cuando la partícula es de tamaño mayor que los poros del lecho filtrante, puede quedar atrapada en los intersticios, este proceso actúa solo en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes, capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, cuya velocidad aumenta en las constricciones”.

b. Sedimentación

“El efecto de la gravedad sobre las partículas suspendidas durante la filtración solo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso, cuya velocidad de asentamiento sea alta y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja. También se sugiere que algunas partículas más pequeñas y floculentas pueden quedar retenidas en regiones donde la velocidad de escurrimiento sea pequeña.” (Maldonado, 2004, pág. 84)

c. Intercepción

“El régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar, por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente debido a que las partículas suspendidas tienen una densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando las líneas de corriente estén unidas a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas.” (Maldonado, 2004, pág. 85)



d. Difusión

Se ha observado que las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido. Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como movimiento browniano, y se debe al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua. (Maldonado, 2004)

e. Mecanismos de Adherencia

Según (Maldonado, 2004) “La adherencia entre partículas transportadas y los granos está gobernada, principalmente, por las características de las superficies de las partículas suspendidas y de los granos. Las partículas se pueden adherir directamente tanto a la superficie de los granos como a partículas previamente retenidas.”

2.2.2.5.3 Factores que influyen en la filtración

“La eficiencia de este proceso está relacionada con las características de la suspensión, del medio filtrante, de la hidráulica de la filtración, y la calidad del efluente”. (Maldonado, 2004)

a. Características de la suspensión

La eficiencia de remoción de partículas suspendidas en un medio filtrante está relacionada con las siguientes características de la suspensión:

a.1. Tipos de partículas suspendidas

Según (Maldonado, 2004) “La filtración de flóculos que no sedimentan en una planta de ablandamiento difiere sustancialmente del caso en que se tienen flóculos provenientes de un pretratamiento con un coagulante de una sal de hierro o aluminio”

a.2. Tamaño de las partículas suspendidas

“Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden de $1\ \mu\text{m}$, el cual genera menos oportunidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Las partículas menores que el tamaño crítico serán removidas eficientemente debido a la acción de otros mecanismos, como la interceptación y la sedimentación”. (Maldonado, 2004)

a.3. Densidad de las partículas suspendidas

“Cuanto mayor sea la densidad de las partículas suspendidas, mayor será la eficiencia de remoción de las partículas de tamaño superior al tamaño crítico”. (Maldonado, 2004)



a.4. Resistencia o dureza de los flóculos

Según (Maldonado, 2004) “la dureza de los flóculos es otro factor importante en la filtración rápida, pues los flóculos débiles se fragmentan y penetran fácilmente en el interior del medio filtrante, lo que favorece el traspaso final de la turbiedad límite, mientras que los flóculos duros o resistentes no se fragmentan fácilmente, pero producen una pérdida de carga mayor.”

a.5. Temperatura del agua por filtrar

“El aumento de temperatura conduce a una eficiencia mayor, pues se tiene un aumento de energía termodinámica, en las partículas del agua y, consecuentemente, la difusión se vuelve un mecanismo importante cuando se tienen partículas suspendidas menores de un micrómetro”. (Maldonado, 2004)

a.6. Concentración de partículas suspendidas en el afluente

“Cuando el medio filtrante se encuentra libre de impurezas, la eficiencia de remoción depende de la concentración de partículas suspendidas en el afluente. Después de algún tiempo de filtración, la eficiencia de remoción aumenta con el aumento de la concentración de las partículas suspendidas en el afluente, pues las partículas retenidas hacen de colectoras de otras partículas suspendidas.” (Maldonado, 2004)

f. pH del afluente

Según (Maldonado, 2004) “El pH influye en la capacidad de intercambio iónico entre las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante. Para valores de pH menores a 7, reduce el intercambio de cationes e incrementa el intercambio de aniones sobre las superficies positivas, mientras que para valores mayores a 7, se produce un incremento en el intercambio de cationes y una reducción en el intercambio de aniones sobre superficies negativas”.

2.2.2.5.4 Características del medio filtrante

a. Tipo del medio filtrante

Según (Maldonado, 2004) “el tipo de medio filtrante se debe seleccionar de acuerdo con la calidad que se desea para el agua filtrada. Además, debe tenerse en cuenta la duración de la carrera de filtración y la facilidad de lavado de este. Un medio filtrante óptimo es aquel de granulometría determinada y cierto peso específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado de manera eficiente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, para producir un efluente de buena calidad.”

**b. Características granulométricas del medio filtrante**

Según (Maldonado, 2004) “El material filtrante debe ser claramente especificado, de manera que no quede duda sobre su granulometría”. Los parámetros que se deben emplear para este fin son:

- Tamaño efectivo
- Coeficiente de uniformidad
- Forma
- Tamaño mínimo
- Tamaño máximo”.

c. Peso específico del material filtrante

El peso específico del material filtrante es igual al peso de los granos dividido por el volumen que ocupan los granos.

d. El espesor de la capa filtrante

“La experiencia ha demostrado que existe una relación entre el espesor de la capa de arena y la de antracita en un filtro de dos medios; en general el espesor de la capa de arena y la de antracita representa de 60 a 80%; y la arena de 20 a 40% del espesor total del medio filtrante. De este modo un medio filtrante de 70 cm de espesor tendrá aproximadamente 50 cm de antracita y 20 cm de arena”. (Maldonado, 2004)

2.2.2.5.5 Características hidráulicas**a. Tasa de filtración**

El uso de tasas de filtración bajas no asegura, necesariamente, la producción de agua filtrada de mejor calidad y mayor volumen de agua producida por carrera de filtración. (Maldonado, 2004)

b. Carga hidráulica

“La carga hidráulica que se debe fijar en un filtro influye significativamente en la duración de la carrera de filtración. Este parámetro es empírico y normalmente es seleccionado por el proyectista. Fijar la carga hidráulica con la que un filtro o un sistema de filtración deben operar depende de otros factores, como el espesor y la granulometría del medio filtrante.” (Maldonado, 2004)

c. El método de control de los filtros

“El método del control de los filtros también influye en la eficiencia de estas unidades. Los métodos de control operacional más utilizados son tasa constante y tasa declinante. Un filtro que es forzado a operar con tasa constante desde el inicio hasta el final de su carrera de filtración



evidentemente obtendrá un agua filtrada de menor calidad en comparación de la que se obtiene de un filtro operado bajo condición no forzada, debido a que el filtro no trabaja con una tasa mayor a su capacidad de filtración, definida por el nivel de colmatación del medio filtrante.” (Maldonado, 2004)

d. Calidad del efluente

“La calidad del efluente está relacionada con diversas características inherentes al filtro propiamente dicho, al uso a que se destina al agua filtrada y a la existencia de una operación eficiente.” (CEPIS, 2004)

2.2.2.5.6 Tipos de unidades de filtración

a. Clasificación

“Pueden ser clasificados teniendo en cuenta los siguientes parámetros; el lecho filtrante, el sentido del flujo durante la filtración, la forma de aplicar la carga de agua sobre el medio filtrante y la forma de control operacional”. (Maldonado, 2004)

a.1. Filtración por gravedad

“La filtración rápida, realizada por gravedad, usualmente se emplea en las plantas de tratamiento para fines de abastecimiento público. El factor económico es la variable que define su preferencia de uso. Estas unidades pueden ser de flujo ascendente y ser operadas con tasa de filtración constante o declinante. Cuando es de flujo descendente, la filtración rápida puede realizarse con tasa declinante o constante en filtros de lecho único de arena o de lechos múltiples”. (Maldonado, 2004)

a.1.1. Filtración ascendente

“Esta filtración presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en el sentido donde los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante, constituido por arena, sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas. La ventaja más grande de este tipo de unidades es la filtración directa en la que los productos químicos se aplican y dispersan en el agua cruda antes de la filtración”. (Maldonado, 2004)

a.1.2. Filtración descendente

“Los filtros descendentes por gravedad eran diseñados para funcionar únicamente con tasa constante, y generalmente iban provistos de dispositivos automáticos de control de caudal y nivel. En los últimos años se han desarrollado tecnologías que han simplificado sensiblemente la forma de operación de los filtros de gravedad, como la operación mediante tasa declinante.” (Maldonado, 2004)

a.1.3. Filtración ascendente y descendente

Según (Maldonado, 2004) “La idea de realizar la filtración ascendente y descendente surgió después de constatar la posibilidad de fluidificación del medio filtrante al momento de la filtración ascendente y del consecuente perjuicio de la calidad del agua filtrada, a raíz de estas ideas surgieron los filtros Bi-flow, el agua cruda coagulada es introducida en la parte superior, y la restante por la parte inferior del filtro. La colección se hace por medio de tuberías provistas de bocas instaladas en el interior del medio filtrante.”

“La desventaja de este tipo de filtros principalmente es que la colección del agua se hace en el interior del medio filtrante, donde las bocas se pueden obstruir con el tiempo, por lo que requieren un mantenimiento rutinario.” (Maldonado, 2004)

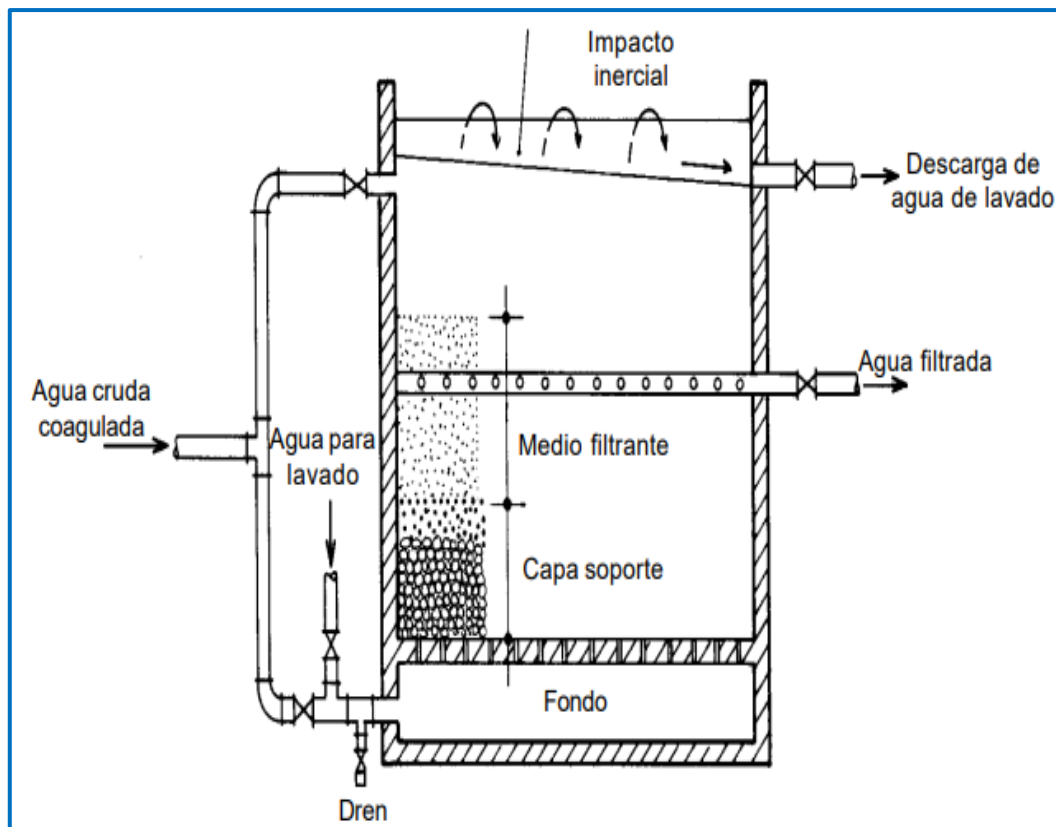


Figura N° 5: Esquema de un filtro Bi-flow.

Fuente: Maldonado, V. (2004). En CEPIS, *Capítulo 9. Filtración* (Vol. II, págs. 83-112).

2.2.2.5.7 Métodos de control operacional

a. Tasa constante y nivel variable

“La entrada a los filtros es hecha de modo que el caudal total afluente sea repartido equitativamente y el nivel de agua de cada filtro varié independientemente del nivel de los demás, el caudal de filtración será constante, ya que el aumento de resistencia del filtro es acompañado por el aumento de carga hidráulica disponible. El nivel del agua en la caja de filtro



variará desde un valor mínimo, cuando el medio filtrante se encuentra limpio, hasta un valor máximo, cuando el filtro deberá ser lavado. Este método de operación se conoce como “distribución equitativa de caudal”. (Maldonado, 2004, pág. 124)

b. Tasa y nivel constantes

Según (Maldonado, 2004) “En este método de operación el nivel de agua en los filtros de gravedad no varía mucho. Se puede considerar la carga hidráulica disponible aproximadamente constante. Manteniéndose constante la resistencia del filtro, se tiene como resultado un valor aproximadamente constante de la tasa de filtración.”

c. Tasa declinante

Según (Maldonado, 2004) “La carga hidráulica disponible es aplicada desde el inicio hasta el final de la carrera de filtración, lo que conlleva, con el transcurso del tiempo, una disminución gradual del caudal filtrado. Se sabe también que la calidad del efluente con tasa declinante es superior, con carreras de filtración más largas, en relación con la obtenida en filtros operados con tasa constante”.

