

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA EFECTIVIDAD GLOBAL DEL PROCESO DE RETROLAVADO DE FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL MILAGRO” – EPS SEDACAJ S.A”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Bachiller Cintia Nataly Perez Rivasplata  
Bachiller Alejandra Patricia Robles Tordoya

Asesor:

Ing. Elmer Aguilar Briones

Cajamarca - Perú

2019

## DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mis padres, los cuales han sido parte fundamental para culminar con mi carrera universitaria. Sus ejemplos de amor, unión y lucha constante han hecho la persona que ahora soy. Todo mi amor para ustedes.

Alejandra

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, quienes son y han sido siempre mi mayor motivación y apoyo para lograr todas mis metas. De la mano de Dios y de ellos culmino esta etapa, para crecer profesionalmente y alcanzar nuevos objetivos. Todo por y para ustedes. Los amo.

Cintia

## AGRADECIMIENTO

Agradezco el trabajo de mis docentes quienes han demostrado ser grandes profesionales y amantes de la carrera. En especial, a nuestro asesor Elmer Aguilar quien nos brindó todo su apoyo incondicional para la ejecución de esta tesis.

Alejandra.

Agradezco a todos los docentes de la carrera, quienes, con sus conocimientos, experiencia y ejemplo, forjaron una excelente base profesional en nosotros, para incorporarnos al mundo laboral. Asimismo, a los ingenieros Elmer Aguilar y Fernando Ortega, por el soporte en la ejecución de este trabajo de investigación.

Cintia.

## Tabla de contenidos

|   |           |
|---|-----------|
| <b>DEDICATORIA.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>9</b>  |
| 1.1. Realidad problemática.....   | 9         |
| 1.2. Formulación del problema.....  | 11        |
| 1.3. Objetivos.....   | 11        |
| 1.4. Hipótesis.....   | 11        |
| <b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>  | <b>12</b> |
| 2.1. Tipo de investigación.....   | 12        |
| 2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....        | 12        |
| 2.3. Materiales, instrumentos y métodos.....                                | 15        |
| 2.4. Procedimiento.....   | 16        |
| <b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>  | <b>17</b> |
| 3.1. Diagnóstico situacional de la empresa.....                             | 17        |
| 3.2. Resultados del diseño del nuevo sistema de retrolavado automático..... | 44        |
| 3.3. Indicadores con la propuesta de mejora.....                            | 47        |
| 3.4. Resultados del análisis económico.....                                 | 58        |
| <b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>                           | <b>64</b> |
| 4.1. Discusión.....   | 64        |
| 4.2. Conclusiones.....  | 67        |
| <b>REFERENCIAS.....</b>   | <b>68</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>70</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....                           | 14 |
| Tabla 2 <i>Estudio de tiempos del proceso de retrolavado</i> .....                             | 26 |
| Tabla 3 <i>Tiempo que toma realizar cada actividad de un retrolavado de filtros</i> .....      | 27 |
| Tabla 4 <i>Actividades del retrolavado de filtros que requieren más tiempo</i> .....           | 28 |
| Tabla 5 <i>Indicadores de Efectividad Global de Equipos</i> .....                              | 30 |
| Tabla 6 <i>Recolección día n° 1 control de turbidez del proceso de retrolavado</i> .....       | 34 |
| Tabla 7 <i>Recolección día n° 2 control de turbidez del proceso de retrolavado</i> .....       | 35 |
| Tabla 8 <i>Recolección día n° 3 control de turbidez del proceso de retrolavado</i> .....       | 36 |
| Tabla 9 <i>Recolección día n° 4 control de turbidez del proceso de retrolavado</i> .....       | 37 |
| Tabla 10 <i>Matriz de Operacionalización de variables</i> .....                                | 43 |
| Tabla 11 <i>Tiempos del proceso de retrolavado de filtros automático</i> .....                 | 48 |
| Tabla 12 <i>Relación entre indicadores del antes y después de la propuesta de mejora</i> ..... | 56 |
| Tabla 13 <i>Inversión de activos tangibles</i> .....   | 59 |
| Tabla 14 <i>Otros gastos (mantenimiento, capacitación)</i> .....                               | 60 |
| Tabla 15 <i>Costos proyectados para la implementación</i> .....                                | 60 |
| Tabla 16 <i>Beneficios económico de incremento de indicadores</i> .....                        | 61 |
| Tabla 17 <i>Ingresos proyectados después de la implementación</i> .....                        | 61 |
| Tabla 18 <i>Flujo de caja proyectado</i> .....   | 62 |
| Tabla 19 <i>Indicadores económicos en escenario optimista</i> .....                            | 62 |
| Tabla 20 <i>Beneficio económico en escenario pesimista</i> .....                               | 63 |
| Tabla 21 <i>Ingresos proyectados después de la implementación</i> .....                        | 63 |
| Tabla 22 <i>Flujo de caja proyectado</i> .....   | 63 |
| Tabla 23 <i>Indicadores económicos en escenario pesimista</i> .....                            | 64 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 <i>Procedimiento</i> .....   | 17 |
| Figura 2 <i>Diagrama de procesos de la planta de tratamiento</i> .....                                | 19 |
| Figura 3 <i>Diagrama de funcionamiento de retrolavado de filtros</i> .....                            | 21 |
| Figura 4 <i>Diagrama de Ishikawa de la disponibilidad del proceso de retrolavado de filtros</i> ..... | 23 |
| Figura 5 <i>Diagrama de Ishikawa de la deficiencia del proceso de retrolavado de filtros</i> .....    | 24 |
| Figura 6 <i>Gráfico de análisis de actividades de un retrolavado de filtros</i> .....                 | 28 |
| Figura 7 <i>Simbología de componentes automáticos</i> .....   | 45 |
| Figura 8 <i>Gráfico del proceso de retrolavado con componentes automáticos</i> .....                  | 46 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1 <i>Número de observaciones</i> .....           | 32 |
| Ecuación 2 <i>Efectividad Global</i> .....                | 36 |
| Ecuación 3 Disponibilidad .....                           | 38 |
| Ecuación 4 <i>Tiempo medio entre paradas (TMEP)</i> ..... | 39 |
| Ecuación 5 TMEP .....                                     | 40 |
| Ecuación 6 Rendimiento .....                              | 46 |

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, a través de técnicas de recolección de datos se determinó el diagnóstico actual del proceso de retrolavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” – EPS SEDACAJ S.A., el cual tiene un procedimiento manual, lo que se considera ineficiente evaluando su calidad, rendimiento y disponibilidad. Por ende, el objetivo planteado es determinar la relación que existe entre la efectividad global del proceso de retrolavado de filtros y el diseño de un sistema de control automático aplicado a este. Ya que se cree que esta propuesta se relacionará de manera positiva con la efectividad global del proceso anteriormente mencionado. Para iniciar la investigación, se aplicaron técnicas de recolección de datos como la revisión documentaria, fichas de observación, toma de tiempos y fotografías. Para el procesamiento de datos se utilizó Análisis de Pareto y Estudio de Tiempos. Y los componentes automáticos propuestos para el diseño del sistema automático aplicado en el proceso de retrolavado de filtros son: 4 Electroválvulas, 3 Sensor de turbidez, 2 Sensor de nivel, 4 Sensor de caudal, 1 Timer, 1 Bomba distribuidas de manera óptima. Se concluyó, que la efectividad global actual de la empresa que implica como indicadores a la disponibilidad, la rentabilidad y la calidad, con 92%, 95% y 91% respectivamente, brinda como resultado un 79.5%. Con la propuesta de mejora se espera incrementar estos indicadores a 98%, 95% y 96% respectivamente, teniendo como resultado de efectividad global un 89.4%. Para la cual se requiere de una inversión de S/. 9,858.06 nuevos soles. Por este motivo, es que se recomienda la implementación de la propuesta de mejora.

**Palabras clave:** efectividad global, retrolavado de filtros, disponibilidad, eficiencia, calidad.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La automatización se ha convertido en toda una novedad en las industrias actualmente, ya que genera enormes beneficios, desde incrementar la productividad, la calidad y también disminuir los costos. Otros de los beneficios son, en su mayoría, el ahorro de mano de obra y de energía, además de mayor precisión en su ejecución. El informe de Desarrollo Mundial 2018 del Banco Mundial muestra evidencia que aun que la automatización industrial desplaza a los trabajadores, la innovación crea nuevas industrias y empleos. (H. Corvo, 2018)

Por otro lado, un sistema de control manual se refiere a la intervención del hombre sobre el elemento de control en un proceso, donde la información para realizar el control proviene de los sentidos. Según Roca (2014) el modo de regulación manual tiene numerosos inconvenientes. Al tener un control de Sistema Manual se precisa de la permanente atención humana, lo que implica que la disponibilidad del sistema se limita a un horario de trabajo. Asimismo, al no disponer con un sistema de control que determine la cantidad de recursos necesarios a utilizarse, la eficiencia del mismo, se vea afectada. Del mismo modo, un Sistema Manual, limita el control de indicadores que determinen la calidad del producto.

Sin embargo, este problema podría mejorar mediante el diseño de un Sistema de Control Automático de lazo cerrado, como lo plantea Roca (2014) para el reemplazo de la acción manual del hombre; por otro lado, de acuerdo al estudio realizado por Freire, Silva y Gaona (2014) este problema se solucionaría usando un control con PLC. Pero, Rojas (2015) en su trabajo de investigación propone usar Redes de Petri para la modelación de un sistema automatizado aplicado al lavado de filtros, y posteriormente el uso de una guía Gemma para su seguimiento luego de la aplicación.

En la investigación hecha por Adata, M. (2019) se implementó un sistema SCADA, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de actuar, llevando a la organización a tener mejor tecnología. Implementaron sensores de PH y Cloro, electroválvulas, red de Internet para asegurar la comunicación y también un PLC. Con respecto a los

resultados obtenidos, indican que se pudo lograr que el esfuerzo humano disminuya, aumentando la productividad satisfactoriamente. Esta investigación tiene relación con el presente trabajo de investigación, ya que coincide en que la implementación de un sistema de automatización ayuda a reducir labor humana, conseguimos tener mayor disponibilidad y productividad.

Según Estrada, V. y Gutiérrez, V. (2012) en su tesis, refieren que una solución para eliminar la actividad humana dentro de una planta de tratamiento sería implementar un control y monitoreo por medio de una Red ControlNet, lo cual significaría una larga vida útil a las unidades de filtrado. Los beneficios que trae consigo son, reducción de tiempos de espera, paradas no programadas, mayor disponibilidad ya que el sistema automático se encenderá durante los 7 días de la semana las 24 horas del día. En contraste con nuestro trabajo de investigación, se puede ver que cualquier forma de automatizar un proceso ya sea mediante un SCADA, PLC o Red ControlNet, volvemos a este mucho más eficaz, aumentando la disponibilidad, rendimiento y calidad.

En la planta “El Milagro” de la empresa Sedacaj S.A, el proceso de retrolavado de filtros cuenta con un sistema de control manual, el cual se realiza de acuerdo a proceso antiguo, sin ningún tipo de medición que determine la necesidad real y los tiempos que debe ser realizado con la cantidad de recursos necesario, lo que afecta la Efectividad Global del proceso. De acuerdo a su Registro de Lavado de Filtros (Véase Anexo N° 1), este proceso se realiza cada 48 horas durante 6 minutos para cada filtro, esto hace que con el paso de las horas el filtrado se vuelve más ineficiente por la congestión de partículas. Asimismo, este registro muestra que el lavado de filtros requiere el uso de 70 m<sup>3</sup> de agua potable por filtro, lo que podría significar un uso innecesario de agua ya producida.

Basados en los datos de la empresa, de acuerdo a su Manual de Procedimientos Operacionales (2015) (Véase Anexo N° 2, N° 3, N° 4) y a las bases de un Sistema de Control de Lazo Cerrado según Roca 2014, de nuestro análisis al detectar que se trata de un caso donde existe una variable a controlar (efectividad global del proceso de retrolavado de filtros), con una variable a manipular (sistema de control automático) se coincide con el tipo de caso de análisis de lazo cerrado simple

propuesto por Roca (2014) el que podría orientar a preseleccionar una de las tres alternativas de estudio.

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida se relaciona un sistema de control automático de lazo cerrado con la Eficiencia Global del proceso de retrolavado de filtros en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro” – EPS SEDACAJ?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la relación que existe entre la efectividad global del proceso de retrolavado de filtros y el diseño de un sistema de control automático, en la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” – EPS SEDACAJ S.A.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual del proceso de retrolavado de filtros y su eficiencia global en el área de producción y tratamiento de agua potable de la empresa Sedacaj S.A.
- Diseñar la propuesta a aplicar para mejorar el proceso de retrolavado de filtros en el área de producción y tratamiento de agua potable de la empresa Sedacaj S.A.
- Medir el proceso y su eficiencia global después de aplicar la propuesta de mejora en el proceso de retrolavado de filtros en el área de producción y tratamiento de agua potable en la empresa Sedacaj S.A.
- Realizar el análisis económico de la aplicación de la propuesta de mejora a través de la metodología costo/beneficio en el área de producción y tratamiento de agua potable en la empresa Sedacaj S.A.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis**

La propuesta de un diseño de un Sistema de Control automático se relacionará con la Efectividad Global del proceso de retrolavado de filtros en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro” – EPS SEDACAJ S.A.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1. Según su fin: Aplicada

Es aplicada por que se utilizarán métodos y técnicas para medición de variables dependiente e independiente.

#### 2.1.2. Según su alcance: Cuantitativa, Transversal y Correlacional

Cuantitativa por que el alcance de esta investigación será explicativo, transversal porque se medirá la prevalencia del resultado en el tiempo; y correlacional porque se analizará el comportamiento de nuestra variable dependiente interviniendo con la independiente.

#### 2.1.3. Según su Método: Deductivo Inductivo

Deductivo por que se llegará a una conclusión general a partir de datos específicos, e inductivos porque a partir de principios generales se llegará a una conclusión específica.

#### 2.1.4. Según el Diseño de Investigación: No experimental

No experimental por que se verán afectadas las variables, solo se estudiaran los problemas encontrados y se propondrá una solución.

### 2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### Recolección de datos

En la siguiente tabla se definen las técnicas e instrumentos a utilizar en el presente estudio.

Tabla 1 *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

| Técnicas            | Justificación   | Instrumentos                            | Aplicado en  |
|---------------------|---|---|--|
| Estudio de tiempos  | Colmenares, L. (2009), en su artículo <i>Medición del Trabajo</i> , publicado en la página de internet <a href="http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/mediciontrabajo/">http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/mediciontrabajo/</a> , indica que la medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un colaborador calificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola. | Cronómetro<br><br>Hoja<br><br>Lapicero  | Área de estudio.   |
| Observación         | Observar cómo se lleva a cabo el proceso de producción de agua potable.   | Guía de observación<br><br>Cámara       | Jefe de División de tratamiento y producción<br><br>Jefe de Control de Calidad |
| Revisión documental | Obtener información sobre datos importantes que podrían involucrarse en la investigación.   | Plan de Control de Calidad 2015 Sedacaj | Involucrados en el proceso de producción                                       |

Fuente *Elaboración propia*

### Estudio de tiempos:

Objetivo: Determinar cuánto tiempo toma realizar cada proceso de la División de tratamiento y producción de agua potable.