2.2.2.5.8 Medios filtrantes

a. Filtros de lecho filtrante simple

“En los medios de arena convencionales, la permeabilidad aumenta con la profundidad del filtro. En estas condiciones, los granos más pequeños quedan en la superficie y los más grandes abajo. A medida que el floculo penetra dentro del lecho, encuentra poros más y más grandes por donde puede pasar con más facilidad. Debido a esta estratificación inconveniente, el mayor porcentaje de partículas queda retenido en la superficie y, por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de floculos es limitada”. (Maldonado, 2004, pág. 140)

b. Filtros de lecho múltiple

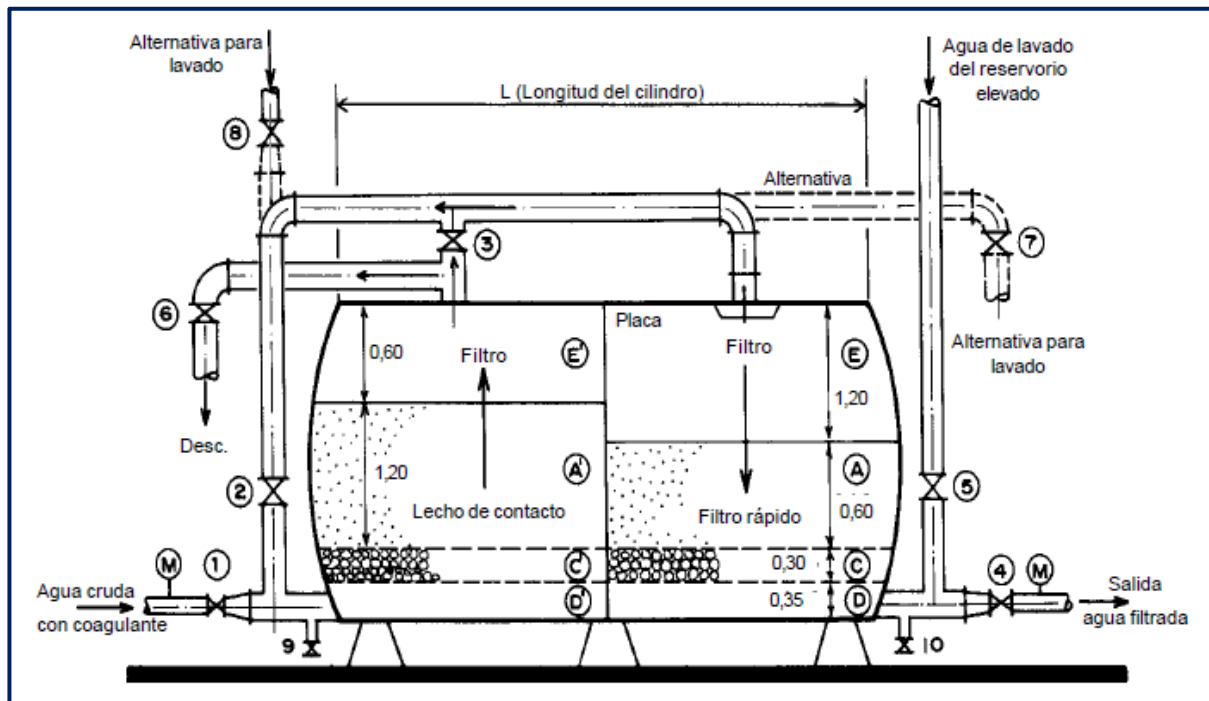
Según (Maldonado, 2004) “La permeabilidad del lecho disminuye con la profundidad, de forma que los floculos pueden penetrar y encontrar el medio más fino en las capas inferiores del filtro y el más grueso en las capas superiores.”

“Al emplear un solo tipo de material granular esto no es posible, pues el flujo de lavado lo estratifica en sentido contrario, con este tipo de filtros se pensó en utilizar medios de diferentes densidades, de manera que los granos gruesos fueran de un material poco denso, para que el flujo ascendente de lavado los estratifique y queden encima de los granos finos, cuya densidad es mayor.” (Maldonado, 2004, pág. 110)

c. Filtración a presión

“La filtración rápida bajo presión se realiza en tanques de lámina de acero y puede ser de flujo ascendente, descendente y ascendente-descendente. Si las características operacionales, las del medio filtrante y de la suspensión son semejantes, la filtración bajo presión poco difiere de la filtración por gravedad.” (Maldonado, 2004)

Figura N° 6: Filtro ascendente - descendente bajo presión horizontal.



Fuente: Maldonado, V. (2004). En CEPIS, *Capítulo 9. Filtración* (Vol. II, págs. 83-112).

Lima, Perú.

2.2.2.5.9 Filtración Directa

(Maldonado, 2004) afirma “La unidad de filtración está precedida por la mezcla rápida y la pre-floculación o solamente por la mezcla rápida. Cuando la fuente de abastecimiento es un lago, la presencia de algas en cantidades superiores a 1.000 unidades por mililitro puede reducir significativamente la carrera de filtración”.

a. Clasificación de la filtración directa

a.1. Filtración directa descendente

“Mezcla rápida y filtración descendente o mezcla rápida, pre - floculación y filtración descendente. En este último caso, la necesidad de incorporar la pre - floculación se define en el ámbito del laboratorio”. (Maldonado, 2004)



a.2. Filtración Ascendente

(Maldonado, 2004) refiere “Los procesos involucrados serían mezcla rápida seguida de la filtración ascendente. En este caso, no cabría la posibilidad de considerar la pre - floculación, pues esta se estaría produciendo necesariamente al pasar el agua por el lecho de soporte del filtro, el mismo que se estaría comportando como un floculador de medio poroso”.

b. Ventajas de la filtración directa

- El costo de construcción de la planta de tratamiento puede disminuir hasta en 50% con respecto al de una planta convencional.
- Menor costo de operación y mantenimiento.
- Reducción sustancial del consumo de coagulante.
- Menor volumen de lodo producido en la planta.
- Facilidad en el tratamiento de agua cruda con baja turbiedad.

c. Desventajas de la filtración directa

- Dificultad en el tratamiento de agua con alto contenido de color o turbiedad.
- Necesidad de monitoreo continuo o control riguroso de los principales parámetros de calidad del agua cruda y tratada.
- El tiempo de retención total para el tratamiento es relativamente corto, lo que implica que debe reaccionarse rápidamente ante las modificaciones de calidad del agua cruda.
- Posibilidad de paralización temporal de la planta, debido a errores en la dosificación de coagulante.

2.2.2.5.10 Filtros DEGREMONT

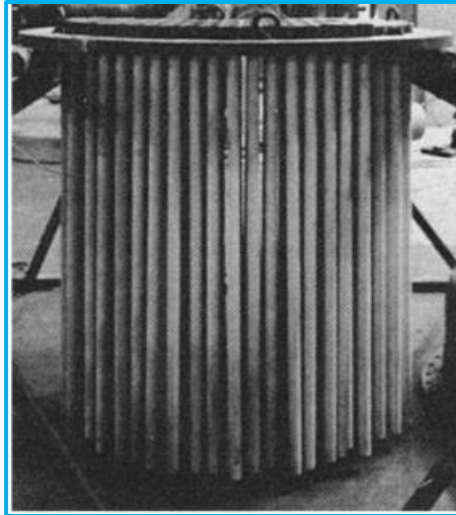
a. Filtración a través de soporte con precapa

“Se utilizan filtros con precapa para el tratamiento por microfiltración de caudales importantes, sin que se produzca el atascamiento irreversible del elemento filtrante”. (Maldonado, 2004)

(Maldonado, 2004) refiere que “La filtración se efectúa a través de un material filtrante que se introduce en el aparato a principio de cada ciclo de funcionamiento, para formar sobre un soporte fijo una capa filtrante micro porosa (precapa)”.

“Después del atascamiento, se elimina la precapa, vertiéndola al exterior, durante la operación de lavado. La contextura de la capa filtrante incluye una multitud de canales de muy pequeño diámetro, con lo que puede obtenerse generalmente un filtrado de pequeña turbiedad”. (Maldonado, 2004)

Figura N° 7: Placa soporte equipada con bujías.



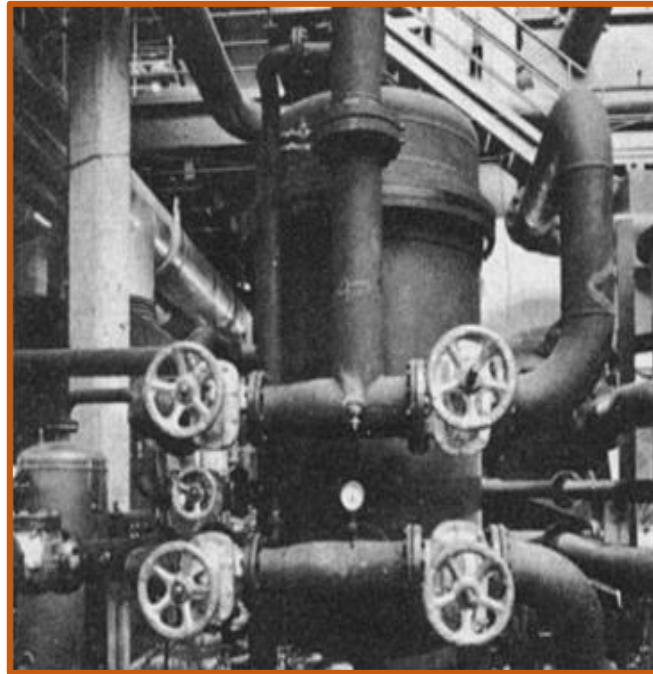
Fuente: (Barraqué, 1979). Barraqué, C. (1979). Manual Técnico del agua. En Capítulo 9: Filtración. Paris: Degremont.

b. Filtros de bujías.

“Los filtros de precapa DEGREMONT están constituidos por una cubierta cilíndrica, cerrada por dos fondos bombeados, en cuyo interior se disponen verticalmente un cierto número de bujías fijas sobre una placa soporte. Estas bujías son cilindros huecos perforados, construidos de acero inoxidable, sobre los cuales se bobina, en espesor delgado, un hilo de fibra sintética formando manguito; sobre este manguito se aplica el material de precapa, puesto previamente en forma de suspensión diluida. Las dimensiones de las partículas más finas que constituyen el material de precapa, son inferiores a las del paso de malla del maguito (condición necesaria para evitar su atascamiento con el tiempo) pero son retenidas por él, depositándose sobre las bóvedas creadas entre los hilos por las partículas más gruesas de la precapa. La formación de la precapa es una operación que debe realizarse con cuidado”. (Barraqué, 1979, pág. 8)

“Cuando el filtrado ya es claro, se pasa el régimen de filtración, a una velocidad variable entre 1 y 5 m/h según el tipo de tratamiento, la naturaleza de las sustancias que deben retenerse, su concentración, su comportamiento al compactarse y las duraciones del ciclo de filtración admitidas. El efluente que se obtiene es generalmente de gran calidad, con algunas excepciones cuando el líquido contiene partículas coloidales extraordinariamente finas. Para eliminarlas, debe elegirse un material de precapa muy fino, con el riesgo de exponerse a un atascamiento rápido y a ciclos cortos, o muy adsorbente”. (Barraqué, 1979, pág. 8)

Figura N° 8: Filtro de precapa



Fuente: (Barraqué, 1979)

“Pueden alargarse los ciclos o aumentar la velocidad de filtración, efectuando una empastada inicial corta y realizando, durante toda la duración del ciclo de filtración, un aporte de material filtrante (alimentación); las materias en suspensión que se depositan sobre precapa, no forman ya una costra difícilmente permeable, sino una capa porosa, gracias a su mezcla con el material de aportación. Esta capa participa seguidamente en la filtración sin que se produzca un aumento rápido de la pérdida de carga. Cuando se alcanza el atascamiento máximo, propio de cada caso, se procede al lavado. Para que el lavado se eficaz, es preciso que las materias retenidas, aglomeradas en la precapa, se desprendan perfectamente de todas las bujías; se consigue esto con un lavado hidroneumático simple o un lavado “Canon” que da su nombre al filtro DEGREMONT”. (Barraqué, 1979, pág. 12)

c. Lavado simple

“Después de parado el filtro, se pone en comunicación con la atmosfera, por su parte superior, y se vacía parcialmente, con lo que se forma un colchón de aire. Se cierra la válvula de puesta a la atmosfera y se comprime este aire. Se cierra la válvula de puesta a la atmosfera y se comprime este aire con la presión de la bomba de alimentación. Se abre bruscamente la válvula situada en la base del filtro: la expansión rápida del aire impulsa el agua que atraviesa las bujías del interior hacia el exterior y despega los depósitos. Seguidamente se procede al vaciado, con un aclarado de las bujías”. (Barraqué, 1979, pág. 12)

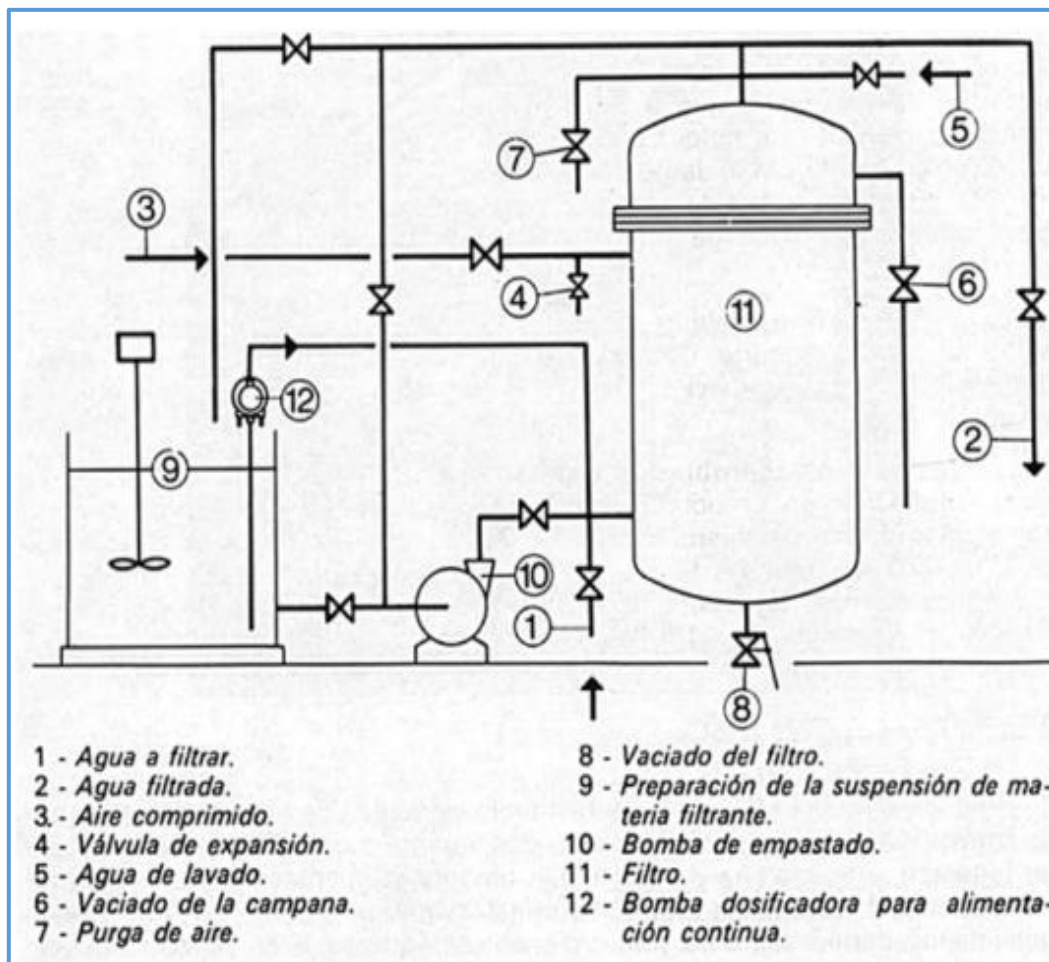
d. Lavado “Canon”. (patente DEGREMONT)

Según (Barraqué, 1979) “Se crea un colchón de aire en la parte superior del filtro y después. Estando este aislado, se inyecta aire comprimido bajo la placa soporte de las bujías”.

“Este aire impulsa un cierto volumen de agua, a través de las bujías, hacia la parte alta del filtro, comprimiendo el colchón de aire superior. Se efectúa, seguidamente, una descompresión brusca del aire situado debajo de la placa, mediante su puesta a la atmósfera el agua pasa del interior al exterior de las bujías, a gran velocidad. Este efecto “Canon” hace desprender, de forma brusca e instantánea, todos los depósitos, que caen al fondo del filtro. Se termina con un vaciado”. (Barraqué, 1979)

“Con este tipo de lavado pueden utilizarse bujías de gran longitud, se elimina todo riesgo de atascamiento irreversible y la pérdida de agua que se produce es mínima”. (Barraqué, 1979)

Figura N° 9: Esquema de instalación de un filtro de pre - capa, con lavado “Canon” empastado con una materia inerte.



Fuente: (Barraqué, 1979)



Materiales utilizados en la precapa

(Barraqué, 1979) “Según las aplicaciones, se utiliza principalmente diatomeas, celulosa, carbón activo en polvo y resinas intercambiadoras de iones, en polvo”.

- La celulosa utilizada en forma de fibras de alta pureza tiene un poder filtrante comparable al de un papel de filtro lento, pero posee solamente un pequeño poder adsorbente. Es insoluble en agua fría o templada y comienza a hidrolizarse a partir de 85°C.
- Las diatomeas son conchas silíceas fosilizadas, de origen marino, muy finas (5 a 100 micras) y que tiene un cierto poder adsorbente. En presencia de aguas cargadas de coloides, se consigue con las diatomeas una mejor clarificación que la obtenida con la celulosa. Son además capaces de adsorber impurezas en emulsión, como aceites e hidrocarburos. La sílice de las diatomeas es ligeramente soluble en agua desmineralizada.
- El carbón activo, debido a su alto poder adsorbente, puede utilizarse sobre una capa de soporte de celulosa o de diatomeas para obtener una decoloración y la eliminación, casi total, de materias orgánicas de origen vegetal.
- Las resinas intercambiadoras de iones, en polvo, catiónicas aniónicas, mezcladas en proporción variable, se utilizan en una filtración con eliminación eficaz del hierro coloidal o en una desmineralización total de condensados de centrales térmicas y nucleares. En este caso, deben adoptarse disposiciones especiales para la formación de la precapa después del lavado.

2.2.2.6 Desinfección del agua (cloración)

Según (OMS, 2004) “La desinfección del agua en las plantas de tratamiento de agua se realiza con cloro y, por ello, el término desinfección comúnmente se substituye por cloración”. La cloración se puede realizar con los siguientes elementos:

- Cloro líquido
- Cal clorada
- Hipocloritos

“La etapa final del proceso de tratamiento de aguas potables siempre es la desinfección. En algunos casos en las plantas muy sencillas, ésta es la única etapa del proceso. Hay tres tipos básicos de desinfección: Tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación”. (OMS, 2004)

**a. Tratamientos físicos:**

“Son los menos utilizados, dentro de este tipo de tratamientos se puede incluir la aplicación de calor, pero además de ser costoso, deja mal sabor ya que elimina el oxígeno disuelto y las sales presentes en el agua. Otro de los procesos que se utilizan es el dejar pasar el tiempo, para que los gérmenes fecales disminuyan su concentración al ser el agua retenida en ambiente hostil”. (Romero, 2017)

b. Tratamientos químicos:

Según (Romero, 2017) “Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono. Dentro de los que tenemos que el cloro en su forma gaseosa o como Hipoclorito de Sodio o Calcio es el más usado”. La aceptación del cloro es debida a 3 factores:

- Su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc.) que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las líneas de transmisión del agua.
- La acción microbicida del cloro como algicida, bactericida y en menor medida virucida.
- La capacidad de mejorar los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos.

2.2.3 Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana - Cusco

“La ciudad del Cusco cuenta con una población urbana de 425,648 habitantes distribuidos en los distritos de Cusco, Santiago, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo, del total de la población, aproximadamente un 87.20% cuenta con el servicio de agua potable a partir de 5 sistemas de abastecimiento Vilcanota, Piuray, Korkor – Jaquira, Hatun Huaylla y Salkantay”. (SEDACUSCO, 2018)

“Los sistemas Vilcanota y Piuray son los más importantes en producción con una incidencia del servicio de agua potable en la misma proporción que equivale al 52.59% y 29.19% respectivamente. El sistema Vilcanota abarca cuatro de los cinco distritos de la ciudad, Santiago, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo; mientras que el sistema Piuray suministra agua potable a la población asentada en el mercado del Cusco y parte del distrito de San Sebastián”. (SEDACUSCO, 2018)

La planta de tratamiento de agua potable de Santa Ana se construyó en el año 1970, está ubicada en el barrio de Carmencia del distrito de Cusco, está diseñado para tratar aguas crudas provenientes de la Laguna de Piuray, es de tipo de filtración directa de filtros horizontales de



patente DEGREMONT (francesa), con lavado mixto de agua retorno filtrada y aire a presión proporcionada con compresoras de aire.

La planta cuenta con una batería de 10 filtros horizontales dispuestos en forma paralela, que tratan en conjunto un caudal de 350 l/seg (1260 m³/hr), de agua, cada filtro con una capacidad de 35 l/seg, son de instalación sencilla y de accionamiento manual, la explotación de esta unidad necesita de personal especializado en la operación y mantenimiento, fue construida en el año 1970, cuanta con unidades de pre - floculación y filtración.

2.2.3.1 Captación

La explotación de la laguna desde sus inicios hasta el año 1992 fue mediante una captación que funciona por gravedad, mediante una toma directa de agua en el nivel 3691.70 a través de una tubería de F°F° de 800 mm de diámetro protegida por un muro de C°C°, posteriormente se construyó una balsa cautiva para extraer el agua mediante electrobombas que funcionan alternadamente porque la captación por gravedad quedo por encima del nivel de agua. La estación de bombeo fue reubicada en una posición donde la profundidad de la laguna alcanza aproximadamente 24 m, permitiendo un mejor trabajo de la laguna alcanza aproximadamente 24 m, permitiendo un mejor trabajo de la tubería de succión. En los años recientes los niveles de la laguna han aumentado favorablemente por lo que la captación se realiza únicamente por gravedad.

La capacidad de producción de la laguna de Piuray es de 280 Lps, en temporada de lluvias incrementan su caudal superando los 300 lps.

2.2.3.2 Línea de conducción

La línea de conducción Piuray abastece a todo el sistema denominado Piuray, recorre los distritos de Cusco, Poroy y Chinchero, la misma que está conformada por dos líneas paralelas.

- Línea de conducción: Captación Laguna Piuray - Planta Santa Ana.
- Línea de conducción: Captación manantiales Maychu – Camara Kallanca.

2.2.3.3 Línea de conducción: Captación Laguna Piuray – Planta Santa Ana

Conocida como “Línea nueva”, parte de la caja de reunión de la captación de la laguna de Piuray con una cota de 3690.90, a partir de la cual se deriva la línea de conducción de agua cruda, con una longitud total de 12, 881.50 m con tubería de concreto reforzado, ferro fundido de diámetros variables entre 28” y 18”. Actualmente la capacidad de la línea es de 158 lps. (SEDACUSCO, 2018)



2.2.3.4 Línea de conducción: Captación manantiales Maychu – Camara Kallanca

“Conocida como “Línea antigua”, tiene una longitud total de 12881.50 m con una tubería de concreto, F°F° y PVC de diámetro variable de 28” y 18”, que conduce agua para abastecer a la línea de conducción de los manantiales Maychu, con cota 3695.70 msnm. Se deriva hasta la cámara Kallanca, la cual tiene una cota de llegada de 3657.80 msnm; fue construida para conducir un caudal de 139 lps, en su primer tramo y como promedio de los tramos restantes es de 197 lps. Las aguas de estos manantes que vienen produciendo en la actualidad sirven de recarga directa a la laguna perdiendo este caudal importante a nuestro sistema de abastecimiento. Esta línea esta seccionada en 8 tramos mediante cámaras rompe presión y cuenta con 23 válvulas de aire y 18 válvulas de purga”. (SEDACUSCO, 2018)

La línea antigua tiene una antigüedad de 56 años (1954 – 2010) y la línea nueva tiene una antigüedad de 38 años (1972 – 2010), habiendo cumplido su periodo de vida útil, siendo vulnerable a colapsar con cualquier acción externa que modifique las condiciones iniciales de su instalación. La longitud total de la línea de conducción es de 14616 m.

La línea de conducción termina en la planta de Santa Ana (6323 m3), donde recibe el tratamiento y luego se derivan a los diferentes reservorios conformantes del sistema Piuray.

2.2.3.5 Procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana - Cusco

2.2.3.5.1 Pre - floculación

(SEDACUSCO, 2018) “Cuenta con un sistema de pre - floculación con 02 dispositivos de mezcla y dosificador de solución de coagulante, esporádicamente utilizado, en los meses de incremento de microalgas y color en la laguna de Piuray.”

“En la actualidad tiene una operación continúa considerando que es necesario el uso de floculantes para bajar las altas turbiedades de este proceso. El insumo utilizado es el sulfato de aluminio grado A y/o policloruro de aluminio. En temporadas determinadas por el incremento de microalgas se utiliza con mucha frecuencia el floculador para eliminar la presencia de algas y organismos coloidales. En algunas ocasiones se utiliza sulfato de cobre.” (SEDACUSCO, 2018)



2.2.3.5.2 Filtración

Características de los filtros:

- Tipo de filtro : Horizontales a presión.
- Cantidad de filtros : 10 unidades.
- Marca : DEGREMONT.
- Caudal total : 350 lps – 1260 m³/hrs
- Disposición : En paralelo.
- Diámetro del filtro : 2800 mm
- Longitud del filtro : 7600 mm
- N° de toberas : 960 unidades.
- Material de fabricación : Planchas de Acero SiderPerú
- Protección exterior : Pintura anticorrosiva
- Válvulas de fachada : Seis unidades de 2”, 3”, 4”, 6”, 8”, 12”
- Indicadores de presión : Manómetros de 0 – 100 psi
- Tuberías y accesorios : Metálicos
- Espesor del cuerpo : ¼”
- Material filtrante : Arena cuarcítica de 0.5 – 0.90 mm
- Material de Soporte : Arena cuarcítica de 1.3 – 2.00 mm
Grava cuarcítica de 2 – 4 mm.

Toberas

La Tobera es un equipamiento instalado en la base de filtros y sistemas de tratamiento de agua y efluentes que sirve para impedir que el material filtrante utilizado pase por el filtro, permitiendo apenas el pasaje de líquidos por sus ranuras. El tipo y la cantidad de toberas va a depender del funcionamiento y tamaño del sistema de filtrado.

Se utiliza toberas que van adosadas a un falso piso ubicado a 1/3 de la altura del filtro, este falso piso perforado en diversas partes contiene toberas de polietileno de cola larga, que van empernadas con el mismo material a los orificios del falso piso, encima del cual va la capa de lecho filtrante, las toberas son de las siguientes características:



Las toberas cumplen las normas ITINTEC N° 399.069 tubos de polietileno.