Procedimiento:

Preparación: Los investigadores decidieron tomar tiempos en 4 momentos en que se realiza el proceso a estudiar, que es el de retrolavado de los filtros.

Resultados: Tomar nota de los resultados y guardarlos para procesarlos en otro momento.

### Observación:

Objetivo: Mediante las guías de observación (Véase anexos n°1 y n°2), facilitará a los investigadores tener una idea de cuál es la situación actual de la División de tratamiento y producción de agua.

Procedimiento:

- Realizar visitas a la planta "El Milagro" para obtener una mejor visión del proceso en general y luego del proceso que demanda más tiempo hacerse.
- Estar presentes cuando se lleve a cabo el proceso de retrolavado de filtros.
- Tomar evidencias fotográficas de los problemas observados.

Resultados: Registro fotográfico del proceso de retrolavado y los elementos que involucra.

### Revisión documentaria:

Objetivo: Obtener información sobre los datos específicos de cada proceso, como cantidades o tiempos.

Procedimiento:

Preparación: Los investigadores obtuvieron los permisos correspondientes para acceder a información del Plan de Control de Calidad 2015, que es un documento que contiene información muy importante de la empresa.

Resultados: Recolectar la información más importante para su posterior estudio y análisis.

## **2.3. Materiales, instrumentos y métodos**

### 2.3.1 Técnicas de estadística descriptiva

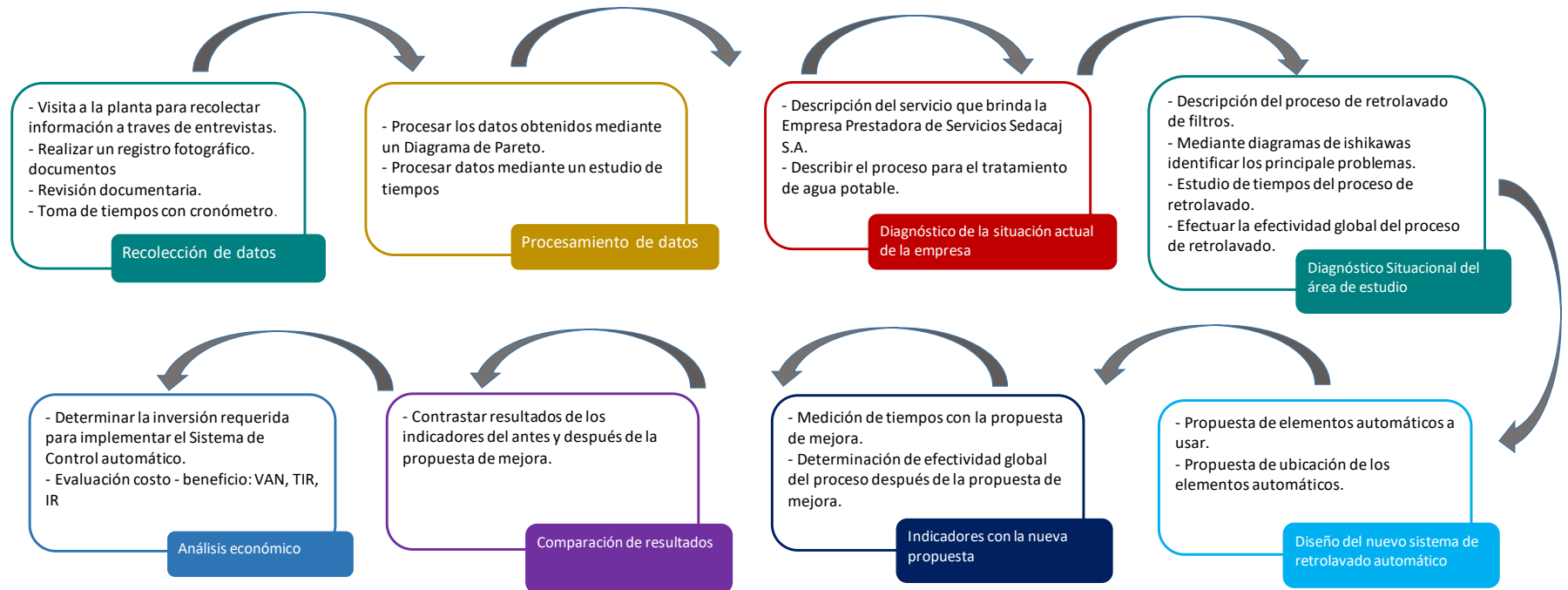
- Diagrama de Ishikawa
- Diagrama de operaciones
- Diagrama de flujo
- Diagrama de Pareto

### 2.3.2 Programas

- Microsoft office: Word, Excel, Power Point.

## 2.4. Procedimiento

Figura 1 *Procedimiento*



Fuente *Elaboración propia*



## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Diagnóstico situacional de la empresa

La ciudad de Cajamarca cuenta con los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, con una cobertura de 86.6% en los servicios de agua potable y de 87% en los servicios de alcantarillado sanitario, con una continuidad promedio de abastecimiento de agua potable de 16.87 horas por día.

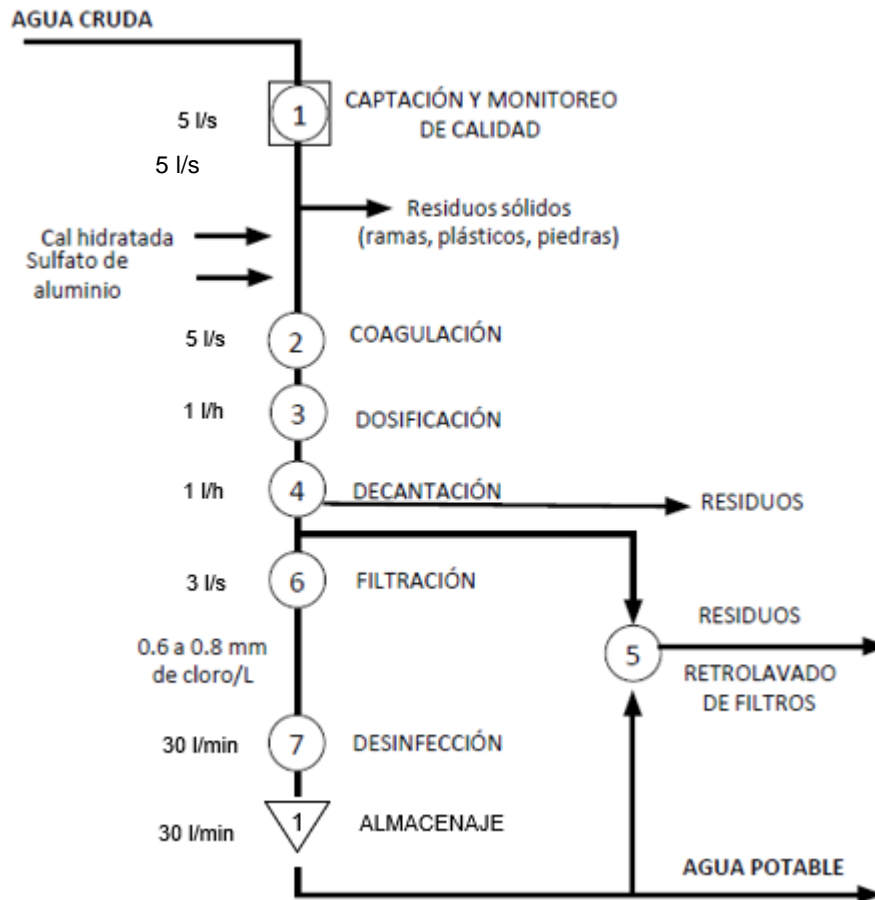
La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Milagro” (Véase anexo n° 6), se encuentra en el Km. 4.5 de la Carretera Cajamarca - Bambamarca, al norte de la ciudad de Cajamarca, construida en el año 1980 con una capacidad de 160 L/seg.

Se abastece de agua a través de las captaciones de Río Porcón y de Río Grande. La captación de Río Porcón se ubica a 1.3 Km. al norte de la PTAP El Milagro, y la captación de Río Grande a 2.6 km, al nor-este de la PTAP “El Milagro”.

#### Descripción del proceso de tratamiento de agua

La PTAP El Milagro, es del tipo convencional, contando con las unidades de Captación, Coagulación, Floculación, Decantación, Filtración, y Desinfección.

Figura 2 Diagrama de procesos de la planta de tratamiento



Fuente *Elaboración propia*

El proceso de potabilización de la PTAP “El Milagro” empieza por la captación, donde el agua pasa por un desarenador, el cual está compuesto de rejillas que retienen toda clase de sólidos grandes (ramas, plástico, piedras, etc.) y por gravedad, a través de un sistema de bombeo, impulsa el agua a unas líneas de conducción para cada río (Río Grande y Río Porcón).

Después, el agua atraviesa un proceso de coagulación (Véase anexo n° 7), el cual consiste en agregar al agua diferentes sustancias químicas como el sulfato de aluminio y cal hidratada, para que se desestabilicen las partículas coloidales (impurezas). Este es un proceso inmediato, dura alrededor de 5 segundos.

Luego, el agua es conducida al proceso de dosificación (Véase anexo n° 8), el cual consiste en someterla a una agitación, mezcla o movimiento; con la función de que las partículas impuras ya desestabilizadas choquen entre si y se junten, de tal manera

que formen otras de mayor peso, formando los flóculos, este proceso es llamado Floculación (Véase anexo n°9).

Después, el agua se dirige a los decantadores convencionales (Véase anexo n°10), donde todas las partículas coloidales convertidas en flóculos caen al fondo. Este proceso puede tardar varias horas.

Luego que todas las impurezas caen, son extraídas por conductos especiales de limpieza. El agua decantada entra por la parte superior de cada estanque, en los cuales hay arena y piedras de distintos tamaños que actúan como filtros (Véase anexo n°11). El agua baja a través de estos, reteniendo la mayoría de las partículas que aún están en suspensión y no fueron eliminadas en etapas anteriores.

Cuando las capas filtrantes quedan saturadas de impurezas, se aplica el retrolavado (Véase anexo n°12), el cual consiste en invertir el sentido de flujo de agua que pasa por ellas. El agua utilizada para estos filtros es agua ya purificada. Por ende, se cree que este proceso resulta ineficiente, con baja disponibilidad y probablemente no ayuda a mantener la calidad del agua.

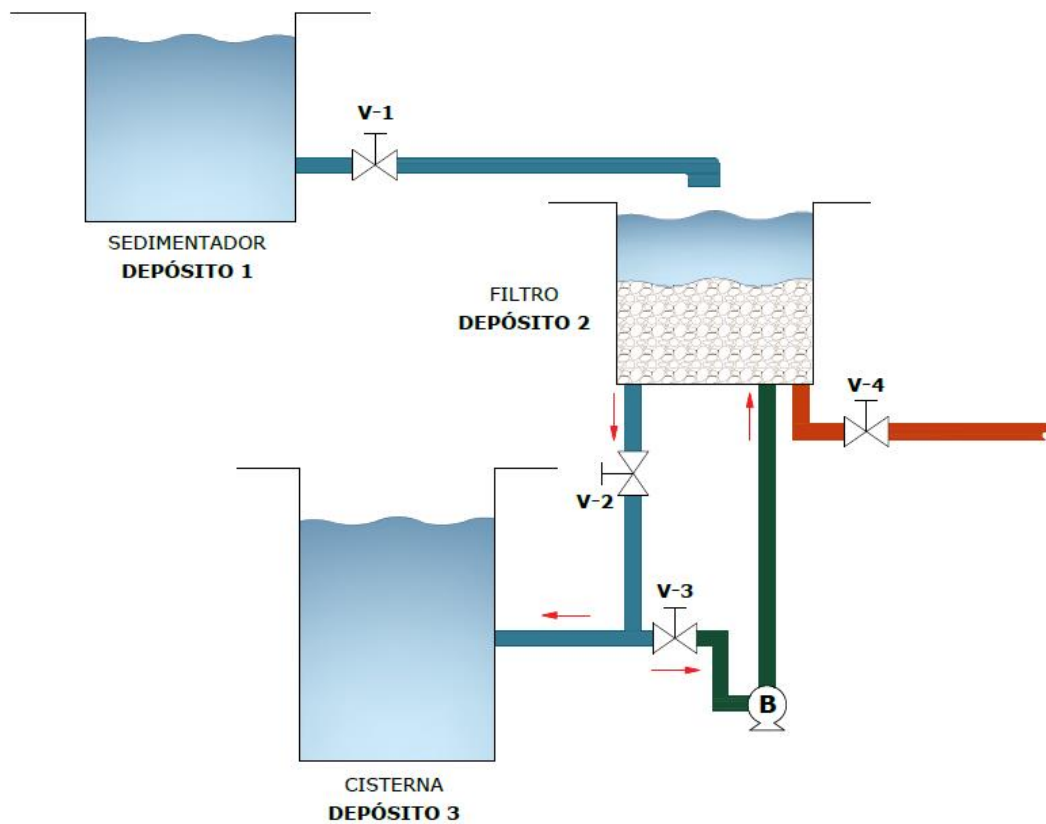
El último proceso de tratamiento del agua es la desinfección (Véase anexo n° 13). Este proceso consiste en la inyección de cloro que permite destruir los últimos microorganismos que aún podrían encontrarse presentes en el agua. El cloro se inyecta a través de dosificadores automáticos en una cantidad de entre 0,6 y 0,8 miligramos de cloro por litro de agua. En efecto, este proceso final de desinfección del agua permite asegurar su calidad sanitaria.

Finalmente, el agua es conducida hacia un tanque de almacenaje, donde será distribuida hacia los reservorios.

### 3.1.1. Diagnóstico Situacional del proceso de retrolavado de filtros en el área de filtración

A continuación, se presenta mediante un diagrama los procesos que involucran al área de estudios, la cual es el proceso de retrolavado de filtros.