- Nominación : Tobera de cola larga.
- Material : Polietileno de alta densidad.
- Resistencia a la presión interna : 10 kgf/cm²

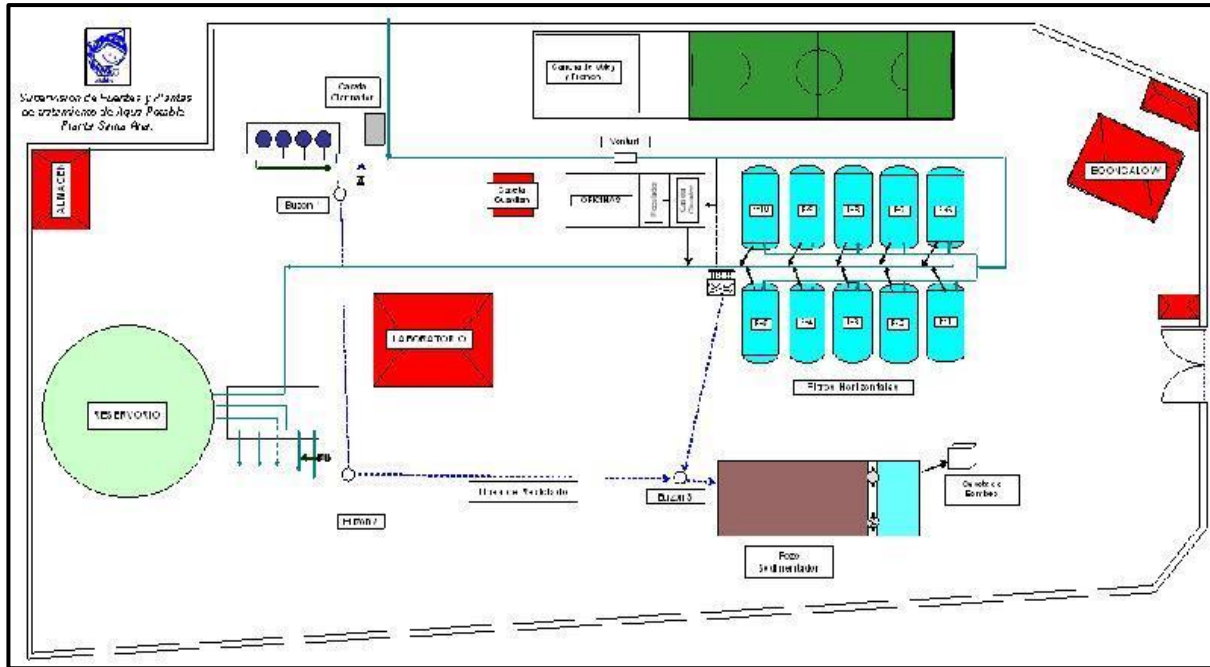
Dimensiones:

- Diámetro exterior : 19 mm
- Espesor nominal : 2.3 mm
- Diámetro exterior del cuerpo de la cabeza : 44 mm
- Numero de barras de filtración : 36 mm
- Altura de las barras de filtración : 21 mm
- Separación entre barras de filtración : 0.34 mm

Características del sistema de filtración:

- “El sistema de filtración es a través de lecho filtrante de arena cuarcítica o silíceo de un tamaño efectivo (te) de 0.7 mm, coeficiente de uniformidad de 1.5 mm y grava de cuarzo de 4 a 8 mm, y es percolado por medio de toberas de cola larga de material de polietileno de alta densidad en promedio, 17 m³ de lecho filtrante de arena cuarcítica y 4 m³ de grava.
- Cada filtro tiene diferenciado dos zonas de presión (alta presión y baja presión) los cuales definen la pérdida de carga medida por manómetros en ambas zonas y los que permiten identificar la rata de filtración para los programas de lavado.
- En la actualidad se lavan los filtros de acuerdo con la colmatación del lecho filtrante y se controla a través de turbidímetros digitales.
- El lavado de filtros es en contracorriente y mixto, es decir aire y agua, el aire se suministra por compresoras accionadas por motores de 36 HP, la planta cuenta con dos equipos, el tiempo de lavado varía de acuerdo con el grado de colmatación que en promedio el tiempo no excede los 30 minutos, la carrera de filtración es en promedio de 48 horas, acortándose en algunas temporadas del año 24 horas.” (SEDACUSCO, 2018)
- Se lleva un registro diario tiempo de lavado, el cual es operado y llenado por los técnicos a cargo.

Figura N° 10: Esquema de la planta de tratamiento Santa Ana - Cusco.



Fuente: (SEDACUSCO, 2018)

2.2.3.5.3 Planta Auxiliar de Santa Ana

La planta auxiliar de tratamiento de agua potable, que suministraba agua al reservorio de Picchu, es del tipo de filtración a presión directa. Es una planta de filtros verticales, modelos FUV-2500 de patente DEGREMONT (francesa), con lavados con retorno de agua filtrada de otros filtros. (SEDACUSCO, 2018)

La planta cuenta con una batería de 4 filtros verticales en forma paralela, que tratan en conjunto un caudal de 80 LPS, son de instalación sencilla y de accionamiento manual, la explotación de esta unidad no necesita de personal especializado en el manejo de válvulas. Originalmente esta planta estuvo ubicada en el sector denominado Quillahuata para tratar las aguas provenientes de la laguna Qoricocha, al haber quedado desactivada esta fuente, la planta de tratamiento fue reubicada en la PTAP Santa Ana, desde enero de 1998, pero actualmente no se encuentra en funcionamiento. (SEDACUSCO, 2018)

2.2.3.5.4 Desinfección

La desinfección es realizada por medio de un sistema de cloración con cloro líquido, dosificada por equipo cloradores de 500 lb/24 horas. En una dosis adecuada que permita obtener un cloro residual de 1.2 ppm en promedio en la planta permitiendo garantizar la presencia de cloro residual en la red y que los registros demuestran que esta es del orden de 0.7 ppm en promedio. El sistema de desinfección es por inyección al vacío utilizado para tal fin electrobombas de 12 HP.



a. Tipos de desinfección

a.1. Inyección al vacío

Es el producido por electrobombas de 12 HP

Equipamiento

- 02 electrobombas (marca Hidrostal, potencia 12 hp)
- 01 tablero eléctrico de mando para operación de las electrobombas cada 12 horas
- 02 cloradores de 500 lb/24 horas

Equipos cloradores

- Equipo clorador Wallace & Tiernan V 10K de 300 lbs/24 hr.
- Equipo clorador Wallace & Tiernan VONOTECH 500 lbs/24 hr.
- Báscula de pesada de cilindros de 2 TM.

Balones y cilindros de cloro

- Balones (botellones) de 68 kg de capacidad 50 unidades.
- Cilindros de acero de carbón de 907 kg de capacidad 10 unidades.
- Equipo de clorímetro HACH (digital) para determinación de cloro residual

a.2. Laboratorios e Instalaciones de Control de Calidad

En la planta de Santa Ana se cuenta con un laboratorio de tres ambientes con instalaciones para el control microbiológico y para el control físico químico independiente, los controles se efectúan en todas las etapas del proceso de potabilización es decir fuentes de captación. Plantas de tratamiento, reservorios y red de distribución.

La frecuencia y periodicidad de los análisis se realizan cumpliendo las exigencias mínimas determinadas por la normatividad respecto al control de la calidad de agua. La empresa cuenta con laboratorio implementado para el nivel clasificado sin embargo para casos de determinación de parámetros no implementados se envía a laboratorios acreditados.

2.2.3.5.5 Reservorio

El reservorio está ubicado en la PTAP Santa Ana Cusco y tiene un volumen de 6500 m³, el volumen sin reserva es de 6200 m³, su estructura es de concreto armado y consta de apoyos metálicos, tiene 35 años de antigüedad. (SUNASS, 2013)



2.2.4 Ensayos de calidad de material filtrante

2.2.4.1 Granulometría del medio filtrante (ASTM D 422 – NTP 339.128)

El objetivo de este ensayo es determinar el tamaño de los granos que componen una muestra del medio filtrante.

El procedimiento para realizar el análisis es el siguiente:

- Obtener una muestra representativa del lecho filtrante.
- Secar y pesar la muestra de material filtrante.
- Colocar la muestra y pasarla por el juego de tamices, agitar mecánica o manualmente, hasta que los granos pasen a través de las mallas como su tamaño lo permita.
- Pesar las porciones de muestra retenidas en cada malla y calcularlas como porcentajes de la muestra total.
- Graficar los porcentajes obtenidos, colocando los porcentajes en peso acumulado en el eje de las ordenadas (escala logarítmica), y el tamaño de los granos en milímetros en el eje de las abscisas.

Del análisis granulométrico, se procede con el cálculo del diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad, determinando con anterioridad el D60 y D10.

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

2.2.4.2 Ensayo de Permeabilidad (ASTM D 2434)

Este método de ensayo cubre la determinación del coeficiente de permeabilidad mediante un método de carga constante para flujo laminar de agua a través de suelos granulares.

“Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas. La permeabilidad de los suelos, es decir la facultad con la que el agua pasa a través de los poros, es un factor determinante para el material filtrante utilizado en plantas de tratamiento, debido a que a mayor permeabilidad menos eficiente es el proceso de filtración, puesto que no realiza la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que discurre a través de un medio poroso”. (Angelone, 2006)

2.2.4.2.1 Movimiento del fluido en el suelo. Ley de Darcy, coeficiente de permeabilidad

Según (Angelone, 2006) “El flujo de agua a través de medios porosos está gobernado por una ley experimentalmente por Darcy en 1856, quien investigo las características del flujo de agua a través de filtros de material terreo. Utilizando determinados dispositivos de diseño, Darcy encontró que para velocidades suficientemente pequeñas el gasto o caudal Q es”:

Fórmula de Darcy (1856), está dada por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = k * i * A$$

Donde:

Q = caudal o gasto cm³/seg.

Δ V = variación del volumen en un diferencial de tiempo.

Δ T = Diferencial de tiempo (seg)

k = coeficiente de permeabilidad (cm/seg)

I = gradiente hidráulico.

A = sección transversal del filtro (m²)

A continuación, en la **Figura N° 11** se visualiza la tabla de valores del coeficiente de permeabilidad para diferentes tipos de suelo, luego de obtener el valor de **k** en el ensayo de permeabilidad se puede apreciar mediante la siguiente tabla si un suelo tiene un drenaje pobre, bueno o muy bueno.

Figura N° 11: Valores del coeficiente de permeabilidad para distintos suelos.

TABLA I: Valores de k en cm/seg

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. ^d			Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición	
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.						Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.					
Determinación indirecta de k			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.							Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia				

Fuente: (Angelone, 2006).



2.2.5 Norma OS.020 para Filtración Rápida

2.2.5.1 Alcance

“Establece las condiciones generales que deben cumplir los filtros rápidos.” (OS.020, 2009)

2.2.5.2 Requisitos

2.2.5.2.1 Número de unidades

“El número de unidades de filtración se determinará mediante un estudio económico o condiciones especiales del proyecto. El número mínimo será de dos unidades.” (OS.020, 2009)

2.2.5.2.2 Dimensiones de las unidades filtrantes

- a. **Profundidad.** “Sera una función de las alturas del sistema de drenaje del medio de soporte y medio filtrante, de la altura del agua sobre el medio filtrante y de la altura de borde libre. La altura de agua sobre el lecho filtrante es variable y depende del tipo de operación del filtro.
- b. **Largo y Ancho.** La relación largo-ancho será determinada por un estudio económico o por las condiciones especiales del proyecto”. (OS.020, 2009)

2.2.5.2.3 Filtros rápidos convencionales con lecho filtrante de un solo material

- a. “La tasa de filtración deberá fijarse idealmente en una planta de filtros piloto, de acuerdo al tamaño empleado y a la profundidad del lecho.
- b. Los valores de la tasa de filtración se encuentran en los siguientes límites:
 - Mínima: 75 m³/ (m².dia)
 - Máxima: 200 m³/ (m².dia)
 - Normal: 120 – 150 m³/ (m².dia).” (OS.020, 2009)
- c. **Capa soporte del medio filtrante:**
 - “La granulometría y el espesor de la grava dependen del tipo de drenaje. Para drenajes diferentes a las viguetas prefabricadas, ver las recomendaciones del proveedor.
 - Para el caso de viguetas prefabricadas respetar la siguiente granulometría:

Tabla N° 2: Granulometría de arena.

Sub camada	Espesor (mm)	Tamaño (mm)
1 (fondo)	10 – 15	25.4 - 50 1" - 2"
2	7.5 – 10	12.7 - 25.4 1/2" - 1"
3	7.5 – 10	6.4 - 12.7 1/4" - 1/2"
4	7.5 – 10	3.2 - 6.4 1/8" - 1/4"
5 (superficie)	7.5 – 10	1.7 - 3.2 1/16" - 1/8"

Fuente: (OS.020, 2009)

- En cuanto a las condiciones físicas a cumplir por la grava, se tienen las siguientes condiciones:
- En cuanto a las condiciones físicas a cumplir por la grava, se tienen las siguientes condiciones:
 - ✚ La grava no deberá contener más de 2% en peso de piedras aplanadas, alargadas o finas, en las que la mayor dimensión excede en tres veces la menor dimensión.
 - ✚ Deberá estar libre de arcilla, mica, arena, limo o impurezas orgánicas de cualquier clase.
 - ✚ La solubilidad en HCl al 40% debe ser menor de 5%.
 - ✚ La porosidad de cada subcapa debe estar entre 35 y 45%.
 - ✚ Deberá ser obtenida de una fuente que suministre piedras duras, redondeadas con un peso específico no menor a 3.5 (no más de 1% puede tener menos de 2.25 de peso específico).” (OS.020, 2009)

d. Medios Filtrantes

- “La arena debe cumplir con las siguientes especificaciones:
 - ✚ El material laminar o micáceo debe ser menor de 1%.
 - ✚ Las pérdidas por ignición deben ser menores de 0.7%.
 - ✚ La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica.
 - ✚ La solubilidad de HCl al 40% durante 24 horas debe ser < 5%.
 - ✚ El peso específico debe ser mayor de 2.6%.” (OS.020, 2009)



- “El espesor y características granulométricas del medio filtrante deberán ser determinados mediante ensayos en filtros piloto. Los valores se encuentran entre los siguientes límites: espesor 0.6 a 0.75 m, tamaño efectivo entre 0.5 a 0.6 mm. El coeficiente de uniformidad en todos los casos debe ser menor o igual a 1.5.
- Cuando el filtro funcione parcial o permanentemente con filtración directa, la granulometría del material deberá ser más gruesa. El tamaño efectivo del material podrá ser 0.7 mm, el tamaño mínimo de 0.5 a 0.6 mm, y el tamaño máximo de 1.68 a 2.0 mm y el espesor de 0.8 a 1.0 mm”. (OS.020, 2009)
- “La antracita deberá reunir las siguientes condiciones:
 - ✚ Dureza mayor a 3 en la escala de Moh.
 - ✚ Peso específico mayor de 1.55.
 - ✚ Contenido de carbón libre mayor de 85% en peso.
 - ✚ La solubilidad en HCl al 40% en 24 horas debe ser menor de 2%.
 - ✚ En una solución al 1% de NaOH no debe perderse más del 2% de material.
- Otros medios filtrantes: Los cuales podrán usarse, siempre que se justifique con estudios experimentales.” (OS.020, 2009)

2.2.5.2.4 Filtros rápidos con lechos mixtos y múltiples

a. Tasa de filtración

“Deberá de fijarse de acuerdo al tamaño del material empleado y profundidad del lecho, preferentemente mediante ensayos en filtros piloto. Estos valores se encuentran entre los siguientes límites:

- Mínima: 180 m³/ (m².dia) (Material fino y bajo nivel de operación y mantenimiento)
- Máxima: 300 m³/ (m².dia) (Material grueso y condiciones excepcionales de operación y mantenimiento)
- Normal: 200 – 240 m³/ (m².dia) (Material grueso y condiciones normales de operación y mantenimiento)”. (OS.020, 2009)

b. Capa soporte del medio filtrante

Depende del tipo de drenaje empleado y deberá cumplir las especificaciones indicadas en la *tabla 3*:

<i>Sub camada</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Tamaño (mm)</i>
1 (fondo)	10 – 15	25.4 - 50 1" - 2"
2	7.5 – 10	12.7 - 25.4 1/2" - 1"
3	7.5 – 10	6.4 - 12.7 1/4" - 1/2"
4	7.5 – 10	3.2 - 6.4 1/8" - 1/4"
5 (superficie)	7.5 – 10	1.7 - 3.2 1/16" - 1/8"

Tabla N° 3: Granulometría capa soporte del medio filtrante.