Figura 3 Diagrama de funcionamiento de retrolavado de filtros



Fuente *Elaboración propia*

Para proceder al lavado del filtro se deberá desarrollar las siguientes actividades:

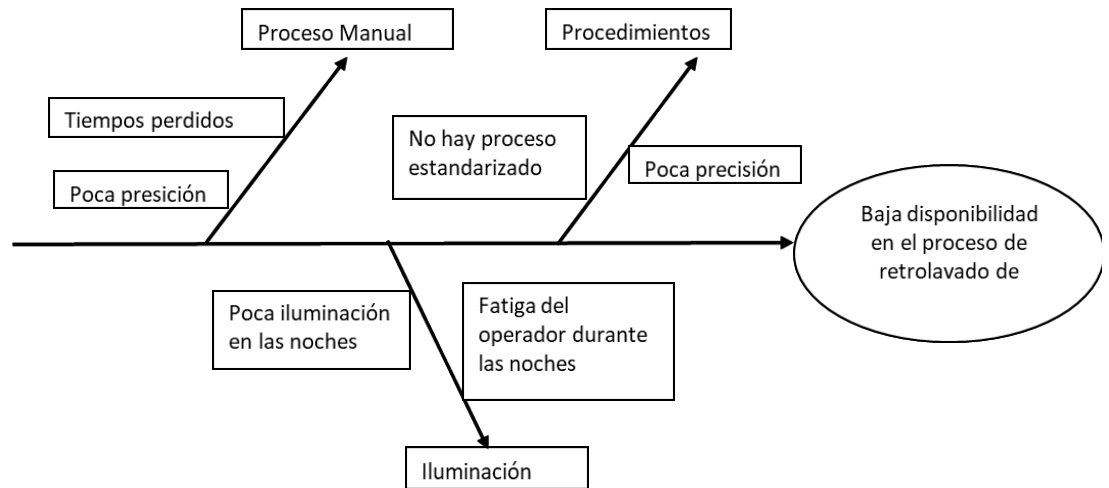
1. Cerrar la compuerta de agua al filtro (compuerta de color celeste) del canal de distribución de agua sedimentada.
2. Se debe esperar que la cisterna esté con 3.00 metros de altura.
3. Verificar el sentido de giro de la electrobomba (sentido horario).
4. Luego cerrar la válvula de agua filtrada (válvula de color celeste)
5. Abrir con 16 vueltas la válvula de desagüe (válvula de color naranja)

6. Abrir con 6 vueltas la válvula de lavado de filtro (válvula de color verde)
7. Se procede a encender las electrobombas, alternando las mismas en cada lavado.
8. Se verifica el amperaje y voltaje (60 hertz y 220 voltios respectivamente) en el panel de control correspondiente a las electrobombas de lavado de filtros.
9. Luego se deberá ir abriendo lentamente la válvula de lavado del filtro (válvula de color verde).
10. El proceso de retrolavado terminará cuando el agua de lavado se vea limpia debiendo durar entre 6 a 8 minutos.
11. Se procede a apagar la electrobomba.
12. Se cierra la válvula de retrolavado.
13. Luego cerrar la válvula de desagüe con 16 vueltas en sentido contrario.
14. Abrir la válvula de lavado de filtro.
15. Finalmente se abre la compuerta que permite el paso del agua sedimentada al filtro.

Se puede ver que el proceso tiene varios pasos donde interviene el obrero con actos manuales, lo cual podría generar cuellos de botella o tiempos de parada de planta innecesarios. Se observa que esto se encuentra estandarizado, y durante muchos años no se ha propuesto ninguna mejora para eliminar este tiempo innecesario de parada.

A continuación, se analiza los problemas observados realizando Diagramas de Ishikawa.

Figura 4 *Diagrama de Ishikawa de la disponibilidad del proceso de retrolavado de filtros*

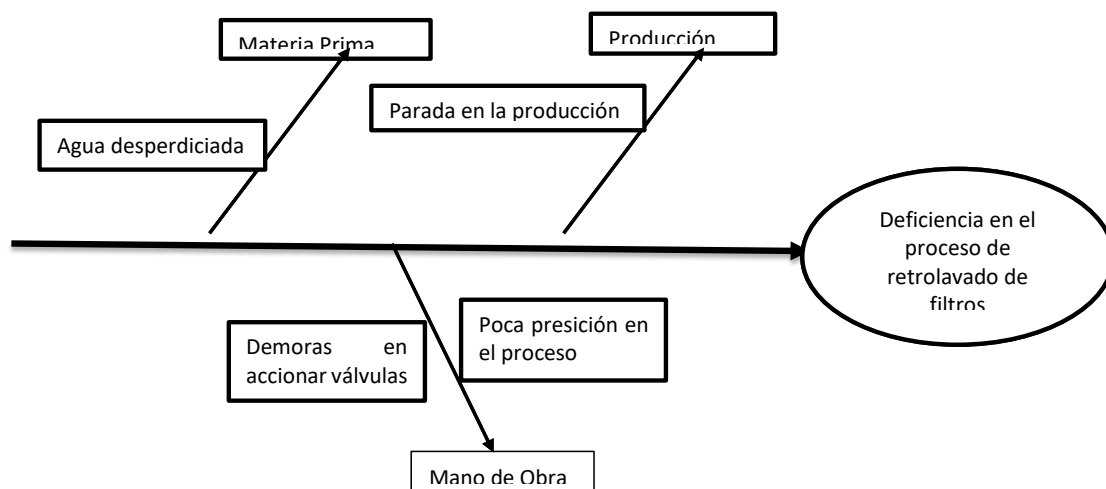


Fuente *Elaboración propia*

En el primer diagrama de Ishikawa, se puede ver que uno de los problemas que se detectaron en el proceso de retrolavado de filtros manual representa un poco de disponibilidad. Lo cual significa, que durante las noches el operador no tiene una visión clara y no puede determinar realmente si el agua se pone turbia o no. Por otro lado, el procedimiento poco claro y no estandarizado que tiene EPS Sedacaj S.A. obliga a los operadores a que el retrolavado de filtros se realice dos veces al día alternando dos de los cuatro filtros, por lo cual se puede decir que no tendrían parámetros por los cuales debe ser accionado determinadas veces al día. Y finalmente, se determina que el proceso manual es la principal causa, ya que genera tiempos perdidos en la producción de la planta y se hace bajo la poca precisión de un operador.

A continuación, se tiene el siguiente análisis de Ishikawa realizado al segundo problema a tratar:

Figura 5 Diagrama de Ishikawa de la deficiencia del proceso de retrolavado de filtros



Fuente *Elaboración propia*

Según el segundo diagrama de Ishikawa realizado se observa que otro problema es el de la deficiencia del proceso de retrolavado de filtros; una de las causas podría ser la Mano de Obra, ya que esta no es precisa en cuanto a la medición de turbidez que podría tener el agua al momento de encender el retrolavado y existen distintos escenarios en donde el operario podría demorarse mucho más en accionar las válvulas. Por otro lado, no existe un control del uso de la materia prima que se usa para el lavado de los filtros, que en este caso es el agua potable. Y finalmente, se determina que otra causa podría ser la interrupción en la producción de agua.

Según el segundo diagrama de Ishikawa realizado se observa que otro problema es el de la deficiencia del proceso de retrolavado de filtros; una de las causas podría ser la Mano de Obra, ya que esta no es precisa en cuanto a la medición de turbidez que podría tener el agua al momento de encender el retrolavado y existen distintos escenarios en donde el operario podría demorarse mucho más en accionar las válvulas. Por otro lado, no existe un control del uso de la materia prima que se usa para el lavado de los filtros, que en este caso es el agua potable. Y finalmente, se determina que otra causa podría ser la interrupción en la producción de agua.

### Estudio de Tiempos

Para determinar el número de observaciones que se usará para la medición de tiempos, se utilizó el método estadístico, considerando 20 observaciones preliminares en minutos y considerando un nivel de confianza del 95,45% y un margen de error de 5%.

Observaciones preliminares: 57 min, 58 min, 57 min, 62 min, 62 min, 62 min, 62 min, 62 min, 59 min, 56 min, 58 min, 60 min, 62 min, 62 min, 62 min, 62 min, 60 min, 60 min, 60 min.

Se usará la siguiente formula:

Ecuación 1 *Número de observaciones*

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Reemplazando valores, sería:

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{20(72683) - 1205^2}}{1205} \right)^2$$

$$n = 2$$



Según el resultado, el número de observaciones a realizarse es de 2.

A continuación, se demuestra en la siguiente tabla la toma de tiempos considerando solo 2 observaciones.

Tabla 2 *Estudio de tiempos del proceso de retrolavado*

| Empresa  | EPS Sedacaj S.A.       |                        | Fecha             |
|--|------------------------|------------------------|-------------------|
| Área   |                        |                        | Hora              |
| Proceso  | Retrolavado            |                        |                   |
| Tarea  | Observación 1<br>(min) | Observación 2<br>(min) | PROMEDIO<br>(min) |
| 1. Cerrar la compuerta de agua al filtro (compuerta de color celeste) del canal de distribución de agua sedimentada.                     | 1                      | 2                      | 1.25              |
| 2. Se debe esperar que la cisterna esté con 3.00 metros de altura.   | 14                     | 12                     | 13                |
| 3. Verificar el sentido de giro de la electrobomba (sentido horario).  | 1                      | 1                      | 1                 |
| 4. Luego cerrar la válvula de agua   | 3                      | 4                      | 3.75              |
| 5. Abrir con 16 vueltas la válvula   | 7                      | 5                      | 5.75              |
| 6. Abrir con 6 vueltas la válvula de lavado de filtro (válvula de color verde)   | 4                      | 4                      | 3.75              |
| 7. Se procede a encender las electrobombas, alternando las mismas en cada lavado.  | 1                      | 1                      | 1.25              |
| 8. Se verifica el amperaje y voltaje (60 hertz y 220 voltios respectivamente) en el panel de control correspondiente a las electrobombas | 2                      | 2                      | 2                 |
| 9. Luego se deberá ir abriendo lentamente la válvula de lavado del filtro (válvula de color verde).                                      | 5                      | 4                      | 4.75              |
| 10. El proceso de retrolavado terminará cuando el agua de lavado se vea limpia debiendo durar entre 6 a 8 minutos.                       | 6                      | 6                      | 6                 |
| 11. Se procede a apagar la electrobomba.   | 2                      | 1                      | 1.75              |
| 12. Se cierra la válvula de retrolavado.   | 4                      | 4                      | 3.75              |
| 13. Luego cerrar la válvula de desagüe con 16 vueltas en sentido contrario.  | 7                      | 7                      | 6.5               |
| 14. Abrir válvula de filtración de agua.   | 4                      | 4                      | 4                 |
| 15. Finalmente se abre la compuerta que permite el paso del agua sedimentada al filtro.  | 1                      | 1                      | 1.5               |
|  | 62                     | 58                     | 60                |

Fuente *Elaboración propia*

Para detectar las actividades que toman más tiempo realizarse, se realizó un análisis de Pareto.

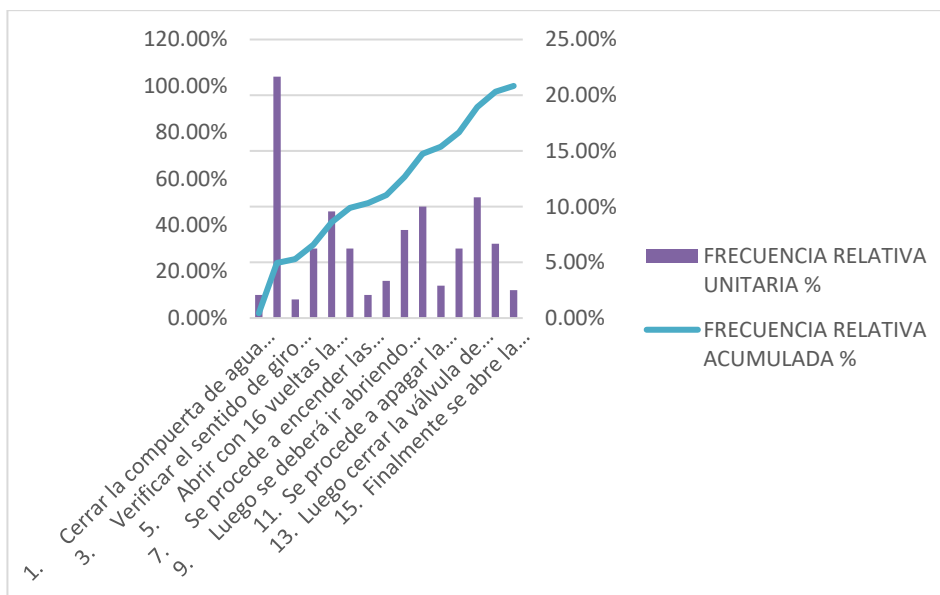
Tabla 3 *Tiempo que toma realizar cada actividad de un retrolavado de filtros*

| Actividad  | Frecuencia Acumulada (min) | Frecuencia Relativa Unitaria % | Frecuencia Relativa Acumulada % |
|--|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1. Cerrar la compuerta de agua al filtro (compuerta de color celeste) del canal de distribución de agua sedimentada.                     | 1.25                       | 2.08%                          | 2.08%                           |
| 2. Se debe esperar que la cisterna esté con 3.00 metros de altura.   | 14.25                      | 21.67%                         | 23.75%                          |
| 3. Verificar el sentido de giro de la electrobomba (sentido horario).  | 15.25                      | 1.67%                          | 25.42%                          |
| 4. Luego cerrar la válvula de agua   | 19                         | 6.25%                          | 31.67%                          |
| 5. Abrir con 16 vueltas la válvula   | 24.75                      | 9.58%                          | 41.25%                          |
| 6. Abrir con 6 vueltas la válvula de lavado de filtro (válvula de color verde)   | 28.5                       | 6.25%                          | 47.50%                          |
| 7. Se procede a encender las electrobombas, alternando las mismas en cada lavado.  | 29.75                      | 2.08%                          | 49.58%                          |
| 8. Se verifica el amperaje y voltaje (60 hertz y 220 voltios respectivamente) en el panel de control correspondiente a las electrobombas | 31.75                      | 3.33%                          | 52.92%                          |
| 9. Luego se deberá ir abriendo lentamente la válvula de lavado del filtro (válvula de color verde).                                      | 36.5                       | 7.92%                          | 60.83%                          |
| 10. El proceso de retrolavado terminará cuando el agua de lavado se vea limpia debiendo durar entre 6 a 8 minutos.                       | 42.5                       | 10.00%                         | 70.83%                          |
| 11. Se procede a apagar la electrobomba.   | 44.25                      | 2.92%                          | 73.75%                          |
| 12. Se cierra la válvula de retrolavado.   | 48                         | 6.25%                          | 80.00%                          |
| 13. Luego cerrar la válvula de desagüe con 16 vueltas en sentido contrario.  | 54.5                       | 10.83%                         | 90.83%                          |
| 14. Abrir válvula de filtración de agua.   | 58.5                       | 6.67%                          | 97.50%                          |
| 15. Finalmente se abre la compuerta que permite el paso del agua < sedimentada al filtro.  | 60                         | 2.50%                          | 100.00%                         |

Fuente: *Elaboración propia*

A continuación, para tener una mejor visualización se presenta mediante un gráfico de barras los resultados de este procesamiento de datos.