Fuente: (OS.020, 2009)

c. Medios filtrantes

“**Arena:** El tipo de arena a usar, su tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad deberán ser los indicados en el siguiente cuadro, y el espesor de la capa de arena deberá ser de 1/3 del espesor total del lecho.

- ✚ El material laminar o micáceo debe ser menor de 1%.
- ✚ Las pérdidas por ignición deben ser menores de 0.7%.
- ✚ La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica.
- ✚ La solubilidad de HCl al 40% durante 24 horas debe ser < 5%.
- ✚ El peso específico debe ser mayor de 2.6%”. (OS.020, 2009)

“**Antracita:** Las características físicas del material deberán ser las siguientes:

- ✚ El material laminar o micáceo debe ser menor de 1%.
- ✚ Las pérdidas por ignición deben ser menores de 0.7%.
- ✚ La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica.
- ✚ La solubilidad de HCl al 40% durante 24 horas debe ser < 5%.
- ✚ El peso específico debe ser mayor de 2.6%
- ✚ La granulometría deberá seleccionarse de acuerdo al tamaño efectivo de la arena, de tal forma que no se produzca un grado de intermezcla mayor de 3. Para que esto se cumpla, el tamaño correspondiente al D90 de la antracita debe ser el triple del tamaño efectivo de la arena.



- ✚ El espesor deberá ser $\frac{2}{3}$ de la altura total del lecho filtrante, puede variar entre 0.5 m y 1.0 m.
- ✚ Las características físicas deberán ser determinadas, preferentemente, en ensayos en filtros piloto; los rangos usuales se encuentran entre los siguientes valores: espesor mínimo de 0.45 m, tamaño efectivo de 0.75 a 0.9 mm, tamaño mínimo de 0.59 mm, tamaño máximo de 2.38 mm y coeficientes de uniformidad menor o igual a 1.5.” (OS.020, 2009)

Otros medios filtrantes: Podrán usarse otros medios filtrantes, siempre que se justifiquen mediante estudios en filtros pilotos. (OS.020, 2009)

d. Sistema de lavado

- El lavado se podrá realizar con agua filtrada, o con aquella que cumpla las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del agua potable.
- Se aceptarán los siguientes sistemas:
 - Con flujo ascendente solo retro lavado con agua.
 - Retro lavado y lavado superficial
 - Retro lavado y lavado con aire
- La cantidad de agua usada en el lavado no deberá sobrepasar el 3.5% del agua filtrada producida.
- La expansión del lecho filtrante cuando solo se lava con agua deberá encontrarse entre los siguientes límites:
- Tasa de lavado
 - Solo con flujo ascendente, tasa de retro lavado: 0.6 a 1.2 m/min
 - Con retro lavado y lavado superficial, tasa de retro lavado: 0.6 a 1.2 m/min
 - Tasas de lavado superficial: Con brazos giratorios: 0.5 a 1.4 l / (s.m²) a una presión de 30 - 40 m de columna de agua. Con rociadores fijos: 1.4 a 2.7 l / (s.m²) presiones de 15 a 30 m de columna de agua. Con retro lavado y lavado con aire: tasa de lavado: 0.3 a 0.6 m/min para producir una expansión de 10%, tasa de aire comprimido: 0.3 a 0.9 m/min.
- Métodos para aplicar el agua de lavado. Las aguas de lavado podrán provenir de:



Tanque elevado

- “Capacidad suficiente para lavar consecutivamente dos unidades, por un periodo de 8 minutos a las máximas tasas de lavado previstas.
- Ubicación del tanque; la altura del tanque sobre el nivel del lecho filtrante se calculará teniendo en cuenta que el caudal de diseño debe de llegar hasta el borde superior de la canaleta de lavado, por lo cual, deberán considerarse todas las pérdidas de carga sobre esta y el tanque.
- En el caso de lavados con flujo ascendente y lavado superficial, la mayor presión que se necesita para este último, podrá darse con equipos de bombeo adicionales, sistemas hidroneumáticos u otros.
- El equipo de bombeo deberá tener la capacidad adecuada para asegurar el suministro oportuno del volumen de agua que se necesita para hacer los lavados que se requieran por día.
- El tanque deberá estar provisto de un sistema automático de control de niveles y sistema de rebose y desagüe”. (OS.020, 2009)

Sistema de bombeo directo

- “Este sistema es muy vulnerable cuando las condiciones de operación y mantenimiento no son adecuadas y como la eficiencia de los filtros depende de las bondades del sistema de lavado, no se deberá considerar este tipo de solución cuando existan condiciones desfavorables.
- El lavado se hará por inyección directa de agua bombeada desde un tanque enterrado o cisterna. Deberá considerar en forma especial las condiciones de golpe de ariete, caudal y altura dinámica de las bombas.
- Deben considerarse por lo menos dos bombas, cada una de ellas tendrá capacidad para bombear la totalidad del caudal de lavado, con una carga hidráulica mínima, considerando las pérdidas de carga hasta el borde superior de la canaleta de lavado.
- Las bombas seleccionadas deberán adecuarse a las tasas de lavado mediante el uso de dispositivos reguladores de presión y caudal.”



Lavado con flujo proveniente de las otras unidades

- “Para aplicar este sistema de lavado, los filtros deben agruparse en baterías con un número mínimo de 4 unidades.
- La presión de lavado será función de una carga hidráulica regulable mediante un vertedero, para mantener el medio granular con una expansión de 25 y 30%.
- La carga hidráulica de lavado se determina mediante la pérdida de carga total durante esta operación, la cual depende del peso de los granos de arena y/o antracita y este, a su vez, de la granulometría del material considerando, tipo de drenajes, etc. y puedes variar de 0.6 a 1.2 m, según el tamaño del material considerado. Esta pérdida de carga será calculada para cada caso utilizando los métodos disponibles.
- La sección de cada filtro debe ser tal, que al pasar por esta el caudal de diseño de batería, se produzca la velocidad de lavado requerida para la expansión del medio filtrante.
- El número de filtro depende de la relación entre la tasa de filtración (V_f) y la velocidad de lavado (V_l).
- Es necesario que todos los filtros estén interconectados, ya sea mediante un canal lateral o a través del falso fondo.” (OS.020, 2009)

Sistemas de recolección del agua de lavado

“En el sistema de canal principal y canaletas laterales deberán cumplirse las condiciones:

- La distancia entre los bordes de dos canaletas contiguas no debe exceder de 2.1 m
- La distancia máxima de desplazamiento del agua no deberá exceder de 1.05 m.
- En unidades pequeñas en la que no se superen las condiciones anteriores, pueden omitirse las canaletas laterales.
- En el fondo de las canaletas deberá estar, por lo menos, 5 a 10 cm sobre el lecho filtrante expandido en su elevación máxima.
- Capacidad de descarga de las canaletas.
- Deberá calcularse para la velocidad máxima del lavado previsto, considerando el 30% de sobrecarga.
- Nivel de carga en las canaletas.
- El borde libre mínimo en la canaleta debe ser de 0.10 m.



Dependiendo del tamaño de la planta, podrá justificarse un sistema de recuperación de agua de lavado.” (OS.020, 2009)

e. Sistema de drenaje

- **Diseño.** “Deberá recoger el agua filtrada y distribuir el agua de lavado en la forma más uniforme posible, para ello es necesario que el agua ingrese a todo lo ancho del filtro, no se permitirá el ingreso concentrado en un punto, ya que favorece diferencias extremas en la distribución, y por tanto, en la expansión del lecho filtrante.
- **Tipo de sistema.** Se deberá seleccionar sistemas confiables, resistentes, eficientes, que puedan ser construidos localmente, sean económicos y que logren una uniforme distribución del flujo en el lecho filtrante, aceptándose una desviación menor o igual a 5%.” (OS.020, 2009)

Esto se logra cuando:

$$\frac{nA_L}{A_C} \leq 0,46$$

Donde:

Ac: sección transversal del falso fondo.

Al: sección de orificios de distribución del drenaje.

n: número de orificios del sistema

f. Sistema de control de filtros

“El sistema de control de filtros dependerá de la forma de operación de los mismos. Los filtros deben diseñarse para operar con tasa declinante para lograr mayor eficiencia, facilidad de operación y menor costo de operación del sistema. Podrá usarse tasa constante previa justificación y tomando en cuenta lo indicado a continuación: Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a seleccionar los procesos de tratamiento que se adecuen a la calidad de la fuente en estudio. Se tendrá especial consideración a la remoción de microorganismos del agua. Se seleccionarán procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad y se reducirá al mínimo la mecanización y automatización de las unidades a fin de evitar al máximo la importación de partes y equipos.” (OS.020, 2009)

“En el estudio de factibilidad técnico - económica se analizarán las diferentes alternativas en relación al tipo de tecnología, necesidad de personal especializado para la operación, confiabilidad en condiciones de mantenimiento correctivo y situaciones de emergencia. Para el análisis económico se consideran los costos directos, indirectos, de operación y de mantenimiento de las alternativas, para analizarlos de acuerdo a un método de comparación



apropiado. Se determinará en forma aproximada, el monto de las tarifas por concepto de tratamiento. Con la información antes indicada se procederá a la selección de la alternativa más favorable”. (OS.020, 2009)

- **Tasa declinante de filtración**

“Los filtros con tasa declinante se controlan mediante vertederos. La operación será automática, y con las siguientes condiciones. Los ingresos de agua sedimentada a los filtros deben:

- Estar situados en un canal o conducto de interconexión.
- Tener secciones iguales.
- Estar ubicados por debajo del nivel mínimo de operación.
- Carga hidráulica disponible en la instalación. La carga hidráulica se considerará por encima del nivel del vertedero de salida de la batería de filtros. La carga hidráulica se calculará de tal manera que al iniciar la carrera un filtro recién lavado, la tasa de filtración no exceda de 1.5 veces la tasa promedio de diseño. Esta carga decrece al incrementarse el número de filtros de la batería. Puede variar a 0.5 m para 4 filtros a 0.2 m para 8. Deberá presentarse el cálculo de esta carga, pudiendo utilizar programas de cómputo disponibles. Deberá considerarse un aliviadero regulable en el canal de distribución de agua sedimentada para limitar la carga hidráulica.
- El proyectista deberá incluir en el instructivo de arranque los procedimientos para la instalación de la tasa declinante durante la operación inicial”. (OS.020, 2009)

- **Medidor de pérdida de carga**

“En cada unidad deberá colocarse un medidor de pérdida de carga, el que se podrá consistir de un piezómetro en decímetros. Se recomienda tener alarma visual o acústica cuando la pérdida exceda en un máximo preestablecido. Los filtros de tasa declinante no requieren medidor de pérdida de carga, esto se puede determinar visualmente y su límite máximo debe estar limitado por un aliviadero regulable en el canal de distribución de agua sedimentada. Los filtros de tasa constante requieren un medidor de pérdida de carga en cada una de las unidades”. (OS.020, 2009)

- **Válvulas**

- “Las válvulas o compuertas requeridas para cada unidad filtrante serán las que correspondan al diseño adoptado. Las válvulas de accionamiento frecuente deberán ser tipo mariposa, sobre todo cuando la operación es manual.



- Operación. El accionamiento de las válvulas o compuertas podrá ser manual, neumático o hidráulico, o una combinación de estos medios, dependiendo del tamaño de las instalaciones y de los recursos disponibles para la operación y mantenimiento. Para todos los casos de accionamiento se deberá contar con la alternativa de operación manual.
- Dispositivos de seguridad. En caso de accionamiento no manual, se deberá contar con dispositivos de seguridad para evitar cualquier maniobra inadecuada en el manejo de los filtros”. (OS.020, 2009)
- Velocidades. Las velocidades máximas en las válvulas o compuertas deberán ser:
 - Agua decantada (afluente): 1.0 m/s
 - Agua filtrada (efluente): 1.8 m/s
 - Agua de lavado: 1.5 m/s.” (OS.020, 2009)

2.2.6 Norma técnica colombiana RAS – 2000, capítulo 7: Filtración

2.2.6.1 Alcance

“En este literal se establecen las condiciones y requisitos mínimos de las unidades de filtración. Se presentan los estudios previos que deben realizarse, se describen los distintos sistemas de control que pueden emplearse en las unidades de filtración, se muestran las características que deben tener los distintos materiales que pueden ser empleados en el lecho filtrante y el lecho de soporte, lo mismo que las características de diseño que deben tener las unidades, así como los parámetros mínimos de diseño de las mismas”. (RAS, 2000)

“También se establecen algunos criterios sobre el sistema de lavado y drenaje de las unidades de filtración. Todos los criterios son aplicables a los cuatro niveles de complejidad del sistema, a no ser que se especifique lo contrario”. (RAS, 2000)

2.2.6.2 Clasificación de los procesos

La filtración rápida se divide en filtración ascendente y descendente. Puede filtrarse por gravedad o por presión, el lavado puede ser intermitente o continuo. (RAS, 2000)

2.2.6.3 Estudios previos

a. Estudios de calidad de agua

“Deben realizarse los estudios de calidad del agua que va a filtrarse para determinar el tipo de filtración que debe realizarse. De acuerdo con los resultados pueden seguirse las recomendaciones para la selección del tipo de filtración.” (RAS, 2000)



a.1. Filtración Rápida

“Debe filtrarse agua previamente tratada (coagulación y/o floculación con o sin sedimentación o flotación) para lograr la remoción de las últimas partículas que no hayan sido retenidas por el Sedimentador.” (RAS, 2000)

Entre los filtros rápidos se tiene:

Filtración directa

“La filtración puede ser de contacto (sin floculación, ni sedimentación) o filtración directa propiamente dicha (sin sedimentación, pero con coagulación-floculación total o parcial).