Figura 6 Gráfico de análisis de actividades de un retrolavado de filtros



Fuente *Elaboración propia*

En el diagrama de Pareto puede observarse como 4 actividades comprenden el 42.5% del proceso de retrolavado en general, que son las siguientes:

Tabla 4 Actividades del retrolavado de filtros que requieren más tiempo

| Actividad  | Frecuencia Relativa Unitaria % |
|--|--------------------------------|
| 2. Se debe esperar que la cisterna esté con 0.3 metros de altura.  | 21.67%                         |
| 10. El proceso de retrolavado terminará cuando el agua de lavado se vea limpia debiendo durar entre 6 a 8 minutos. | 10.00%                         |
| 13. Luego cerrar la válvula de desagüe con 16 vueltas en sentido contrario.  | 10.83%                         |

Fuente: *Elaboración propia*

Después de realizar este análisis se puede determinar que todas las actividades dependen del monitoreo y esfuerzo de un trabajador. Después de cerrar las compuertas que permite el paso de agua sedimentada al filtro, se tiene que esperar aproximadamente 13 minutos para que el agua se encuentre a 0.3 metros de altura, lo cual representa un pico de botella en el proceso, por que lamentablemente el retrolavado se realiza cuando el filtro se observa con mucha turbidez que se determina a juicio del operador, quien no cuenta con ningún tipo de tecnología que mida y avise que el filtro necesita un retrolavado.

Por otro lado, una de las actividades que se detectó como la que usa más tiempo, es la de cerrar la válvula de desagüe con 16 vueltas. En la cual interviene la capacidad física del operador y su eficiencia al momento de realizar este acto.

### Efectividad Global del Proceso de Retrolavado

La Efectividad Global de los Equipos (Overall Equipment Effectiveness, OEE) es una métrica cuantitativa que se viene utilizando cada vez más en la industria no sólo para controlar y supervisar la productividad de un proceso, sino también como un indicador y controlador de mejoras en los procesos y el rendimiento. La ventaja del OEE es que mide, en un único indicador, todos los parámetros fundamentales en la producción industrial en tres factores: disponibilidad, rendimiento y calidad. De ahí que el OEE se ha convertido en un estándar internacional reconocido por las principales industrias alrededor del mundo. (Caro-Carretero, R., Ortiz-Marcos, S.; 2014)

Ecuación 2 *Efectividad Global / (Overall Equipment Effectiveness - OEE)*

$$OEE = Disponibilidad \times Eficiencia \times Calidad$$

El valor obtenido en el indicador Efectividad Global tiene una valoración cualitativa, muchos expertos coinciden en la siguiente relación:

Tabla 5 *Indicadores de Efectividad Global de Equipos*

| OEE           | Valoración                   | Descripción  |
|---------------|------------------------------|--|
| 0% -<br>64%   | Deficiente<br>(Inaceptable). | Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.   |
| 65% -<br>74%  | Regular.                     | Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.            |
| 75% -<br>84%  | Aceptable.                   | Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja. |
| 85% -<br>94%  | Buena.                       | Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.   |
| 95% -<br>100% | Excelente.                   | Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.   |

Fuente: *López B.; ContentLab*

### 3.1.2 Disponibilidad

La disponibilidad de las instalaciones es sin duda el principal indicador de mantenimiento, junto con el coste.

Dado que el proceso de retrolavado significa una parada al proceso de tratamiento de agua en general, el indicador de disponibilidad se enfoca en el tiempo de ejecución y abastecimiento de agua limitado por el tiempo necesario para realizar el proceso de retrolavado manualmente.

La disponibilidad propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada. Una vez obtenido se divide el resultado entre el tiempo total del periodo considerado.

$$\text{Ecuación 3 } \textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas Totales} - \textit{Horas parada por mantenimiento}}{\textit{Horas Totales}}$$

**Horas Totales:** 24 horas

La planta de Tratamiento trabaja las 24 horas del día

Horas paradas por mantenimiento: 2 hora

Se consideró al proceso de retrolavado, como mantenimiento de los filtros del área de filtración, lo cual requiere 2 horas al día

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{24 \textit{ h} - 2 \textit{ h}}{24 \textit{ h}}$$

$$\textit{Disponibilidad} = 0.92 = 92\%$$

La disponibilidad de la planta de tratamiento de agua EPS Sedacaj es del 92%

Se observa que este 92% puede mejorarse con un proceso automatizado, ya que no necesitaría la presencia del factor humano para que funciones.

### **Tiempo medio entre paradas**

Es el tiempo medio que ha transcurrido entre dos paradas de mantenimiento, y se requiere para su cálculo en el numerador las horas totales del periodo, y en denominador, el número de paradas.

Ecuación 4 *Tiempo medio entre paradas (TMEP)*

$$TMEP = \frac{\text{Horas Totales del periodo}}{\text{Número de paradas}}$$

Horas Totales del periodo: 24

De un retrolavado a otro, transcurren 24 horas, 18 horas entre la parada de las 4:00 a.m a las 10 p.m, y 6 horas entre las 10:00 p.m a las 4:00 a.m

Número de paradas: 2

El retrolavado se realiza 2 veces al día

$$TMEP = \frac{24 \text{ h}}{2 \text{ h}}$$

$$TMEP = 12 \text{ h}$$

El Tiempo medio entre paradas es de 12 horas.

De acuerdo con lo investigado, son 2 veces las que se para el proceso para realizar este retrolavado, lo cual es un problema. Las causas pueden ser que ya existe un proceso que no se encuentra plasmado, tan solo por juicio del operador que ha decidido que se haga este número de veces.

**Tiempo medio hasta puesta en marcha (TMPM)**

Representa el tiempo medio de duración de las diversas paradas ocurridas en el periodo e ítem analizado:

Ecuación 5 *TMEP*

Horas Totales de parada: 2

El retrolavado se realiza en 2 horas, tiempo en el que el proceso de tratamiento de agua se detiene.

Número de paradas: 2

El retrolavado se realiza 1 vez al día.

$$TMEP = \frac{2}{2}$$

$$TMEP = 1$$

El Tiempo medio hasta puesta en marcha es de 1 hora, tiempo en el cual se realiza el retrolavado.

### **Número de paradas**

El retrolavado es un proceso que provoca la parada del proceso de tratamiento de agua, el número de paradas, en consecuencia, al desarrollo del retrolavado es 2 veces al día.

### **Horas totales de parada**

La parada por el retrolavado es de 2 horas al día, 1 hora por cada retrolavado.

### **3.1.3 Calidad**

E.W. Deming (1988) determinó al concepto calidad como ese grado predecible de uniformidad y fiabilidad a un bajo coste. Este grado debe ajustarse a las necesidades del mercado. Según Deming la calidad no es otra cosa más que “una serie de cuestionamiento hacia una mejora continua”.

En el presente estudio, se enfoca la calidad relacionada al nivel de turbiedad, con la que el agua queda al pasar por todo el proceso de tratamiento. Se decide trabajar con este indicador, por que según las entrevistas con los operadores, la turbidez del agua



es quien ocasiona que el proceso de filtrado se congestione, y así se proceda con el retrolavado.

Por lo tanto, para determinar el porcentaje de calidad, primero se tiene que analizar la reducción en la turbiedad del agua, desde que es recolectada del río, hasta su disposición en la Cisterna de salida para ser distribuida. Los datos obtenidos (Véase anexo N° 1) se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 6 *Recolección día n° 1 control de turbidez del proceso de retrolavado*

| Fecha: 01/02/2019             |            |  |                      |
|-------------------------------|------------|--|----------------------|
| Agua Cruda (Turbiedad U.N.T.) |            | Salida Cisterna<br>(Turbiedad<br>U.N.T.) | Reducción<br>(U.N.T) |
| RÍO PORCÓN                    | RÍO GRANDE |  |                      |
| 25.4                          | 24.1       | 0.95                                     |                      |
| 19.5                          | 16.5       | 0.57                                     |                      |
| 14.2                          | 12.6       | 0.44                                     |                      |
| 11.8                          | 7.93       | 0.4                                      |                      |
| 12.2                          | 6.97       | 0.35                                     |                      |
| Promedio De<br>Cada Río       | 16.62      | 13.62                                    |                      |
| Promedio Total                |            | 15.12                                    | 0.54                 |
|                               |            |  | 14.58                |
| % Reducción<br>De Turbiedad   |            |  | 96%                  |

Fuente: *Elaboración Propia*

En el día n°1 se resolvió que el porcentaje de calidad del agua desde el momento de ingresar hasta que sale de la planta de reduce en un 96%

Tabla 7 *Recolección día n° 2 control de turbidez del proceso de retrolavado*

| Fecha: 02/02/2019                 |                                  |                   |  |                       |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--|-----------------------|
|                                   | Agua Cruda<br>(Turbiedad U.N.T.) |                   | Salida<br>Cisterna<br>(Turbiedad U.N.T.) | Reducción<br>(U.N.T.) |
|                                   | Río<br>Porcó<br>n                | Río<br>Grand<br>e |  |                       |
|                                   | 13.6                             | 5.79              | 0.48                                     |                       |
|                                   | 7.16                             | 4.23              | 0.38                                     |                       |
|                                   | 10.5                             | 6.5               | 0.3                                      |                       |
|                                   | 11.4                             | 9.6               | 0.38                                     |                       |
|                                   | 10.9                             | 5.16              | 0.23                                     |                       |
| Promedio<br>De Cada<br>Río        | 10.71                            | 6.26              |  |                       |
| Promedio<br>Total                 |                                  | 8.48              | 0.35                                     | 8.13                  |
| %<br>Reducción<br>De<br>Turbiedad |                                  |                   |  | 96%                   |

Fuente: *Elaboración Propia*

En el día n°2 se determinó que el porcentaje de calidad del agua desde el momento de ingresar hasta que sale de la planta de reduce en un 96%

Tabla 8 *Recolección día n° 3 control de turbidez del proceso de retrolavado*

| Fecha: 03/02/2019                 |                                  |               |  |                       |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|--|-----------------------|
|                                   | Agua Cruda<br>(Turbiedad U.N.T.) |               | Salida<br>Cisterna<br>(Turbiedad U.N.T.) | Reducción<br>(U.N.T.) |
|                                   | Río<br>Porcón                    | Río<br>Grande |  |                       |
|                                   | 8.47                             | 6.15          | 0.32                                     |                       |
|                                   | 7.48                             | 4.68          | 0.28                                     |                       |
|                                   | 8.47                             | 4.13          | 0.29                                     |                       |
|                                   | 12.1                             | 3.22          | 0.33                                     |                       |
|                                   | 6.24                             | 3.05          | 0.38                                     |                       |
| Promedio<br>De Cada<br>Río        | 8.55                             | 4.25          |  |                       |
| Promedio<br>Total                 |                                  | 6.40          | 0.32                                     | 6.08                  |
| %<br>Reducción<br>De<br>Turbiedad |                                  |               |  | 95%                   |

Fuente: *Elaboración Propia*

En el día n°3 se determinó que el porcentaje de calidad del agua desde el momento de ingresar hasta que sale de la planta de reduce en un 95%

Tabla 9 *Recolección día n° 4 control de turbidez del proceso de retrolavado*

| Fecha: 04/02/2019                 |                                  |               |  |                       |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|--|-----------------------|
|                                   | Agua Cruda<br>(Turbiedad U.N.T.) |               | Salida<br>Cisterna<br>(Turbiedad U.N.T.) | Reducción<br>(U.N.T.) |
|                                   | Río<br>Porcón                    | Río<br>Grande |  |                       |
|                                   | 5.24                             | 3.1           | 0.38                                     |                       |
|                                   | 4.27                             | 2.38          | 0.43                                     |                       |
|                                   | 9.05                             | 3.76          | 0.42                                     |                       |
|                                   | 10.9                             | 3.7           | 0.64                                     |                       |
|                                   | 26.5                             | 3.26          | 1.15                                     |                       |
| Promedio<br>De Cada<br>Río        | 11.192                           | 3.24          |  |                       |
| Promedio<br>Total                 |                                  | 7.216         | 0.604                                    | 6.612                 |
| %<br>Reducción<br>De<br>Turbiedad |                                  |               |  | 92%                   |

Fuente: *Elaboración Propia*

En el día n°4 se determinó que el porcentaje de calidad del agua desde el momento de ingresar hasta que sale de la planta de reduce en un 92%

Las dos primeras columnas de cada una muestran los datos de 05 tomas hechas al agua del Río Grande y Porcón, de los cuales es recolectada el agua para ser tratada. Con estos datos se saca un promedio por río, y finalmente un promedio de ambos resultados obtenidos en cada río. A continuación, se detalla el procedimiento mencionado, tomando como ejemplo el día uno, 01 de Febrero de 2019.

Río Porcón: Turbiedad (U.N.T)

$$RP = \frac{25.4 + 19.5 + 14.2 + 11.8 + 12.2}{5}$$

$$RP = 16.62 \text{ U. N. T.}$$

Río Grande: Turbiedad (UNT)

$$RG = \frac{24.1 + 16.5 + 12.6 + 7.93 + 6.97}{5}$$

$$RG = 13.62 \text{ U. N. T}$$

Promedio de Turbiedad: Río Porcón – Río Grande

$$PROM.TURB.E = \frac{16.62 + 13.62}{2}$$

$$PROM.TURB.E = 15.12 \text{ U. N. T.}$$

Luego de haber obtenido el promedio de la turbiedad del agua al ingresar a la planta, se realiza el mismo cálculo al muestreo realizado a la turbiedad del agua en la Cisterna de salida.

Se toma como ejemplo de cálculo, a las cifras de salida del día uno 01 de Febrero, de 2019.

Cisterna de Salida: Turbiedad (U.N.T)

$$PROM.TURB.S = \frac{0.95 + 0.57 + 0.44 + 0.40 + 0.35}{5}$$

$$PROM.TURB.S. = 0.54 U. N. T.$$

Continuando con el análisis, se realiza una resta del promedio de turbiedad del agua al ingresar, con el del agua al salir, con el objetivo de determinar la cantidad de U.N.T de turbiedad reducida con el proceso de tratamiento de agua de la planta.

$$Reducción Turbiedad = 15.12 - 0.54$$

$$Reducción Turbiedad = 14.58 U. N. T.$$

Con los datos obtenidos, se puede calcular en qué porcentaje la turbiedad del agua es reducida al pasar por el proceso de la planta, lo cual se traduce en el porcentaje de la calidad del proceso.

Se enfoca el cálculo en el día uno, 01 de Febrero, de 2019

$$PROM. TURB. E = 15.12$$

$$Reducción Turbiedad = 14.58$$

$$15.12 \text{ ----- } 100\%$$

$$14.58 \text{ ----- } X$$

$$Calidad = \frac{14.58 UNT * 100}{15.12 UNT}$$

$$Calidad = 96\%$$

Finalmente, para calcular la Calidad con todos los datos del muestreo realizado durante 4 días, se promedia los porcentajes de calidad obtenidos en cada día.

$$Calidad = \frac{96\% + 96\% + 95\% + 92\%}{4}$$

$$Calidad = 95\%$$

La Calidad del proceso actualmente del 95%. Entonces, se puede observar que la calidad tiene un buen nivel considerando el máximo permisible en turbiedad, y se considera que no habrá un cambio después de la implementación.

#### **3.1.4. Rendimiento**

El Rendimiento se produce cuando se utiliza los recursos de manera eficiente, produciendo el máximo posible, con el mínimo de recursos.

Este concepto, se refiere en concreto a aquellos puntos de la producción en que las empresas alcanzan el máximo posible de rendimiento en función de determinados recursos.

Para que tal cosa sea posible, sus responsables deben desplegar las mejores prácticas en materia de gestión, administración, comunicación, planificación y gestión del personal, áreas indispensables cuando se trata de eficiencia.

En el escenario empresarial actual, esto supone la implementación de procesos de alto nivel de gestión, como por ejemplo sistemas informáticos especializados, procesos de digitalización, nuevas tecnologías o estrategias ágiles, entre otros.

En el estudio, se enfoca el rendimiento en la relación entre a la cantidad de agua, ya tratada, que se utiliza para realizar el proceso de retrolavado de filtros, con la producción agua tratada.

Para calcular el rendimiento del proceso de tratamiento de agua, analizamos la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación 6} \quad \text{Rendimiento} = \text{Producción Total} - (\text{Cant. no producida} + \text{Cant. retrolavado})$$

La planta de tratamiento de agua produce un promedio de 160 L/s de agua potable.

$$\text{Producción Total} = 160 \text{ l/s} \times 60 \text{ s/min} \times 60 \text{ min/h} \times 24 \text{ h}$$

$$\text{Producción Total} = 13,824,000 \text{ L}$$

El proceso de retrolavado de filtros detiene la producción durante 60 min por filtro, al día se lavan 2 filtros, lo que significa 120 minutos que se deja de producir

$$\text{Cantidad no producida} = 160 \text{ L/s} \times 60 \text{ s/min} \times 120 \text{ min}$$

$$\text{Cantidad no producida} = 1,152,000 \text{ L}$$

Para realizar el retrolavado se utilizan 70 m<sup>3</sup> de agua tratada por retrolavado, esto significan 140 m<sup>3</sup> de agua por los dos retrolavados que se realizan por día

$$\text{Cantidad Agua Retrolavado} = 140 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Cantidad Agua Retrolavado} = 140,000 \text{ L}$$

Con los datos necesarios se desarrolla la ecuación planteada

$$\text{Rendimiento} = 13,824,000 - (1,152,000 + 140,000)$$

$$\text{Rendimiento} = 12,532,000$$

$$13,824,000 \text{ _____ } 100\%$$

$$12,532,000 \text{ _____ } X$$

$$X = \frac{12,532,000 \times 100}{13,824,000}$$

$$X = 91\%$$



El Rendimiento, actualmente es de 91%

Entonces se cree que este indicador puede mejorarse después de la implementación de la propuesta de mejora; las causas de este 91% podrían ser que no existe un uso óptimo del agua tratada que es el recurso con el que se hace el retrolavado.

### 3.1.5. Efectividad Global

$$OEE = Disponibilidad \times Calidad \times Rendimiento$$

Con los resultados obtenidos, se tiene lo siguiente

Disponibilidad = 92%

Calidad (U.N.T.) = 95%

Rendimiento = 91%

Se reemplazan los datos de acuerdo con la fórmula

$$OEE = 0.92 * 0.95 * 0.91$$

$$OEE = 0.795$$

$$OEE = 79.5\%$$

La efectividad global del proceso de retrolavado de filtros en la planta de tratamiento de agua Sedacaj es del 79.5% actualmente, debido a que se emplea un proceso manual.

Tabla 10 *Matriz de Operacionalización de variables*

| Variable                                    | Dimensiones               | Definición Conceptual   | Indicadores   | Valor | Unidad                                 | Interpretación   |
|---|---------------------------|---|---|-------|--|--|
| Sistema de Control Automático               | Turbidez                  | La turbidez es una medida en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. (Gonzales Toro, C.; 2011)        | Nivel de Turbidez del agua que se usa para el retrolavado de filtros                        | 1     | Unidad nefelométrica de turbidez (UNT) | El nivel de turbiedad del agua al momento de ingresar al filtro es de 1 UNT  |
|   | Nivel de agua             | Un nivel es un elemento de medición que se utiliza para determinar la horizontalidad o verticalidad de un elemento. (Gonzales Toro, C.; 2011)                                       | Cantidad de Agua para usarse en el retrolavado de filtros                                   | 70    | m <sup>3</sup>                         | En Anexo N°1 indica que la cantidad de agua usada para el retrolavado de filtros es de 70 m <sup>3</sup>                                     |
|   | Frecuencia de retrolavado | Frecuencia es una repetición de un hecho o un suceso. Es también el número de veces que se repite un proceso periódico en un intervalo de tiempo determinado. (Universidad Europea) | Ciclo del proceso de retrolavado de filtros   | 60    | minutos                                | De acuerdo con el estudio de tiempos realizado se determinó que el tiempo en que dura el proceso de retrolavado de filtros es de 60 minutos. |
| Efectividad Global del Proceso de Retrolava | Disponibilidad            | La disponibilidad propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada.  | Frecuencia de proceso de retrolavado de filtros   | 2     | veces                                  | En Anexo N°1 indica que se realizan 2 retrolavados por día.  |
|   |                           |   | Disponibilidad del proceso de retrolavado   | 92    | %                                      | La disponibilidad del proceso de retrolavado de filtros es de 92%  |
|   |                           |   | Tiempo medio entre paradas de producción para realizar el proceso de retrolavado de filtros | 12    | horas                                  | El tiempo medio entre paradas de la producción para realizar el proceso de retrolavado de filtros es de 12 horas.                            |

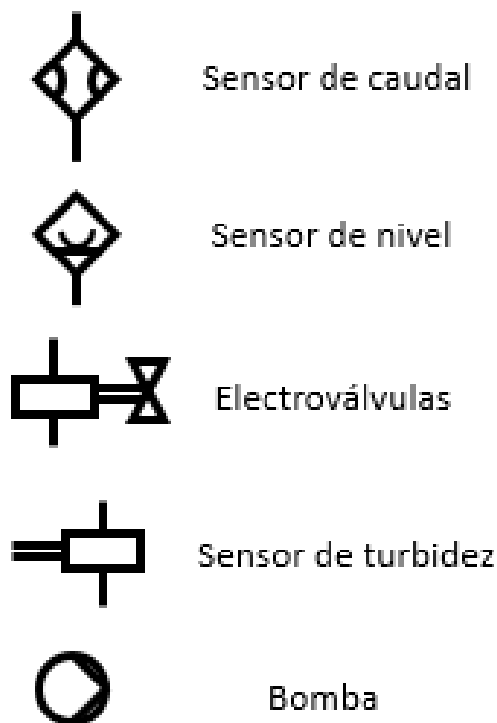
|                  |   |   |    |       |   |
|------------------|---|---|----|-------|---|
| do de<br>filtros |   | Tiempo medio hasta puesta en marcha de retrolavado de filtros                       | 2  | horas | El tiempo medio hasta puesta en marcha de los retrolavados de filtros es de 2 horas.  |
|                  |   | Número de paradas del proceso de producción para realizar el retrolavado de filtros | 2  | horas | El número de paradas del proceso de producción para realizar el retrolavado de filtros es de 2 horas.                                 |
|                  |   | Horas totales de paradas para realizar el retrolavado de filtros                    | 2  | H     | Las horas totales de paradas para realizar el retrolavado de filtros es de 2 horas.   |
| Calidad          | E.W. Deming (1988) determinó al concepto calidad como ese grado predecible de uniformidad y fiabilidad a un bajo coste.   | Nivel de Turbidez   | 95 | %     | De acuerdo con el límite permisible de Turbiedad en el agua que es 5 UNT (Ver anexo n°5) el porcentaje de calidad del agua es de 95%. |
| Rendimiento      | Este concepto, se refiere en concreto a aquellos puntos de la producción en que las empresas alcanzan el máximo posible de rendimiento en función de determinados recursos. | Porcentaje de rendimiento   | 91 | %     | El porcentaje de rendimiento del proceso actual de retrolavado de filtros es de 91%.  |

Fuente: *Elaboración Propia*

### 3.2 Resultados del diseño del nuevo sistema de retrolavado automático

Para empezar con el diseño de la propuesta, se plantean los componentes automáticos que se utilizarían en el proceso de retrolavado de filtros teniendo en cuenta la norma ISO 1219 1 y ISO 12192 que es la encargada de la representación de símbolos que se deben usar en esquemas automáticos.

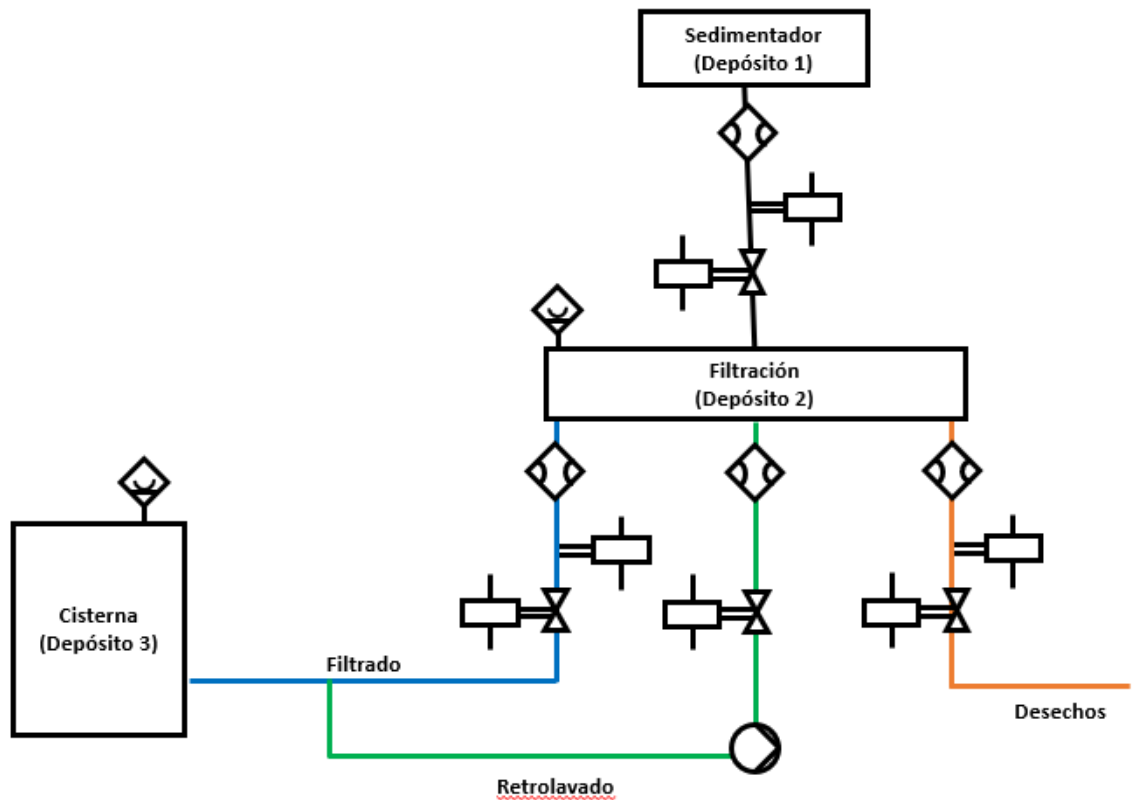
Figura 7 *Simbología de componentes automáticos*



Fuente *Elaboración propia*

A continuación, se muestra en el siguiente gráfico la ubicación de cada componente automático propuesto en el proceso de retrolavado de filtros.

Figura 8 Gráfico del proceso de retrolavado con componentes automáticos



Fuente *Elaboración propia*

Cierre de compuerta que lleva el agua sedimentada al filtro: Como primer paso se requiere que la llave que cierra esta compuerta se accione automáticamente, por ende, se decidió utilizar un sensor de turbidez y una electroválvula.

Cierre de compuerta de agua filtrada (azul): Para automatizar este paso, se implementará otra electroválvula en la tubería de agua filtrada y también un sensor de turbidez, ya que para accionarse tiene que leer un rango de turbidez.

Abrir compuerta de desechos (naranja): En esta tubería se implementará una electroválvula y también un sensor de turbidez, para su accionamiento y cierre.

Abrir compuerta de retrolavado (verde): En esta tubería verde se implementará una electroválvula.

Sensor de nivel: Para determinar el tiempo que tomaría en realizarse el retrolavado después de la implementación. Su ubicación sería el módulo de filtrado.

Sensor de caudal: también llamados flujómetros, estos sensores servirán para determinar la cantidad de agua (flujo) usada en cada etapa, para su posterior análisis. Se determinó que estarían ubicados de la siguiente manera.

Timer: La función principal del timer es contar automáticamente a la velocidad de su frecuencia configurada. (Ruben Estrada, 2019) Este elemento se implementará con la intención de medir los tiempos en que se realiza el acto automático.

Tenemos la siguiente lista de componentes que se propone implementar.

- 4 electroválvulas.
- 3 sensor de turbidez.
- 2 sensor de nivel.
- 4 sensor de caudal.
- 1 timer.
- 1 bomba.

### 3.3. Indicadores con la propuesta de mejora

En un proceso de retrolavado con un sistema de control automático, se eliminan las tareas hechas por el operador, y se reemplazan por el tiempo que le toma a una electroválvula en cerrarse.

En este caso, tomando en cuenta la información indicada en el Plan de Control de Calidad 2015 que las tuberías que tienen que cerrarse o abrirse tienen un diámetro de 300 mm (12"). Y según el manual de GENEBRE del producto V. 2103 con actuador eléctrico a usarse en diámetros de 12" (Véase el anexo 13) indica que al implementar este elemento tiene un tiempo de cierre de 26 segundos (Véase anexo 14). Y en cuanto al comportamiento del encendido de electrobombas y verificación de amperaje es totalmente automático, lo cual implica tan solo 0 segundos.