Este proceso debe trabajarse con una coagulación por neutralización de cargas diferentes de la coagulación de barrido. El agua cruda debe tener una turbiedad y un color inferiores a 8 UNT Y 30 UNT respectivamente al 90% del tiempo. El 10% restante, la fuente no puede tener una turbiedad superior a 15 UNT Y 50 UNT de color. En caso de que por tiempos cortos (no mayores de 5 horas) se excedan estos límites, debe proveerse una solución para que haya continuidad del servicio.” (RAS, 2000)

b. Ensayos previos de filtración

“Cuando se quiere trabajar con parámetros de ingreso distintos a los establecidos anteriormente debe demostrarse su viabilidad en estudios de planta piloto con duración efectiva no menor de 6 meses útiles en donde se puedan obtener series de datos estadísticos.” (RAS, 2000)

c. Estudio de costos

“En el estudio de costo que debe realizarse, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de las unidades de filtración. Además, debe indicarse la fuente de los materiales y su costo, en especial la procedencia del medio filtrante y de soporte.” (RAS, 2000)

2.2.6.4 Descripción de los procesos

a. Sistemas de control de flujo

“A continuación, se establecen los principales métodos que pueden emplearse para controlar la tasa de filtración.” (RAS, 2000)

a.1. Filtración de tasa constante

“Es el tipo de control tradicional de los filtros rápidos convencionales. Debe emplearse un controlador variable que mantenga una pérdida de carga total constante al abrirse gradualmente la válvula, a medida que el lecho se colmata. Requiere medida de la pérdida de carga. El controlador puede ser de diafragma operado por contrapeso, de sifón, o de válvula de mariposa



operada por un flotador, que mantiene un nivel constante de agua en el filtro, o por sistemas electrónicos”. (RAS, 2000)

a.2. Filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable

“El caudal debe distribuirse por igual mediante un orificio o vertedero de entrada sobre cada filtro. El vertedero de control debe quedar en un nivel superior al nivel máximo en el filtro. La unidad debe ser bastante profunda para permitir una variación del nivel de por lo menos 2 m. debe introducirse un sistema de disipación de energía a la entrada del flujo para no disturbar el medio filtrante. No requiere medida de la pérdida de carga”. (RAS, 2000)

a.3. Pérdida de carga variable, nivel variable, tasa declinante con vertedero de control.

“El afluente debe entrar al filtro por debajo del nivel de la canaleta de lavado. Debe contar con un vertedero de control, un orificio o una válvula que evite el vaciado del filtro al comienzo de las carreras. No requiere medida de la pérdida de carga”. (RAS, 2000)

b. Localización.

“La localización del filtro debe proyectarse de manera que ofrezca una buena visibilidad al operador a fin de facilitar el control de la operación de lavado. Por eso mismo el área filtrante debe quedar a la vista del operador”. (RAS, 2000)

c. Equipo de filtración.

“La selección del tipo de filtro debe hacerse teniendo en cuenta las características del agua por tratar, las condiciones técnico – económicas del proyecto, así como las condiciones de operatividad y mantenimiento del sistema, en una localidad dada”. (RAS, 2000)

La selección del tipo de filtro debe justificarse, así como las características particulares del mismo, en cuanto al número de unidades, medio filtrante, lavado, recolección, drenaje, etc.

c.1. Filtros rápidos.

“Estas unidades se clasifican en dos grupos; filtros rápidos de flujo descendente y flujo ascendente. El flujo a través de los medios filtrantes debe pasar por gravedad. No se aceptan filtros a presión para municipios”. (RAS, 2000)

c.1.1. Filtros rápidos de flujo descendente.

“En el diseño de la unidad deben considerarse los siguientes componentes:

- Sistema de entrada de agua
- Medio filtrante
- Caja de filtro
- Sistema de drenaje

- Sistema de efluente
- Sistema de lavado de filtro.” (RAS, 2000)

c.1.2. Filtros rápidos del flujo ascendente.

“El agua debe entrar por debajo del lecho y asciende para descargar en un sistema efluente. Puede hacerse lavado continuo o lavado intermitente. En este último caso el lavado se hace en el mismo sentido de la filtración, lo que tiene el inconveniente de producir conexiones cruzadas de agua limpia con agua de lavado. El sistema de drenaje, por trabajar con agua cruda debe ser a prueba de atascamiento. Se aceptan solo como prefiltros, pero pueden usarse como filtros terminales, previo estudio de planta piloto”. (RAS, 2000)

2.2.6.5 Parámetros de diseño.

2.2.6.5.1 Filtros rápidos.

a.1. Composición de los lechos filtrantes.

“El filtro puede ser de un solo medio (arena o antracita), de medio dual (arena y antracita) o lechos mezclados. Puede ser de profundidad convencional de 0.6 a 0.9 m o de capa profunda de más de 0.9 m de altura”. (RAS, 2000)

“Las partículas deben ser duras, resistentes, de forma preferiblemente redondeada sin exquistos ni partículas extrañas, libre de lodo, arcilla o materias orgánicas”. (RAS, 2000)

- Lechos de arena. La arena (fina, estándar o gruesa) debe estar dentro de los límites señalados en la *tabla 4*.

Tabla N° 4: Granulometría de arena.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Arena	Tamaño efectivo		Coeficiente de uniformidad	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Máximo
Arena fina	0.35	0.45	1.35	1.7
Arena estándar	0.45	0.65		
Arena gruesa	0.65	0.85		

“La arena fina (0.35 mm – 0.45 mm) solamente se recomienda en los siguientes casos:

- Cuando el pretratamiento sea poco satisfactorio.
- Cuando se requiera un alto grado de remoción.
- Cuando se pueda operar los periodos cortos de filtración y no sea importante el ahorro de agua de lavado.
- Cuando el sistema de lavado este diseñado únicamente para arena fina.” (RAS, 2000)



“La arena gruesa (0.45 mm – 0.65 mm) se recomienda cuando las condiciones del agua se encuentren entre las que se especifique para arena fina y gruesa.

- Cuando el pretratamiento sea satisfactorio.
 - Cuando no se requiera un alto grado de remoción.
 - Cuando se requieran periodos largos en los filtros y ahorro de agua de lavado.
 - Cuando el filtro sea diseñado para altas tasas de lavado.” (RAS, 2000)
- “Lechos de antracita. Para los lechos de antracita, este material debe tener un contenido bajo de cenizas y material volátil, baja friabilidad, alto contenido de carbono fijo y atraxilon (fósiles coloidales), y además libre de mica, polvo, arcilla, sulfuro de hierro, limo y materiales extraños. Las partículas deben ser piramidales con el fin de obtener una mayor área superficial por unidad de volumen, con una densidad no inferior a 1450 kg/m³ y una dureza de 3.5 en la escala de Mohs. La antracita puede reemplazar la arena parcial o totalmente como lecho filtrante”. (RAS, 2000)

Las características físicas y químicas de los medios filtrantes, muestreo, ensayos, embarque y colocación del material filtrante, deben cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 2572:

- Tamaño eficaz de la antracita: El tamaño eficaz de la antracita tiene un rango muy bajo, como 0.6 mm a un valor tan alto como 1.6 mm, los coeficientes de uniformidad son de 1.7 o menores.
- Tamaño de la arena de sílice: El tamaño eficaz de la arena de sílice generalmente tiene un rango de 0.35 mm a 0.65 mm y los coeficientes de uniformidad generalmente son de 1.7 o menores.
- Tamaño de la arena de alta densidad: El tamaño eficaz de este material tiene un rango entre 0.18 mm y 0.6 mm, los coeficientes de uniformidad generalmente son de 2.2 o menores.
- Lechos mezclados de arena y antracita. Para este tipo de lecho debe formarse una interfase de los dos materiales donde ellos se juntan, que no puede ser mayor a 0.15 m. por tanto los tamaños de los granos de cada lecho deben ser tales que el diámetro de medio de antracita más grueso (que va encima: d_1), sea como máximo cuatro a seis veces mayor que el diámetro del medio menor de arena (d_2) que va debajo. ($d_1 = 4$ a $6 d_2$).

a.2. Soporte del medio filtrante.

“El lecho de soporte que sustenta la arena debe ser grava, con unas dimensiones y características que dependen del sistema de drenaje adoptado. Las partículas deben ser de material duro y



resistente a golpes y a la abrasión, de superficie lisa y deben tener en conjunto un mínimo de porcentaje de formas alargadas o planas.” (RAS, 2000)

“Las características físicas y químicas de los medios filtrantes, muestreo, ensayos, embarque y colocación del material filtrante, deben cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 2572:

- El rango de tamaño y espesor de la gravilla filtrante de alta densidad se debe coordinar estrechamente con los otros mantos de gravillas y el medio superpuesto.
- Por lo menos el 92% del peso debe pasar a través de un tamiz N° 4 y no más de 8% por peso seco debe pasar a través de un tamiz N° 10.
- El espesor del manto normalmente tiene un rango entre 50.8 mm y 101.6 mm”. (RAS, 2000)

Este lecho puede reemplazarse por placas porosas de diseño especial garantizado.

a.3. Velocidad de filtración.

“La tasa de filtración debe depender de la calidad del agua, de las características de la filtración y de los recursos de operación y control. La tasa normal debe garantizar la eficiencia del proceso. Para el diseño deben adoptarse las siguientes tasas:

- Para lechos de arena o antracita sola con T_e de 0.45 mm a 0.55 mm y una profundidad máxima de 0.75 m, la tasa debe ser inferior a 120 m³/ (m².dia)
- Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima es de 300 m³/ (m².dia), siempre y cuando la calidad del flóculo lo permita.
- Para lechos de arena o antracita solas de tamaño grueso, con profundidad mayor de 0.9 m, la tasa de filtración máxima es de 400 m³/ (m².dia)

Tasas de filtración mayores de 360 m³/ (m².dia) deben determinarse en filtros pilotos, siempre que la calidad del flóculo lo permita”. (RAS, 2000)

a.4. Altura del agua sobre el lecho.

La altura del agua sobre el lecho puede ser variable o constante, según el tipo de control que se use, pero no puede ser inferior a 0.5 m. El lecho filtrante en ningún momento debe trabajar en seco. (RAS, 2000)

**a.5. Pérdida de carga.**

La hidráulica del filtro debe diseñarse para que como mínimo pueda disponer de 2 m de pérdida de carga durante la carrera de filtración. La sumatoria de los descensos de nivel en un filtro de tasa variable declinante durante la carrera debe ser por lo menos igual a 2m. (RAS, 2000)

a.6. Número de unidades.

Cuando el lavado de los filtros se hace con fuente externa (tanque de lavado), el número mínimo de unidades deben ser tres; y para lavado mutuo el número mínimo de unidades debe ser cuatro. (RAS, 2000)

a.7. Sistema de lavado de la unidad.

“La selección del método de lavado depende las consideraciones económicas o de operación. El fondo de los filtros debe estar diseñado de modo que permita una distribución uniforme y satisfactoria del agua de lavado en toda el área del lecho filtrante, debe preverse un lugar conveniente para el vertimiento de las aguas de lavado y su tratamiento y reutilización si fuera el caso. El agua empleada en el lavado de los filtros debe ser agua potable y utilizarse en lo posible la mínima cantidad. El porcentaje promedio mensual del consumo de agua tratada para el lavado de filtros debe ser máximo 3%.

- Velocidad de lavado. La velocidad del lavado para los filtros debe estar de acuerdo con el tipo de lecho de material filtrante, tamaño de los granos, su peso específico y su profundidad.
- Sistemas de lavado. El lavado de los filtros puede realizarse de distintas maneras. Los lechos uniformes gruesos se pueden lavar con aire y agua a velocidades que no produzcan expansiones mayores del 20%. Los lechos mixtos de antracita y arena deben fluidizarse con expansiones no menores del 20%, y no pueden ser lavados con aire y agua simultáneamente”. (RAS, 2000)

Las técnicas de lavado son:

- “Flujo ascendente. El sistema debe diseñarse de forma que la velocidad del agua que se inyecta por los drenes produzca expansión del lecho del 20 al 40%. La velocidad de lavado debe estar por encima de las velocidades de fluidización del 70% superior del lecho.
- Flujo ascendente y lavado superficial. El lavado ascendente debe complementarse con un lavado superficial; el agua debe inyectarse a presión sobre la superficie del lecho filtrante para romper las bolas de barro. Puede emplearse el equipo de brazos giratorios tipo Palmer, o de rociadores fijos. Deben emplearse tasa de flujo de 80 a 160 L/(min.m²) con presiones de 15 a 30 m.

- Lavado simultaneo con agua y aire. La unidad debe diseñarse de forma que la tasa de aire inyectado a través de boquillas sea de 0.3 a 0.9 m³/ (m².min). El agua debe aplicarse a una velocidad de máximo de 0.3 m³/(m².min) y producir una expansión máxima del 10% del lecho filtrante. Debe emplearse un sistema de drenaje que permita la inyección de aire y agua simultáneamente. No puede utilizarse lecho de grava cuando hay lavado con aire.
- Flujo ascendente y lavado superficial. Este sistema se recomienda para filtros con medio de arena y antracita, y cuando existe tendencia a que las partículas floculadas penetren profundamente. En estas condiciones, las bolas de barro pueden formarse dentro del lecho”. (RAS, 2000)

“Según el tipo de lecho filtrante empleado existen modalidades de ejecutar el lavado, como se observa en la tabla siguiente:

Tabla N° 5: Modalidades de lavado de filtros.

LAVADO ASCENDENTE CON AGUA		AGITACIÓN AUXILIAR		Medio filtrante con que se usa este lavado
Tipo	Descripción	Tipo	Descripción	
De alta velocidad (0.6 a 1.0 m/min)	Se usa velocidad constante durante el lavado con fluidización de todas las capas del medio filtrante y estratificación de partículas	Sin agitación auxiliar	Se usa lavado ascendente solo	Arena fina sola arena y antracita
		Con agua	Chorros Fijos	Arena fina sola arena y antracita
			Chorros rotatorios	
Con aire	Aire sin flujo de agua ascendente primero y agua sola después	Arena fina sola arena y antracita, antracita sola		
De baja velocidad (0.3 a 0.45 m/min)	Velocidad inicial más baja durante la primera fase del lavado que durante la segunda sin fluidización en ambas.	Con aire	Primero aire simultáneamente con el agua y luego agua sola a una velocidad mayor.	Arena gruesa sola o antracita sola.
De baja velocidad seguida de alta velocidad (0.3 a 0.45 + 0.60 a 1 m/min)	Velocidad baja durante la primera fase de lavado sin fluidificación y alta durante la segunda con fluidificación de partículas.	Con aire	Primero, aire simultáneamente con un flujo de agua ascendente bajo y después agua sola con alta velocidad.	Arena gruesa sola.
Nota: Por arena fina se entiende la arena de un Te = 0.45 a 0.55 mm y arena gruesa la de un Te= 0.8 a 2.4 mm.				