Teniendo esta información, se convierten los minutos a segundos para un mejor contraste, entonces tenemos que:

Tabla 11 *Tiempos del proceso de retrolavado de filtros automático*

| Tarea   | Tiempo<br>Manual | Tiempo<br>Automático<br>o |
|---|------------------|---------------------------|
| 1. Cerrar la compuerta de agua al filtro (compuerta de color celeste) del canal de distribución de agua sedimentada | 75 s             | 26 s                      |
| 2. Se debe esperar que la cisterna esté con 3.00 metros de altura.  | 780 s            | 780 s                     |
| 3. Verificar el sentido de giro de la electrobomba (sentido horario).   | 60 s             | 0 s                       |

|  |       |       |
|--|-------|-------|
| 4. Luego cerrar la válvula de agua filtrada (válvula de color celeste)   | 225 s | 26 s  |
| 5. Abrir con 16 vueltas la válvula de desagüe (válvula de color naranja)   | 345 s | 26 s  |
| 6. Abrir con 6 vueltas la válvula de lavado de filtro (válvula de color verde)   | 225 s | 26 s  |
| 7. Se procede a encender las electrobombas, alternando las mismas en cada lavado.  | 75 s  | 0 s   |
| 8. Se verifica el amperaje y voltaje (60 hertz y 220 voltios respectivamente) en el panel de control correspondiente a las electrobombas de lavado de filtros. | 120 s | 0 s   |
| 9. Luego se deberá ir abriendo lentamente la válvula de lavado del filtro (válvula de color verde).  | 285 s | 26 s  |
| 10. El proceso de retrolavado terminará cuando el agua de lavado se vea limpia debiendo durar entre 6 a 8 minutos.   | 390 s | 390 s |
| 11. Se procede a apagar la electrobomba.   | 105 s | 0 s   |
| 12. Se cierra la válvula de retrolavado.   | 225 s | 26 s  |
| 13. Luego cerrar la válvula de desagüe con 16 vueltas en sentido contrario.  | 390 s | 26 s  |
| 14. Abrir válvula de filtración de agua.   | 240 s | 26 s  |



|                                   |    |      |        |
|-----------------------------------|----|------|--------|
| 15. Finalmente se abre la         |    | 90 s | 26 s   |
| compuerta que permite el paso del |    |      |        |
| agua sedimentada al filtro.       |    |      |        |
| Promedi                           | 60 | 363  | 1404 s |
| o                                 | m  | 0 s  |        |

Fuente *Elaboración propia*

Habiendo reemplazado las actividades de apertura y cierre de llaves de manera manual, con las electroválvulas accionadas por los sensores correspondientes, se tiene el siguiente porcentaje de tiempo que toma el proceso automático.

$$\frac{\text{Tiempo automático}}{\text{Tiempo manual}} = \frac{1404 \text{ segundos}}{3630 \text{ segundos}} = 38\%$$

Lo cual significaría una reducción de tiempo del 62%

Efectividad Global después de la propuesta de mejora

### 3.3.1. Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

La planta de tratamiento de agua trabaja las 24 horas al día

$$\text{Horas Totales} = 24 \text{ h}$$

El proceso de lavado de filtros, con el proceso automático propuesto, requeriría de 1404 s

Horas de parada por mantto =  $1404s / 3600s/h$

Horas de parada por mantto = 0.39 h

Se aplica la ecuación

$$Disponibilidad = \frac{24 h - 0.39 h}{24 h}$$

$$Disponibilidad = 98\%$$

Con la implementación del sistema de control automático, se incrementaría un 6% en cuanto a Disponibilidad, del 92% con un proceso manual, al 98% con uno automático.

### **Tiempo medio entre paradas**

$$TMEP = \frac{Horas Totales del periodo}{Número de paradas}$$

El tiempo entre paradas tiene un total de 23.23 horas

Horas totales del periodo = 23.23 h

El retrolavado se realiza 2 veces al día

Número de paradas = 2

Se desarrolla la ecuación

$$TMEP = \frac{23.23 h}{2}$$

$$TMEP = 11.62 h$$

El tiempo medio entre paradas se reduce de 12 a 11.62

### Tiempo medio hasta puesta en marcha

$$TMEP = \frac{\text{Horas Totales de parada}}{\text{Número de paradas}}$$

El retrolavado con un sistema de control automático, tardaría 23.4min

$$\text{Horas totales de parada} = 23.4\text{min} / 60\text{min/h}$$

$$\text{Horas totales de parada} = 0.39 * 2$$

$$\text{Horas totales de parada} = 0.78$$

Número de paradas: 2

Se reemplaza los datos en la fórmula

$$TMEP = \frac{0.78 h}{2}$$

$$TMEP = 0.39 h = 23.4\text{min}$$

El tiempo medio hasta puesta en marcha, con un proceso automatizado, se reduciría a 23.4 minutos.

### **Número de paradas**

El retrolavado se realiza 2 veces al día con el proceso de control automático.

### **Horas totales de parada**

El tiempo por cada retrolavado automatizado es de 23.4 minutos, por los dos retrolavados sería un total de 46.8 minutos, equivalentes a 0.78 horas.

### **3.3.2 Calidad**

La calidad del proceso con un retrolavado manual, actualmente es de 95%, teniendo en cuenta un promedio de turbiedad en el agua ya tratada por debajo de 1 UNT. Esto significa que el proceso se encuentra bajo el estándar de límites permisibles de turbiedad el cual es  $\leq 5$ .

Por lo tanto, se asume que, al realizar el proceso con un sistema de control automático, se mantendrá dentro del estándar, marcando un 95% de calidad.

### **3.3.3. Rendimiento**

$$\text{Rendimiento} = \text{Producción Total} - (\text{Cant. no producida} + \text{Cant. retrolavado})$$

La planta de tratamiento de agua produce 160 L/s de agua potable

$$\text{Producción Total} = 13,824,000 \text{ l}$$

Si se realizan 2 retrolavados automatizados de 23.4 minutos cada uno, significa que la planta deja de producir por 46.8 minutos equivalentes a 2808 segundos

$$\text{Cantidad no producida} = 160 \text{ l/s} * 2808 \text{ s}$$

$$\text{Cantidad no producida} = 449,280 \text{ l}$$

Se muestra una reducción de 1,152,000 l en un proceso manual a 449,280 L con uno automatizado, lo que significa un 61% menos

Cantidad de Agua Retrolavado = 140,000 l

Se aplica la fórmula de rendimiento

$$\text{Rendimiento} = 13,824,000 \text{ l} - (449,280 \text{ l} + 140,000 \text{ l})$$

$$\text{Rendimiento} = 13,234,720 \text{ l}$$

$$13,824,000 \text{ l} \text{ _____ } 100\%$$

$$13,234,720 \text{ l} \text{ _____ } X$$

$$X = \frac{13,234,720 \text{ l} * 100}{13,824,000 \text{ l}}$$

$$X = 96\%$$

$$\text{Rendimiento} = 96\%$$

El rendimiento aumentaría un 5%, de 91% con un proceso manual, a 96% con uno automatizado.

### 3.3.4. Efectividad Global

$$OEE = Disponibilidad \times Eficiencia \times Calidad$$

Con los resultados obtenidos, considerando el proceso de retrolavado con la propuesta de sistema de control automático, se tiene lo siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = 98\%$$

$$\text{Eficiencia} = 95\%$$

$$\text{Calidad} = 96\%$$

Se reemplaza los datos en la fórmula

$$OEE = 0.98 * 0.95 * 0.96$$

$$OEE = 0.894$$

$$OEE = 89.4\%$$

La efectividad global del proceso de retrolavado de filtros con la propuesta de un sistema de control automático, incrementaría un 9.9%. Es decir, se pasaría de un 79.5% con un proceso de retrolavado manual, a un 89.4% con uno automatizado.

Tabla 12 Relación entre indicadores del antes y después de la propuesta de mejora

| Variable   | Dimensiones               | Indicadores   | Valor Diagnostica<br>do | Valor Propuesto | Unidad                                 | Diferencia  |
|--|---------------------------|---|-------------------------|-----------------|--|-------------|
| Sistema de control automático                            | Turbidez                  | Nivel de Turbidez del agua que se usa para el retrolavado de filtros                        | 1                       | 1               | Unidad nefelométrica de turbidez (UNT) | 0 UNT       |
|  | Nivel de agua             | Cantidad de Agua a usarse en el retrolavado de filtros                                      | 70                      | 70              | m3                                     | 0 m3        |
|  | Frecuencia de retrolavado | Ciclo del proceso de retrolavado de filtros   | 60                      | 23.4            | minutos                                | 36.6 min    |
|  |                           | Frecuencia de proceso de retrolavado de filtros   | 2                       | 2               | veces                                  | 0           |
| Efectividad Global del proceso de retrolavado de filtros | Disponibilidad            | Disponibilidad del proceso de retrolavado   | 92                      | 98              | %                                      | 6 %         |
|  |                           | Tiempo medio entre paradas de producción para realizar el proceso de retrolavado de filtros | 12                      | 11.62           | horas                                  | -1.62 horas |
|  |                           | Tiempo medio hasta puesta en marcha de retrolavado de filtros                               | 24                      | 23.4            | horas                                  | -1.4 horas  |
|  |                           | Número de paradas del proceso de producción   | 2                       | 2               | horas                                  | 0 horas     |

|             |  |    |      |  |       |            |
|-------------|--|----|------|--|-------|------------|
|             | para realizar el<br>retrolavado de filtros                             |    |      |  |       |            |
|             | Horas totales de paradas<br>para realizar el<br>retrolavado de filtros | 2  | 0.78 |  | horas | 0.22 horas |
| Calidad     | Nivel de Turbidez  | 95 | 95   |  | %     | 0 %        |
| Rendimiento | Porcentaje<br>de rendimiento   | 91 | 96   |  | %     | 5%         |

Fuente *Elaboración Propia*

Nivel de Turbidez del agua que se usa para el retrolavado de filtros: El nivel de turbidez se mantiene bajo el estándar límite permisible, estando en un promedio por debajo de 1 UNT en ambos escenarios.

Cantidad de Agua a usarse en el retrolavado de filtros: La cantidad de agua a utilizarse se mantiene tanto para el proceso manual como para el automático.

Ciclo del proceso de retrolavado de filtros: El ciclo del proceso de retrolavado con la propuesta de control automático se reduce 36.6 min, lo que significa una reducción de 61%.

Frecuencia de proceso de retrolavado de filtros: La frecuencia del proceso se mantiene en 2 retrolavado por día.



Disponibilidad: La disponibilidad del proceso de retrolavado aumenta un 6% con la propuesta de mejora.

Tiempo medio entre paradas: El tiempo medio entre paradas de producción se reduce 23 segundos con un retrolavado automatizado.

Tiempo medio hasta puesta en marcha: El tiempo medio hasta puesta en marcha del retrolavado de filtros se reduce a 23.4 horas.

Número de paradas del proceso de producción para realizar el retrolavado de filtros: El número de paradas del proceso de producción se mantiene en 2 veces por día.

Horas totales de paradas para realizar el retrolavado de filtros: Las horas totales de paradas se reduce de 2 horas a 0.78 horas con el nuevo sistema de control automático.

Nivel de Turbidez: La calidad se mantiene en 95% ya que la turbidez está bajo el estándar de límites permisibles, el cual es 1 UNT.

Porcentaje de rendimiento: El porcentaje de rendimiento aumenta un 5% con el sistema de control automático propuesto.

### 3.4. Resultados del análisis económico

#### 3.4.1. Inversión para la implementación

De acuerdo con el diseño de la propuesta de mejora aplicada en el proceso de retrolavado de filtros de proceso de potabilización de agua de la EPS Sedacaj S.A. se realizó el análisis económico.

##### Inversión de activos tangibles:

En la siguiente tabla se identifica la cantidad, precios unitarios e inversión total de activos tangible a usar durante un año,

Tabla 13 *Inversión de activos tangibles*

| Ítem                        | Cantidad | Medida | Precio Unitario | Inversión Total    |
|-----------------------------|----------|--------|-----------------|--------------------|
| <b>MATERIALES</b>           |          |        |                 |                    |
| Hojas de registro           | 100      | unidad | S/0.10          | S/10.00            |
| Lapiceros                   | 10       | unidad | S/1.20          | S/12.00            |
| Memoria USB                 | 1        | unidad | S/25.00         | S/25.00            |
| <b>EQUIPOS AUTOMÁTICOS</b>  |          |        |                 |                    |
| Actuadores eléctricos GE050 | 4        | unidad | S/101.84        | S/407.36           |
| Sensor de turbidez.         | 3        | unidad | S/2,104.60      | S/6,313.71         |
| Sensor de nivel.            | 8        | unidad | S/934.78        | S/7,478.24         |
| Sensor de caudal.           | 16       | unidad | S/1,699.30      | S/27,188.80        |
| Timer.                      | 4        | unidad | S/166.92        | S/667.68           |
| Bomba.                      | 1        | unidad | S/4,340.05      | S/4,340.05         |
| <b>Inversión (PEN)</b>      |          |        |                 | <b>S/46,442.84</b> |

Fuente *Elaboración propia*

Otros gastos: A continuación, se muestran los gastos adicionales generados para la propuesta de mejora del proceso de retrolavado de filtros.

Tabla 14 *Otros gastos (mantenimiento, capacitación)*

| Ítem  | Cantidad | Inversión Total   |
|---|----------|-------------------|
| <b>GASTOS DE MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN</b> |          |                   |
| Mantenimiento electroválvulas                 | 4        | S/3,200.00        |
| Mantenimiento bombas                          | 1        | S/1,200.00        |
| Capacitación personal del nuevo sistema       | 1        | S/250.00          |
| Pasajes traslados                             | 1        | S/230.00          |
| Buenas prácticas de manufactura               | 1        | S/340.00          |
| <b>Inversión (PE)</b>                         |          | <b>S/5,220.00</b> |

Fuente *Elaboración propia*

Identificamos que la inversión total para la implementación de esta propuesta de mejora sería de S/51,662.84

### 3.4.2. Costos proyectados para la implementación

En la siguiente tabla mostramos los costos proyectados en 5 años desde la inversión realizada.

Tabla 15 *Costos proyectados para la implementación*

| Ítem  | Año 0       | Año 1    | Año 2      | Año 3    | Año 4      | Año 5    |
|---|-------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| <b>MATERIALES</b>                             |             |          |            |          |            |          |
| Hojas de registro                             | S/10.00     | S/10.00  | S/10.00    | S/10.00  | S/10.00    | S/10.00  |
| Lapiceros                                     | S/12.00     | S/12.00  | S/12.00    | S/12.00  | S/12.00    | S/12.00  |
| Memoria USB                                   | S/25.00     |          |            |          |            |          |
| <b>EQUIPOS AUTOMÁTICOS</b>                    |             |          |            |          |            |          |
| Actuadores eléctricos GE050                   | S/407.36    |          |            |          |            |          |
| Sensor de turbidez.                           | S/6,313.71  |          |            |          |            |          |
| Sensor de nivel.                              | S/7,478.24  |          |            |          |            |          |
| Sensor de caudal.                             | S/27,188.80 |          |            |          |            |          |
| Timer.  | S/667.68    |          |            |          |            |          |
| Bomba.  | S/4,340.05  |          |            |          |            |          |
| <b>Gastos De Mantenimiento Y Capacitación</b> |             |          |            |          |            |          |
| Mantenimiento electroválvulas                 | S/3,200.00  |          | S/3,200.00 |          | S/3,200.00 |          |
| Mantenimiento bombas                          | S/1,200.00  |          | S/1,200.00 |          | S/1,200.00 |          |
| Capacitación personal del nuevo sistema       | S/250.00    | S/250.00 | S/250.00   | S/250.00 | S/250.00   | S/250.00 |
| Pasajes traslados                             | S/230.00    | S/230.00 | S/230.00   | S/230.00 | S/230.00   | S/230.00 |
| Buenas prácticas de manufactura               | S/340.00    | S/340.00 | S/340.00   | S/340.00 | S/340.00   | S/340.00 |
| Total Costos                                  | S/51,662.84 | S/842.00 | S/5,242.00 | S/842.00 | S/5,242.00 | S/842.00 |

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.4.3. Evaluación costo beneficio: VAN, TIR.

Para desarrollar la siguiente evaluación se realizará el análisis en escenario pesimista y optimista.

#### Escenario optimista

En la siguiente tabla, se analiza los beneficios económicos que representa para la empresa el incremento de indicadores de la Efectividad Global del proceso de retrolavado de filtros, tras la ampliación del sistema automático.

Tabla 16 *Beneficio económico de incremento de indicadores*

| Indicadores  | Antes de la implementación | Después de la implementación | Beneficio   |
|--|----------------------------|------------------------------|-------------|
| Disponibilidad del proceso de retrolavado de filtros | S/33,200.00                | S/0.00                       | S/33,200.00 |
| Calidad del proceso de retrolavado de filtros        | S/0.00                     | S/0.00                       | S/0.00      |
| Rendimiento del proceso de retrolavado de filtros    | S/0.12                     | S/0.05                       | S/0.07      |

Fuente *Elaboración Propia*

Por lo tanto, se calcula que hay un ahorro significativo eliminando mano de obra y uso de materia prima, que es de S/. 33200.

Ingresos proyectados:

En la siguiente tabla se proyecta los ingresos obtenidos después de la propuesta de mejora implementada en el proceso de retrolavado de filtros de la EPS Sedacaj S.A

Tabla 17 *Ingresos proyectados después de la implementación*

| AÑO 0          | AÑO 1          | AÑO 2          | AÑO 3          | AÑO 4          | AÑO 5          |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S/9,830,537.93 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 |

Fuente *Elaboración Propia*

Flujo de caja proyectado:

A continuación, se muestra mediante una tabla el flujo de caja proyectado durante 5 años.

Tabla 18 *Flujo de caja proyectado*

| AÑO 0      | AÑO 1      | AÑO 2   | AÑO 3     | AÑO 4   | AÑO 5     |
|------------|------------|---------|-----------|---------|-----------|
| -S/3,200.0 | S/18,462.8 | S/842.0 | S/5,242.0 | S/842.0 | S/5,242.0 |

Fuente *Elaboración propia*

#### 3.4.4. Resultados del VA, VAN y TIR en escenario optimista

En la siguiente tabla, se identifica el VA, VAN, TIR e IR, que nos permitirá conocer si el trabajo de investigación propuesto es viable o no.

Tabla 19 *Indicadores económicos en escenario optimista*

|     |            |
|-----|------------|
| COK | 10.65%     |
| VA  | S/19,672.9 |
| VAN | S/16,472.9 |
| TIR | 486.5%     |
| IR  | 6.15       |

Fuente *Elaboración propia*

Se puede ver que el VAN obtiene un resultado de S/. 19,673, lo cual quiere decir que la propuesta si es viable. La tasa interna de retorno es de 487% que es mayor que el COK, lo cual indica que la propuesta de mejora se acepta. Por último, el índice de rentabilidad obtuvo 6.15, que significa que por cada sol invertido habrá un retorno de 5.15 soles.

#### Escenario pesimista

En la siguiente tabla se analiza los datos económicos basándonos en un escenario pesimista.

Tabla 20 *Beneficio económico en escenario pesimista*

| Indicadores  | Antes de la implementación | Después de la implementación | Beneficio  |
|--|----------------------------|------------------------------|------------|
| Disponibilidad del proceso de retrolavado de filtros | S/17,600.00                | S/15,600.00                  | S/2,000.00 |
| Calidad del proceso de retrolavado de filtros        | S/0.00                     | S/0.00                       | S/0.00     |
| Rendimiento del proceso de retrolavado de filtros    | S/0.12                     | S/0.07                       | S/0.05     |

Fuente: *Elaboración propia*

Por lo tanto, se calcula que hay un ahorro significativo eliminando mano de obra y uso de materia prima, que es de S/. 1997.

Ingresos proyectados:

En la siguiente tabla se proyectan los ingresos obtenidos después de la propuesta de mejora implementada en el proceso de retrolavado de filtros de la EPS Sedacaj S.A

Tabla 21 *Ingresos proyectados después de la implementación*

| AÑO 0          | AÑO 1          | AÑO 2          | AÑO 3          | AÑO 4          | AÑO 5          |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S/9,861,740.95 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 | S/9,863,738.00 |

Fuente *Elaboración Propia*

Flujo de caja proyectado:

A continuación, se muestra mediante una tabla el flujo de caja proyectado durante 5 años.

Tabla 22 *Flujo de caja proyectado*

| AÑO 0     | AÑO 1   | AÑO 2   | AÑO 3   | AÑO 4     | AÑO 5   |
|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| S/9,000.0 | S/742.0 | S/865.0 | S/745.0 | S/1,176.0 | S/745.0 |

Fuente *Elaboración propia*

Resultados del VA, VAN y TIR en escenario pesimista

En la siguiente tabla, se identifica el VA, VAN, TIR e IR, que permitirá conocer si la propuesta es viable o no.

Tabla 23 *Indicadores económicos en escenario pesimista*

|     |            |
|-----|------------|
| COK | 10.65%     |
| VA  | S/10,991.1 |
| VAN | S/11,733.1 |
| TIR | 385.0%     |
| IR  | 5.86       |

Fuente *Elaboración propia*

Se puede ver que el VAN nos da un resultado de S/. 10,991, lo cual quiere decir que la propuesta si es viable. La tasa interna de retorno es de 385% que es mayor que el COK, lo cual indica que la propuesta de mejora se acepta. Por último, el índice de rentabilidad obtuvo 5.86, que significa que por cada sol invertido habrá un retorno de 4.86 soles.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En nuestra investigación se tuvo como objetivo mejorar la eficiencia global del proceso de retrolavado de filtros en la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro” – EPS Sedacaj con la propuesta de un sistema de control automático, como se muestra en el detalle de los resultados que se exponen a continuación.

En las visitas realizadas en la planta de tratamiento de agua, se hizo toma de tiempos y entrevistas, de las cuales se obtuvo un tiempo de 60 minutos para realizar el retrolavado de forma manual. Con la propuesta de implementación de un sistema de control automático para el retrolavado, el tiempo se redujo un 61%, pasando de 60 minutos con el retrolavado manual, a 23.4 minutos con el retrolavado automatizado propuesto. Con la propuesta del diseño de un sistema de control automático, se calculó el nuevo tiempo de ciclo, tomando en cuenta la eliminación de tiempos de actividad humana, y el resultado fue de 23.4 minutos.

Según Estrada, V. y Gutiérrez, V. (2012) después de aplicar un sistema de control automático el porcentaje de tiempo que se ahorro fue de 54%, en esta investigación se propuso implementar un dispositivo de control PAC, el cual es un Controlador de Automatización Programable.

Se hizo el cálculo de los tres componentes de la Efectividad Global: Disponibilidad, Calidad y Rendimiento. Para la disponibilidad, se consideró las 24 horas de producción en la planta, y las 2 paradas al día por lavado de filtros (retrolavado). Con estos datos se calculó un 92% para indicador de disponibilidad con el proceso mencionado realizado manualmente. Adicional a la disponibilidad, se calculó 12 horas para el tiempo medio entre paradas y 1 hora de tiempo medio hasta puesta en marcha. Aplicando la automatización al proceso de



retrolavado de filtros de la planta de potabilización El Milagro de la EPS Sedacaj, determinamos que el indicador de disponibilidad tiene un aumento de 6%, llegando a un 98%. En su trabajo de investigación, Tíclavilca, J. (2016) gracias a su propuesta de implementación de nueva maquinaria para un mantenimiento preventivo, obtuvo un resultado satisfactorio del aumento del 23%. En relación con nuestro trabajo de investigación, en ambos casos se obtuvo un resultado favorable para la empresa en cuanto a disponibilidad de proceso.

Asimismo, para determinar el porcentaje de calidad del proceso de retrolavado de filtros actual, se relacionó el mismo con la turbiedad del agua. Como primer paso se realizó un muestreo de turbiedad de 5 tomas por 4 días en la captación del agua de los ríos Porcón y Grande, y, en la salida del agua tratada. Haciendo un contraste con el promedio de turbiedad del agua que es captada, y el agua que esta lista para distribución se obtuvo un 95% de calidad. Con la propuesta de mejora, implementando un sistema de control automático en el proceso de retrolavado de filtros, la calidad se mantiene en un 95%. En relación a otro trabajo de investigación de investigación de Rossi, G. (2017) donde se propuso implementar un análisis físico-químico donde se haga un seguimiento y análisis más detenido de la turbidez del agua, pudo obtener un resultado del 99%. Debido a que en nuestro trabajo de investigación no intervenimos directamente en el agua, ni la automatización va a realizar algún cambio significativo, este se mantiene en el mismo porcentaje.

De igual manera, se determinó el indicador de rendimiento, considerando la producción total de 160 litros por segundo; los 1,152,000 litros de agua que se dejan de producir durante el tiempo de 120 minutos debido a la parada por retrolavado; y los 140,000 litros de agua necesarios para realizar los 2 retrolavados diarios. Con los datos mencionados se calculó un 91% de rendimiento. Después de aplicar la propuesta de mejora al proceso de retrolavado de filtros, el rendimiento marca un aumento del 5%, alcanzando un 96%. Según Arana, L.

(2014) quien en su tesis propone una mejora de productividad en el área de producción de carteras de una empresa retail implementando control automático de procesos, indica que tuvo un aumento del rendimiento del 2%, alcanzado un 31%. Lo cual coincide en nuestra hipótesis, que en todo proceso donde se aplique la automatización, habrá una mejora considerable y significativa.

Se concluyó con el cálculo de la Efectividad Global con la propuesta del sistema de control automático para el retrolavado de filtros, teniendo un resultado superior al del proceso manual, 89.4%, lo que significa un incremento de la Efectividad global en un 9.9%.

## 4.2. Conclusiones

- De acuerdo con el diagnóstico del proceso de retrolavado de filtros, se obtuvieron los siguientes resultados; respecto a la disponibilidad del proceso el resultado fue del 92%; de acuerdo al límite permisible de Turbiedad, el porcentaje de calidad del agua fue de 95%; y el porcentaje de rendimiento del retrolavado de filtros fue de 91%, por lo tanto, la efectividad global, medida a partir de los indicadores del proceso de retrolavado de filtros es del 79.5%, utilizando un proceso manual.
- La propuesta de diseño del sistema automático del proceso de retrolavado de filtros contempla los siguientes componentes: 4 Electroválvulas, 3 Sensor de turbidez, 2 Sensor de nivel, 4 Sensor de caudal, 1 Timer, 1 Bomba. (Vèase figura 9)
- La aplicación del sistema de control automático en el proceso de retrolavado de filtros permitió los siguientes resultados: la disponibilidad del proceso obtuvo un resultado del 98%; de acuerdo al límite permisible de Turbiedad, el porcentaje de calidad del agua continúa siendo 95%; y el porcentaje de rendimiento del retrolavado de filtros obtuvo un resultado del 96%. Por lo tanto, la efectividad global medida, con la implementación del sistema de control automático, aplicado al proceso de retrolavado de filtros en la planta de tratamiento sería del 89.4% empleando un proceso automatizado.
- De acuerdo con el análisis económico realizado a la propuesta de mejora en el proceso de retrolavado de filtros de la planta potabilizadora El Milagro de la EPS Sedacaj S.A. se requiere una inversión de S/51,662.84, obteniendo un valor actual neto (VAN) de S/. 19,673, lo cual quiere decir que la propuesta es viable, y evaluando la tasa interna de retorno obtenemos un resultado del 487% que es mayor que el COK.

## REFERENCIAS

- Controlp: aplicación gratuita de simulación y análisis de procesos - parte 1 Copyright ©  
2006-2019 IngenieríaQuimica.org (2015) Recuperado de  
<http://www.ingenieriaquimica.org/software/control-ip-aplicacion-gratuita-simulacio>
- Kaizen: mejora continua © 2016 Recuperado de  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/kaizen-mejora-continua/>
- Imai, M. (2014) Gembra Kaizen. Madrid: Mc Graw Hill
- Piedrafita, R. (Ed.2) (2004) Automatización Industrial. Madrid: Ra-Ma Editorial
- Manual De Publicaciones De La American Psychological Association (2010) (3° Edición). México: Editorial el Manual Moderno.
- Medición De Tiempos. 2009. Recuperado de  
[http://ww31.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/mediciontrabajo/](http://ww31.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/mediciontrabajo/)
- Estrada, V., Gutiérrez, V (2012) Control y Monitoreo de una Potabilizadora de Agua por medio de una Red Controlnet. Instituto Politécnico Nacional: México.
- Adauta, M. (2019) Automatización de planta de tratamiento de aguas con microcontrolador y servicio WEB. Universidad Nacional Autónoma de México: México.

Ticlavilca, J. (2016) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad del equipo ALPHA29 de la empresa Robocon S.A.C. Universidad Nacional del Centro del Perú: Perú.

Arana, L. (2014) Mejora de rendimiento en el área de producción de carteras en una empresa de accesorios de vestir y artículos de viaje. Universidad San Martín de Porres: Perú.

Rossi, G. (2017) Propuesta de mejora para uso del agua en la pequeña industria alimentaria de zonas rurales. Universidad Nacional de San Agustín: Perú.

Automatización industrial: historia, características y tipos © 2018 Recuperado de <https://www.lifeder.com/automatizacion-industrial/>

Caro-Carretero, R., Ortiz-Marcos, S. (2014). Overall Equipment Effectiveness Rate As A Measure For Processes Improvement. *Dyna*, 89(2). 128-130.