Fuente: (RAS, 2000)

Métodos de aplicación del agua de lavado.

“El flujo de agua de lavado puede provenir de:

- Tanque elevado de lavado, este puede estar sobre una colina cercana (si la topografía lo permite), sobre estructuras metálicas o sobre el edificio de la misma planta. El tanque de



lavado debe quedar cerca de los filtros. Este tanque debe tener una capacidad que permita el lavado completo de dos filtros por lo menos durante 10 minutos.

- Lavado de bomba. El filtro puede lavarse también por inyección directa con bombas de gran capacidad y baja presión. La planta de tratamiento debe contar con dos bombas por lo menos. El agua puede ser tomada del final del tanque de contacto con cloro o del tanque de distribución. Debe instalarse un dispositivo para evitar una inyección brusca de agua de filtro.
- Lavado procedente de otras unidades de filtración. Este caso debe tenerse en cuenta lo siguiente:
 - Todos los filtros deben tener igual área filtrante.
 - Se requiere que el caudal dado por la planta sea por lo menos igual al flujo necesario para el lavado de un filtro.
 - Debe diseñarse como mínimo cuatro unidades para que trabajen con una carga superficial a una velocidad de ascenso no menor de 0.60 m/min.
 - El canal de entrada debe conducir el agua a cualquier filtro, en cualquier momento, con el caudal máximo requerido para el lavado.
 - Sin importar el diseño que se adopte, es necesario que las unidades puedan aislarse en caso de reparación, sin impedir la circulación de flujo de lavado entre los demás filtros que están en operación.

Cuando el flujo del lavado se hace con una fuente externa (tanque elevado o bomba) debe instalarse un sistema de regulación del caudal para mantenerlo constante”. (RAS, 2000)

a.8. Sistema De Drenaje.

“En la siguiente tabla se especifican los tipos de drenes aceptados:

Tipo	Consiste en	Se usa con
Tubería perforada	Tubo principal y laterales perforados, se emplea con grava, bloques difusores o boquillas insertadas	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta o baja velocidad descendente
Falsos fondos	Bloques perforados de arcilla	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta velocidad ascendente
	Bloques o canales perforadas en acero o plástico para uso con o sin grava	Lavado con aire primero y agua después o con aire y agua simultáneamente, con alta o baja tasa de lavado
	Boquillas de cola corta	Lavado con solo agua y alta velocidad ascendente con o sin lavado superficial
	Boquillas de cola larga	Lavado con aire y agua simultáneamente para baja velocidad ascendente
	Prefabricados de concreto para uso con grava	Lavado mutuo con agua de un filtro con el flujo de los otros, para velocidad ascendente. Para el lavado mutuo pueden utilizarse los otros sistemas adecuándolos debidamente
Placas porosas	Placas flexibles para reemplazo de grava	Lavado con aire y agua o agua sola según el dren y alta velocidad ascendente

Tabla N°6: Sistemas de drenaje”.

Fuente: (RAS, 2000)

2.2.6.6 Control de los procesos y operación

2.2.6.6.1 Filtro rápido

a. Medio filtrante.

“El medio filtrante es de especial cuidado, por lo cual debe mantenerse apto para la operación del sistema, por medio de lavados continuos y cambios del lecho filtrante cuando sea necesario.

El operador debe tener especial cuidado con la operación de lavado de filtros a fin de obtener una limpieza efectiva del medio filtrante y evitar los problemas de: formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante”. (RAS, 2000)

**b. Operación del filtro.**

“Las siguientes actividades deben ejecutarse para asegurar una correcta operación del filtro:

- Evitar turbulencias indebidas y agitación de la arena en el llenado del filtro
- Mantener una buena coagulación del agua, ajustando la dosis optima permanentemente para obtener el mejor filtrado.
- Determinar la turbiedad, el color y la perdida de carga en el efluente del filtro.
- No producir perdida de carga negativa en el lecho filtrante.
- Lavar el filtro cuando este alcance la perdida de carga permitida por el sistema o cuando la calidad del agua alcance el límite máximo permitido por las normas, utilizando las velocidades adecuadas a las características del medio filtrante, de acuerdo con las recomendaciones del diseñador y la experiencia”. (RAS, 2000)

c. Operación del lavado del filtro.

“El lavado debe hacerse cada vez que la perdida de carga es igual a la presión estática sobre el fondo del lecho, o la calidad del efluente desmejore. La mayoría de los problemas del filtro se originan en un lavado deficiente incapaz de desprender la película de recubre los granos del lecho, romper las grietas o cavidades de donde se acumula el material que atrae el agua y transportar el material desde el interior del lecho hasta las canaletas del lavado.

En el lavado ascendente con agua, según la magnitud ascendente de lavado, el lecho filtrante puede tener:

- Todas sus partículas fluidificadas
- Las partículas más finas fluidificadas, pero no las más gruesas
- Ninguna fluidificación de casi la totalidad del lecho filtrante salvo las capas muy superficiales”. (RAS, 2000)

“En los tres sistemas, los gradientes de velocidad son relativamente pequeños y es necesario, frecuentemente por eso, aumentados, introduciendo sistemas auxiliares tales como: lavado superficial con agua y lavado con aire. Estos sistemas utilizan una fuente de energía adicional de forma que la potencia debida a la agitación auxiliar, más la potencia debido al lavado ascendente, salvo en el caso en que se use consecutivamente primero lavado de aire y luego con agua. En este caso el lavado con aire sirve para producir fricción entre los granos (pues no hay fluidificación del medio filtrante) y el lavado con agua para acarrear la película de lodo desprendida hasta las canaletas de lavado”. (RAS, 2000)



El lavado auxiliar con agua puede hacerse de tres formas distintas:

- “Con brazos rotatorios superficiales: para utilizarlos se vacía el filtro hasta dejar unos 30 cm de capa de agua y se inicia el lavado superficial, el cual se continúa por uno o varios minutos. Suspendido este, se produce una expansión de un 15% a 25%, para arrastrar todo el material que se ha desprendido en el proceso anterior. Este sistema tiene la ventaja de ser económico en el uso de agua, pues la aplica en forma concentrada solamente sobre el área por donde se desplazan los brazos”. (RAS, 2000)
- Los rociadores fijos aplican el flujo a toda la superficie del filtro simultáneamente. Las presiones más altas se prefieren cuando existe tendencia a la formación de bolas de barro.

“El lavado auxiliar con aire requiere de drenes especiales y se usa con dos modalidades distintas:

- Primero aire y luego retro lavado, consiste en introducir aire con velocidad de 0.3 m/min a 0.45 m/min y en ocasiones hasta 0.6 m/min durante los primeros minutos de lavado y luego flujo ascendente con agitación inicial se usa solo para frotar un grano con otro. Como se tarda un tiempo para suspender el aire e iniciar el retro lavado, las partículas removidas tienen en esta modalidad ocasión de volver a sedimentar, lo cual produce dificultades para mantener el lecho limpio. Este tipo de lavado es aceptable solo para arena fina.
- Retro lavado y aire simultáneamente, se usa únicamente para arena gruesa de dos etapas: Una primera en que se inyecta aire por las boquillas con velocidad de 0.6 m/min a 1.2 m/min, juntamente con un flujo ascendente con velocidad de 0.25 m/min. Se suspende luego el aire y se aumenta la velocidad del retro lavado a 0.45 m/min – 0.50 m/min. Como se trata arena gruesa no hay estratificación”. (RAS, 2000)

2.2.6.7 Tanque de almacenamiento del agua tratada.

El tanque de almacenamiento debe estar disponible para suministrar agua en horas de máxima demanda y a la vez debe mantener presiones adecuadas en la red de distribución. Es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones:

- a. Realizar la operación de las válvulas según régimen de servicio.
- b. Medir el caudal distribuido.
- c. Aforar el caudal de ingreso al tanque.
- d. Controlar la calidad del agua almacenada.
- e. Vaciar y lavar el tanque cuando se detecten sedimentos, en especial residuos de cal.
- f. Desinfección de tanques.



2.2.6.8 Control de la calidad del proceso.

a. Determinación de la calidad fisicoquímica del afluente.

- Características físicas. Debe determinarse la turbiedad, el color, el aluminio residual y el pH del afluente.
- Características químicas. Debe determinarse la interrelación existente entre el pH, la dosis óptima y la eficiencia.

b. Determinación de la eficiencia.

Debe obtenerse la eficiencia de filtración de la unidad, para lo cual debe emplearse la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \left(\frac{\text{Turbiedad (afluente)} - \text{Turbiedad (efluente)}}{\text{Turbiedad (afluente)}} \right) * 100$$

c. Estudio de calidad sobre una carrera del filtro.

Debe estudiarse la evolución de los parámetros del proceso citados anteriormente, en función del tiempo sobre una carrera de filtración. Además, se recomienda controlar la variación de la concentración del aluminio o hierro residual u otros metales pesados en el efluente.

2.2.7 Escala valorativa.

“Una escala de apreciación es un conjunto de características, aspectos o cualidades que deben ser juzgadas de acuerdo a una escala que permite identificar el grado hasta el cual se ha presentado cada cualidad o característica. Pretenden graduar la fuerza con la que aparece una conducta, por lo tanto, es un buen instrumento para recoger información frente a comportamientos o acciones que queremos observar de manera permanente si nos interesa cuantificar su grado o intensidad”. (Red Peruana de Gestores de Educación, s.f.)

2.2.7.1 Clasificación

a. Numérica

“Consiste en asignar a los ítems categorías descriptivas que componen la escala, una secuencia numérica ordenada de menor a mayor que se utilizan como criterio evaluador”. (Red Peruana de Gestores de Educación, s.f.)

b. Estimativa

“Al evaluador se le entregan una serie de frases a partir de las cuales tendrá que elegir la que se adecue más a la persona evaluada. (mucho, poco, nada; siempre, normalmente, a veces, nunca; etc.)”. (Red Peruana de Gestores de Educación, s.f.)



c. Puntuación Acumulada

“Ordena los ítems de tal manera que, al realizar la evaluación cada uno actúa separado, centrando un mismo criterio. Una variante o subtipo de este modelo de escala ha sido elaborado por Hartshorne y Marco A. May y es conocida por “adivina quién “. En este tipo de escala se pide al investigador que identifique a una persona que encajaría con los criterios propuestos. Este método ha sido empleado en estudios sociométricos en los que a un miembro del grupo se le pide que informe sobre otros”. (Red Peruana de Gestores de Educación, s.f.)

d. Estándar

Se le muestra al observador, ya elaborada, una serie de criterios estándar a partir de los cuales realizarán su evaluación a un grupo concreto.

¿Cuáles son las características de una escala valorativa?

- Se basa en la observación estructurada o sistemática, en tanto se planifica con anterioridad los aspectos que esperan observarse.
- Admiten una amplia gama de categorías de evaluación desde niveles óptimos a la constatación de la necesidad de refuerzos.
- Son más complejas que las listas de cotejo porque implican una discriminación más precisa por parte del evaluador para asignar los valores adecuados.
- No implica juicios de valor. Solo reúne el estado de la observación de las conductas preestablecidas para una posterior valoración.

¿Cómo se elabora la escala valorativa?

- Definir el rasgo.
- Elaborar indicadores a partir de la definición elaborada.
- Especificar el orden o secuencia de los indicadores.
- Validar la relación lógica entre la definición del rasgo y los indicadores elaborados, a través de juicio de experto.
- Seleccionar el tipo de escala para evaluar cada indicador, puede ser Sí – No; Logrado – No Logrado, etc.
- La escala de apreciación puede ser numérica, descriptiva o gráfica.

¿Cómo se usa la escala valorativa?

Requiere del juicio del observador, en concreto juicios cuantitativos sobre el grado de presencia de la conducta y como se muestra. Pueden usarse en una observación única o durante un periodo de tiempo más largo.



A la hora de clasificar, se anotan ítems definidos y se les da un valor numérico o una medida gráfica que se asigna a cada uno. A diferencia del resto de las técnicas de observación, en la Escala de Estimación el registro de datos por parte del observador se realiza después de la observación.

¿Cuáles son sus ventajas?

- Ofrece una evaluación completa del estudiante.
- Es posible abarcar con ellas diversas áreas del desarrollo personal y académico.
- Es menor el esfuerzo mental que realiza el observador a la hora de ponerla en práctica.
- La rapidez de la recogida de datos.
- La posibilidad de utilizar un número importante de categorías.
- El uso de tratamientos cuantitativos, más numerosos y sofisticados.
- Requieren un mínimo entrenamiento, lo que posibilita el poder ser utilizadas por personas sin grandes conocimientos psicológicos.
- Dan información acerca de la realidad del objeto observado.
- Son usadas para registrar conductas que serían menos accesibles por otros medios.

¿Cuáles son sus desventajas?

- Error de debilidad: Los observadores tienden a estimar en un grado que tiende al alza a los sujetos que conocen.
- Error de tendencia central: se tiende a evitar los extremos en sus juicios y realizar una valoración media.
- Efecto Halo: A la hora de emitir el juicio de estimación el investigador puede verse influenciado por otras conductas.
- Error de Lógica: Se puede caer en el error de relacionar dos ítems por un razonamiento lógico, a pesar de no ser así.
- Error de Contraste: Se produce al realizar la valoración de las conductas dependiendo de la percepción que el observador tenga de las mismas. Es decir, existen conductas que pasan desapercibidas mientras que otras son exageradas por el investigador.
- Error de Clausura: A pesar de que el mensaje no es lo suficientemente claro, el observador tiende a “cerrarlo” en una dirección determinada, para que adquiera significatividad.
- Error de Proximidad: Debido a la intercorrelación de los ítems, que se encuentran próximos en el espacio o en el tiempo, se evalúan de modo semejante.



- Error por Abreviación: El observador construye el juicio eliminando “detalles”.
- Error proveniente de la pérdida de la parte intermedia del mensaje: Al ser la unidad de observación en un periodo de tiempo largo, se tiende a considerar únicamente los datos del inicio y final de esta.
- Error de Simetría: Se hacen diferentes valoraciones en un sentido o en el contrario dependiendo del espacio o del tiempo.
- Error de asimilación con las primeras observaciones: Es el caso de dejarse llevar por las primeras impresiones a la hora de realizar la observación de una misma conducta en un tiempo continuado.
- Error por asimilación a la medida que se esperaba.
- Error debido a la posición del observador. Es diferente la estimación que puede tener un profesor, un observador participante o un observador pasivo.
- Ambigüedad de los términos empleados
- Poca información sobre las causas de las conductas

2.3 Hipótesis.

2.3.1 Hipótesis general.

La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 es menor que el reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000.

2.3.2 Sub hipótesis.

Sub Hipótesis Número 1:

La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 se encuentra en un rango de 40 - 60%.

Sub Hipótesis Número 2:

La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000, se encuentra en un rango del 60 - 80%.

**Sub Hipótesis Número 3:**

El material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco, cumple con los ensayos de calidad de acuerdo a la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS).

Sub Hipótesis Número 4:

Los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua se encuentran dentro de los rangos especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA.

Sub Hipótesis Número 5:

El periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco es de 4 - 8 min.

2.4 Definición de variables.**2.4.1 Variables Dependientes.****A. Eficiencia del proceso de filtración de la Planta de Santa Ana - Cusco.**

Capacidad de los filtros de la planta de tratamiento de remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina.

A.1 Material Filtrante

Material filtrante el cual puede ser arena o antracita, de cual depende la remoción de sólidos.

A.2 Calidad de Agua del Afluente

Parámetros que debe cumplir el agua para que sea apta para consumo humano.

A.3 Lavado de los filtros

Operación de mantenimiento más importante para el correcto desempeño de una cama con un medio granular



2.4.2 Cuadro de Operacionalización de Variables.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	SUB - VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE LAS SUB VARIABLES	DIMENSIÓN O NIVEL	INDICADORES	UND. DE MEDIDA	Instrumentos de medición
VARIABLE DEPENDIENTE.	EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PTAP SANTA ANA - CUSCO.	Capacidad de los filtros de remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina.	X1: MATERIAL FILTRANTE	Material filtrante el cual puede ser arena o antracita, de cual depende la remoción de sólidos.	Calidad de material filtrante	Tipo de arena.	mm	Ensayos de calidad de material filtrante.
						Granulometría de arena.	mm	
					Coeficiente de permeabilidad	Expansión del lecho filtrante.	mm	
						Tasa de filtración	m3/m2.dia	
			X2: CALIDAD DE AGUA DEL EFLUENTE	Parámetros que debe cumplir el agua para que sea apta para consumo humano.	Parámetros Físicos - Químicos	Turbiedad.	UNT	Fichas de recolección de datos. Escala de valoración 0-20% muy malo 20-40% malo
						Color.	UCV	
						Ph.	Unidad pH.	
						Conductividad	uS/cm	
						Sólidos Totales disueltos.	mg/L	
						Cloruros.	mg/L	
						Sulfatos.	mg/L	
						Dureza total.	mg/L CaCO3	
						Calcio.	mg/L Ca ++	
						Magnesio.	mg/L Mg ++	
Cloruro	mg/L							
Nitratos.	mg/L							
Salinidad	--							



				Parámetros microbiológicos	Coliformes totales.	UFC/100 mL	40-60% Regular
					Coliformes Termotolerantes.	UFC/100 mL	
			Parámetros inorgánicos	Cloro residual.	mg/L		
		X3: LAVADO DE FILTROS	Operación de mantenimiento más importante para el correcto desempeño de una cama con un medio granular	Colmatación del filtro	Turbiedad del agua en el filtro	UNT	
				Limpieza del filtro	Caudal que se pierde por lavado	Lt/s	
					Tiempo de lavado	min	

Tabla N° 7: Cuadro de Operacionalización de variables.

Fuente: Elaboración propia.



3. Capítulo 3 : Metodología.

3.1 Metodología de la Investigación.

3.1.1 Enfoque de la investigación.

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos. Debido a que los datos son producto de mediciones, se representan mediante números (cantidades) y se deben analizar con métodos estadísticos.

“Al final, con los estudios cuantitativos se pretende confirmar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos. Esto significa que la meta principal es la formulación y demostración de teorías.” (Sampieri, 2017)

3.1.2 Nivel o alcance de la investigación.

Según (Sampieri, 2017) “Los estudios descriptivos permiten detallar situaciones y eventos, es decir como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno y busca especificar propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”.

“En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y si mide cada una de ellas independientemente, para de esa manera, poder describir con términos técnicos y datos obtenidos, las variables a investigar.” (Sampieri, 2017)

3.1.3 Método de investigación.

El método de investigación es hipotético – deductivo, porque se encarga de formular alternativas de respuesta a problemas de investigación en base a mediciones demostrando si las respuestas a los problemas planteados son las correctas.

El método hipotético deductivo es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. Este método obliga al científico a combinar la reflexión o momento racionales (la formación de hipótesis y la deducción) con la observación de la realidad o momento empírico el cual sigue un conjunto de pasos organizados y sistematizados para validar la hipótesis de investigación.

Fases del método hipotético – deductivo: Planteamiento del problema, creación de hipótesis, deducciones de consecuencias de la hipótesis, contrastación: refutada o aceptada.

3.2 Diseño de la investigación.

3.2.1 Diseño Metodológico.

El diseño metodológico es no experimental, ya que la investigación se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Se observan los fenómenos tal como se dan en el contexto natural, para posteriormente analizarlos.

En la presente investigación se calcularon los resultados sin alterar ninguna de las variables en el proceso de toma de datos y en la evaluación a los sistemas de abastecimiento.

3.2.2 Diseño de ingeniería.

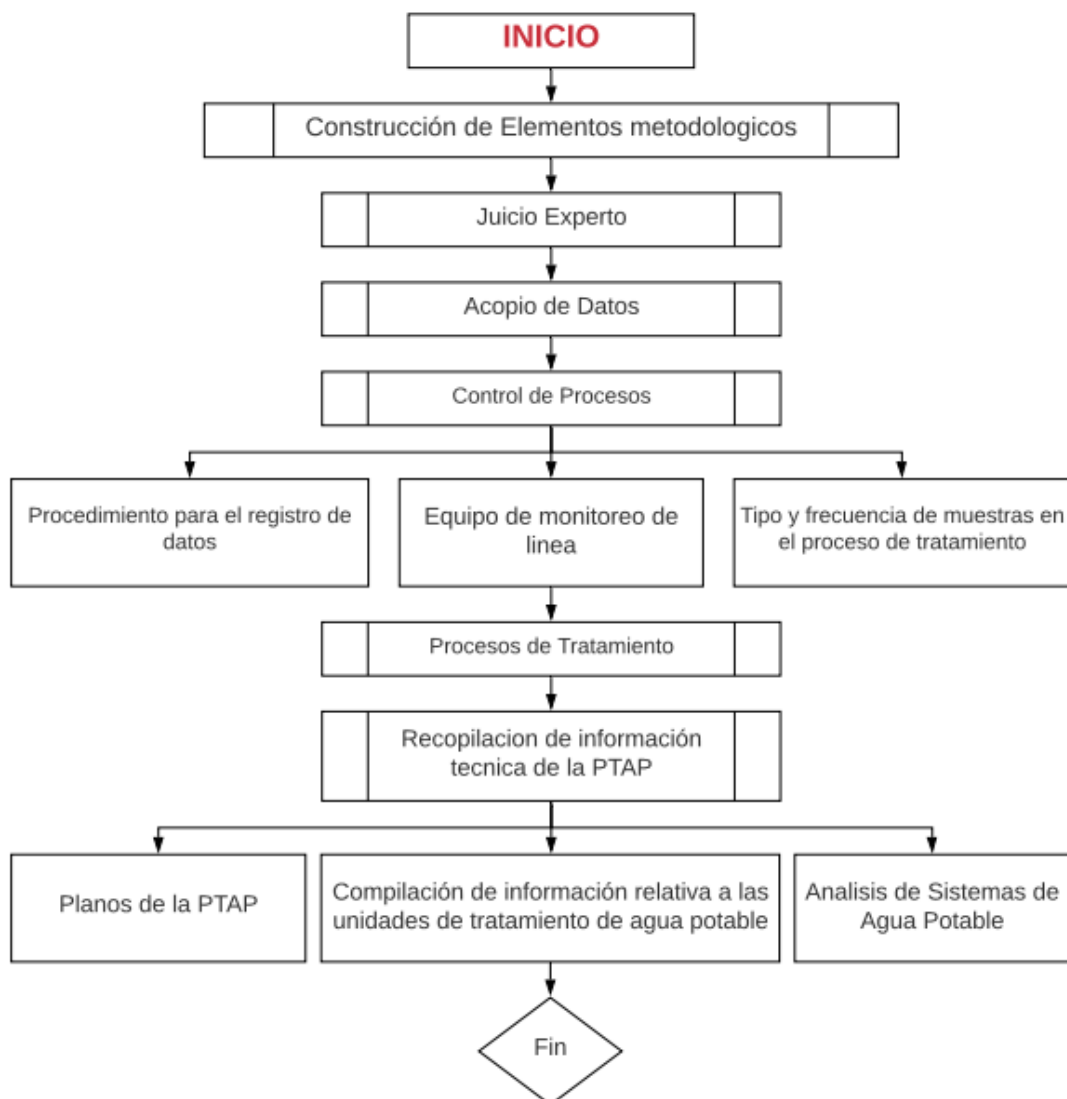


Figura N° 12: Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia



3.3 Población y Muestra.

3.3.1 Población.

3.3.1.1 Descripción de la población.

La población correspondiente a este estudio está conformada por la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Ana – Cusco.

3.3.1.2 Cuantificación de la población.

La población de la presente investigación comprende los diez filtros, el reservorio, los dos tanques floculadores, poza de descarga, laboratorio, sala de agitación, sala de desinfección.

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra.

Constituye una parte de la población, que debe tener características representativas, entonces se puede decir que es el conjunto de elementos de los que se puede tomar información en el proceso de muestreo. Para efectos de alcanzar los objetivos de la presente investigación, la muestra correspondiente a este estudio está conformada por los 10 filtros de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra.

Llamado también, tamaño muestra, es el número de elementos que componen la muestra. A continuación, se detallará la cantidad de elementos a evaluar y sus características:

- Análisis de calidad de agua respecto a la turbiedad en los 10 filtros durante 6 meses, para así poder apreciar su variación.
- pH del Agua cruda y Agua tratada durante el periodo de 6 meses desde el mes de enero al mes de junio del presente año.
- El caudal que se pierde por lavado de los filtros durante los 6 meses.

3.3.2.3 Método de muestreo.

El método de muestreo usado en la presente investigación es no probabilístico. La muestra no probabilística o también llamada muestra dirigida, es la elección de los elementos que no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador, aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un



investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación.

“El muestreo por conveniencia tiende a ser una de las técnicas de muestreo más común, porque las muestras son seleccionadas al ser consideradas accesibles para el investigador. Los sujetos son elegidos simplemente porque su selección es sencilla, por ello se concluye que esta técnica es considerada la más fácil y la que menos tiempo lleva realizarla”. (Explorable, 2009)

3.3.2.4 Criterios de evaluación de la muestra.

Los criterios de evaluación a considerar son:

- Analizar los datos proporcionados por la EPS SEDACUSCO, tales como la turbiedad, el pH, plano, y los manuales de funcionamiento y operación de los filtros.
- Selección representativa de los meses de toma de muestra de la turbiedad de los filtros.
- Se recolectan los datos de turbiedad, pH, calidad bacteriológica del agua, tiempo de lavado y altura de agua por pérdida de lavado de los filtros.
- Se toma una muestra de arena del material filtrante, para el estudio de calidad de la arena.
- Se procesan los datos de turbiedad y pH, considerando la normativa OS.020 y la RAS 2000.
- Se procesan los datos obtenidos de los ensayos realizados al material filtrante, y evaluarlos de acuerdo con los criterios del CEPIS, la norma peruana OS.020 y norma técnica colombiana RAS 2000.
- Se verifica si los resultados del procesamiento realizado cumplen o no con las normativas ya antes mencionadas.
- Se verifican los resultados de acuerdo a la escala valorativa elaborada por las tesis.
- Se obtiene la eficiencia total del sistema.

3.3.3. Criterios de inclusión

- Se consideraron los meses más representativos con respecto al estado meteorológico de la ciudad del Cusco y la zona de Chinchero.



3.4. Instrumentos.

3.4.1 Instrumentos metodológicos.

3.4.1.1 Fichas de Recolección de datos de tiempo de lavado.

Elaborado por:		Bach. Marlié Llamocca Tupayachi					Asesor:		Ing. William Delgado Salazar		
		Bach. Diana Soledad Paliza Chino									
FILTROS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COMPRESORA											
HORA DE INICIO											
VACIADO											
LLENADO											
LAVADO											
ENJUAGUE											
TIEMPO TOTAL											

Tabla N° 8: Ficha de recolección de datos del tiempo de lavado.

Fuente: Elaboración propia



3.4.1.2 Fichas de Recolección de Datos de Turbiedad.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
		Facultad de Ingeniería y Arquitectura											
		Escuela profesional de Ingeniería y Arquitectura											
Tesis: "Evaluación del proceso de filtración de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 "													
Guía de observación N°01							Turbiedad del agua antes y después de los filtros						
Elaborado por:			Bach. Marlié Llamocca Tupayachi				Asesor:			Ing. William Delgado Salazar			
			Bach. Diana Soledad Paliza Chino										
HORA	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	UNT A.C	UNT INGRESO A LA PTAP SANTA ANTA	UNT SALIDA PTAP
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													

Tabla N° 9: Fichas de recolección de datos Turbiedad

Fuente: Elaboración propia