## ANEXOS

### ANEXO n.º 1. Registro de Lavado de Filtros

| LAVADO DE LOS FILTROS ANTIGUOS Y FILTROS NUEVOS CON AGUA DEL TANQUE APOYADO |           |          |       |         |           |          |        |        |         |    |          |               |
|---|-----------|----------|-------|---------|-----------|----------|--------|--------|---------|----|----------|---------------|
| Día   | Nº Filtro | Hora     | Tempo | Nº Elec | Nº Filtro | Hora     | Tempo  | Macro  | Medidor | M³ | Total M³ | Observaciones |
| 01-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | 4.02 am  | 6 min | 8       | 3         | 0.25 am  | 14 min | 272718 | 272788  | 70 |          |               |
|   | 4         | 10.00 pm | 6 min | 8       | 4         | 16.50 pm | 14 min | 272788 | 272858  | 70 |          |               |
| 02-feb  | 1         | 4.00 am  | 6 min | 8       | 1         | 0.16 am  | 14 min | 272858 | 272928  | 70 |          |               |
|   | 2         | 10.09 pm | 6 min | 8       | 2         | 16.40 pm | 14 min | 272928 | 272998  | 70 |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 03-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | 4.00 am  | 6 min | 9       | 3         | 0.25 am  | 14 min | 272998 | 273068  | 70 |          |               |
|   | 4         | 10.00 pm | 6 min | 9       | 4         | 16.40 pm | 14 min | 273068 | 273138  | 70 |          |               |
| 04-feb  | 1         | 4.00 am  | 6 min | 9       | 1         | 0.20 am  | 14 min | 273138 | 273208  | 70 |          |               |
|   | 2         | 10.13 pm | 6 min | 9       | 2         | 4.41 pm  | 14 min | 273208 | 273278  | 70 |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 05-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | 4.11 am  | 6 min | 8       | 3         | 0.20 am  | 14 min | 273208 | 273278  | 70 |          |               |
|   | 4         | 10.02 pm | 6 min | 8       | 4         | 4.50 pm  | 14 min | 273278 | 273348  | 70 |          |               |
| 06-feb  | 1         | 4.00 am  | 6 min | 8       | 1         | 0.32 am  | 14 min | 273348 | 273418  | 70 |          |               |
|   | 2         | 10.00 pm | 6 min | 8       | 2         | 4.38 pm  | 14 min | 273418 | 273488  | 70 |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 07-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | 4.10 am  | 6 min | 9       | 3         | 0.26 am  | 14 min | 273488 | 273558  | 70 |          |               |
|   | 4         | 10.00 pm | 6 min | 9       | 4         | 4.04 pm  | 14 min | 273558 | 273628  | 70 |          |               |
| 08-feb  | 1         | 4.00 am  | 6 min | 9       | 1         | 0.36 am  | 14 min | 273628 | 273698  | 70 |          |               |
|   | 2         | 10.00 pm | 6 min | 9       | 2         | 4.40 pm  | 14 min | 273698 | 273768  | 70 |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 09-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | 4.02 am  | 6 min | 8       | 3         | 0.25 am  | 14 min | 273768 | 273838  | 70 |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 10-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 11-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 12-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 13-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 14-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |
| 15-feb  | 1         | am       | min   |         | 1         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 2         | Pm       | min   |         | 2         | Pm       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 3         | am       | min   |         | 3         | am       | min    |        |         |    |          |               |
|   | 4         | pm       | min   |         | 4         | pm       | min    |        |         |    |          |               |

Fuente *Formatos de seguimiento Sedacaj S.A. Laboratorio de control de calidad*

ANEXO n.º 2. Manual de Procedimientos Operacionales Sedacaj

**EPS SEDACAJ S.A.**  
EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO DE CAJAMARCA SOCIEDAD ANONIMA

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS**

**OPERACIONALES**

**PLANTA DE TRATAMIENTO**

**DE AGUA POTABLE**

**EL MILAGRO**

Fuente *Plan de Control de Calidad 2015*

Anexo n° 3 Fragmento de Manual de Procedimientos Operacionales Sedacaj

- ✓ El sedimentador estará 20 minutos sin ingreso de agua floculada para que las partículas puedan sedimentar.
- ✓ Transcurrido el tiempo se tendrá que abrir las compuertas para que ingrese agua floculada al sedimentador y trabaje en forma normal.

**SALIDA DE FLOC A LAS CANALETAS DE AGUA SEDIMENTADA**

Las causas de que se empieza a manchar los sedimentadores son:

- ✓ Por una mala dosificación.
- ✓ Por un incremento brusco de aguas turbias.
- ✓ Por exceso en la dosificación de Cal.

Para ello el operador cuando se empiece a manchar el sedimentador primero por las canaletas de recolección se deberá hacer lo siguiente:

- ✓ Reducir su caudal de tratamiento dependiendo de la turbiedad de ingreso, si las turbiedades sobrepasa de 1000 UNT deberá trabajar con 100L/seg. Si es menor de 1000 UNT trabajara con 120 L/seg. y con turbiedades menores de 200 se trabajará con el caudal normal.
- ✓ Verificar que haya buena formación de floc en los floculadores.
- ✓ Verificar los parámetros del agua cruda de turbiedad y PPH, para ajustar las dosificaciones optimas de cal y sulfato de aluminio.

**UNIDAD DE FILTRACION**

**FUNCION DEL OPERADOR DE PLANTA -**

El operador tendrá las siguientes funciones:

- ✓ Verificar que las válvulas de salida de todos los filtros tengan el mismo numero de vueltas abiertas (válvulas color celeste).
- ✓ Verificar que cuando este trabajando el filtro, la válvula de desagüe (color anaranjado) y la de lavado (color verde) estén cerradas.
- ✓ Verificar que las válvulas de drenaje del falso fondo de los filtros estén completamente cerradas. Estas válvulas (color anaranjado) se ubican en la galería de tubos.
- ✓ Verificar que estén abiertas todas las válvulas que ingresan agua sedimentada.
- ✓ El Operador de turno tendrá que retirar las redes y material flotante de la superficie del filtro, si las hubiera.
- ✓ Controlar que el nivel de agua este 20 cm por encima de la viga que divide al filtro.
- ✓ Si este por debajo de la viga, deberá cerrar la válvula de color celeste ¼ de vuelta.
- ✓ Si este muy por encima de la viga, deberá abrir la válvula de color celeste ¼ de vuelta.
- ✓ Cualquier irregularidad, el operador de turno deberá informar de inmediato al Jefe de Planta, yó tomar las acciones correctivas del caso.

**LAVADO DE UN FILTRO-**

Para proceder al lavado del filtro deberá el operador realizar las siguientes acciones:

- ✓ Cerrar la compuerta de entrada de agua al filtro del canal de distribución de agua sedimentada.
- ✓ Esperar que la cisterna este con 3.00 m. de altura, si no llega a esta altura se deberá ir estrangulando, la válvula de salida de agua de la cisterna.
- ✓ Purgar la electro bomba y el apiab, esto se debe realizar antes de cada lavado.
- ✓ Encender un segundo y verificar el sentido de la electro bomba (sentido horario).
- ✓ Seguir filtrando hasta que el nivel de agua este por debajo de las canaletas de desagüe de los filtros. Para ello la cisterna ya debe estar por 3.20 m. de nivel de agua como máximo.
- ✓ Luego cerrar la válvula de agua filtrada (color celeste).
- ✓ Abrir la válvula de desagüe (color anaranjado), 16 vueltas.
- ✓ Abrir 6 vueltas la válvula de lavado del filtro (color verde).
- ✓ Purgar la electro bomba y el apiab que se encuentra en la parte superior de la tubería de lavado (color verde) que se encuentran en la galería de tubos.
- ✓ Se procede al encendido de la electro bomba, alternando las electro bombas en cada lavado.



## Anexo n° 4 Fragmento de Manual de Procedimientos Operacionales Sedacaj

- ✓ Verificar el amperaje y voltaje (60 Hertz y 220 Voltios respectivamente) en el panel de control correspondiente a las electro bombas de lavado de filtros.
- ✓ Luego se deberá ir abriendo lentamente la válvula de lavado del filtro (color verde), en uno a dos minutos.
- ✓ Durante el lavado se deberá rasquetear las paredes hasta llegar al lecho filtrante.
- ✓ En el momento del lavado o funcionamiento de las electro bombas, tener cuidado en algún ruido fuera de lo normal, y si se presenta algo fuera de lo normal apagar inmediatamente y usar la electro bomba alterna, y dar cuenta inmediatamente al jefe de Planta.
- ✓ El lavado terminará cuando el agua de lavado, salga limpia (aprox. menos de 10 UNT), con un aproximado de 6 a 8 minutos.

### MANTENIMIENTO DE UN FILTRO -

Para proceder al mantenimiento del filtro deberá el operador realizar las siguientes acciones :

- ✓ Este mantenimiento se realizará a entre las 8:00 a 9:00 horas, con el apoyo del personal de Captación .
- ✓ El operador deberá primero cerrar el ingreso de agua sedimentada al filtro que se realizará su mantenimiento respectivo.
- ✓ Seguir filtrando hasta que el nivel de agua este al nivel del lecho filtrante.
- ✓ Cerrar la válvula de agua filtrada (color celeste), y procederá a abrir la válvula de desagüe (color anaranjado).
- ✓ Proceder a sacar el lodo y el material flotante (palos, ramas y hojas) que se encuentra en la parte superficial del lecho filtrante.
- ✓ También tendrá que pintar las paredes del filtro con una solución de sulfato de cobre ( aprox. 1.5 Kg.), mezclar con cal (aprox. 3.5 Kg.), y a esto se le agregara agua ( 12 Litros).
- ✓ Dejar secar las paredes del filtro por unas tres horas, luego se tendrá que proceder al lavado para su puesta en marcha.
- ✓ Cuando se realice este mantenimiento, no se deberá ejecutar más de un filtro por día.

### PUESTA EN MARCHA DE UN FILTRO -

Para poner en marcha el filtro deberá el operador realizar las siguientes operaciones:

- ✓ Cerrar la válvula de desagüe (color anaranjado).
- ✓ Hacer ingresar agua filtrada por el falso fondo hasta un nivel aproximadamente de 0.50 m, sobre el lecho filtrante.
- ✓ Abrir la válvula de dren del falso fondo, un promedio de 1 minuto y luego cerrar lentamente.
- ✓ Cerrar la válvula de lavado (color verde) en caso que estuviera abierta.
- ✓ Verificar que el nivel de agua del lecho filtrante este por lo menos 0.50 m por encima del lecho filtrante para que al ingresar el agua sedimentada no ocasiona disturbio en las capas del lecho.
- ✓ En el caso de que no se cuente con la altura de 0.50 m, sobre el nivel del lecho filtrante, se tendrá que abrir la válvula de agua filtrada (color celeste), para levantar el nivel de agua del filtro.
- ✓ Abrir la compuerta de ingreso de agua sedimentada al filtro y Luego tendrá que abrir cuatro vueltas la válvula de agua filtrada (color celeste).


### SALA DE DESINFECCION

La desinfección del agua, se realiza mediante la aplicación de cloro gaseoso licuado en solución, la dosificación se efectúa en la cisterna de agua tratada.

El sistema de desinfección está constituido por:

- ✓ Un clorador de inyección al vacío.
- ✓ Dos electro bombas (bomba reguladora de presión)
- ✓ Contenedor de cloro de 2000 Libras (4 unidades)
- ✓ Balanza para el control de gasto
- ✓ Tacleo para transporte de cilindros de cloro
- ✓ Tuberias y accesorios para la conducción de la solución de cloro
- ✓ Medios de seguridad para la manipulación del cloro (mascaras, solución de hidróxido de amonio o amoníaco)

Anexo n° 5 Informe de Control Microbiológico, físico y químico a la salida de plantas de tratamiento



**FORMATO A4 - 004**  
EPS SEDACAJ S.A.

**INFORME DE CONTROL MICROBIOLÓGICO, FÍSICO Y QUÍMICO  
A LA SALIDA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO**

LOCALIDAD : 001 - CAJAMARCA

Página: 1  
Fecha: 05/03/2015  
Hora: 14:51:33

Periodo: 1-Enero-2014 A 31-Diciembre-2014


N° de Plantas de Tratamiento: 1      Poblacion Servida: NULL hab

| Componentes<br>Tipo                               | N° de Muestras Totales | LMP *    | % de Muestras sobre LMP | N° Plantas donde se excede LMP | Poblacion estimada donde se excede LMP | Valor de las muestras |           |           |
|---|------------------------|----------|-------------------------|--------------------------------|--|-----------------------|-----------|-----------|
|   |                        |          |                         |                                |  | Mínimo                | Promed    | Máximo    |
| Coliformes totales (T), NC/100 ml                 | 54                     | 0.000    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 0.00000               | 0.00000   | 0.00000   |
| Coliformes termotolerantes/locales (T), NC/100 ml | 54                     | 0.000    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 0.00000               | 0.00000   | 0.00000   |
| Bacterias Heterotóficas, UFC/ml                   | 12                     | 500.000  | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 1.00000               | 2.00000   | 4.00000   |
| Turbiedad, UNT                                    | 1455                   | 5.000    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 0.13000               | 0.39227   | 3.44000   |
| pH  | 1455                   | 8.500    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 6.50000               | 6.93933   | 7.46000   |
| Conductividad, µS/cm                              | 364                    | 1500.000 | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 207.00000             | 358.63736 | 556.00000 |
| Color U.C.V., Pt/Co                               | 12                     | 15.000   | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 1.00000               | 2.83333   | 6.00000   |
| Sulfatos, mg/L                                    | 12                     | 250.000  | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 75.00000              | 145.00000 | 191.00000 |
| Cloruros, mg/L                                    | 12                     | 250.000  | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 10.00000              | 21.06333  | 46.00000  |
| Dureza total, mg/L                                | 12                     | 500.000  | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 120.00000             | 158.50000 | 192.00000 |
| Aluminio, mg/L                                    | 371                    | 0.200    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00200              | 0.02850   | 0.09500   |
| Hierro, mg/L                                      | 13                     | 0.300    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00400              | 0.00530   | 0.03600   |
| Manganeso, mg/L                                   | 13                     | 0.400    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00100              | 0.02169   | 0.04500   |
| Cobre, mg/L                                       | 13                     | 2.000    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00300              | -0.00015  | 0.00300   |
| Zinc, mg/L  | 13                     | 3.000    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00100              | 0.00862   | 0.02200   |
| Sodio, mg/L                                       | 13                     | 200.000  | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 4.48200               | 8.28184   | 14.11000  |
| Nitratos, mg/L                                    | 12                     | 50.000   | 0.00                    | 0                              | 0                                      | 2.00000               | 7.16666   | 20.00000  |
| Amónico, mg/L                                     | 13                     | 0.010    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.01000              | -0.00384  | 0.00035   |
| Cadmio, mg/L                                      | 13                     | 0.003    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00100              | -0.00073  | 0.00100   |
| Cianuros, mg/L                                    | 13                     | 0.070    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00500              | -0.00461  | -0.00400  |
| Cromo total, mg/L                                 | 13                     | 0.050    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00200              | -0.00153  | -0.00100  |
| Mercurio, mg/L                                    | 13                     | 0.001    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00060              | -0.00019  | -0.00010  |
| Plomo, mg/L                                       | 13                     | 0.010    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00600              | -0.00338  | -0.00100  |
| Selenio, mg/L                                     | 8                      | 0.010    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.01000              | -0.00650  | -0.00200  |
| Boro, mg/L  | 7                      | 1.500    | 0.00                    | 0                              | 0                                      | -0.00800              | -0.00600  | -0.00100  |

\* LMP: Límites Máximo Permisibles referenciales según el Oficio Circular N° 577-2000/SUNASS-INF

Observaciones: (Referidas a los componentes donde el LMP es sobrepasado)

ELABORADO POR:



Nombre: \_\_\_\_\_  
CARGO: CONTROL DE CALIDAD  
EPS SEDACAJ S.A.  
Firma: \_\_\_\_\_

FECHA DE ELABORACION EN LA EPS

Fuente *Plan de Control de Calidad 2015*

Anexo n° 6 *Fotografía de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro”*



Fuente (*Portal Cajamarca Opina, 2019*)

Anexo n° 7 *Proceso de coagulación*



Fuente *Registro Fotográfico Propio*

Anexo n° 8 *Dosificación*



Fuente *Registro Fotográfico Propio*

Anexo n°9 *Proceso de Floculación*



Fuente *Registro Fotográfico Propio*

Anexo n°10 *Proceso de Decantación*



Fuente: *Registro Fotográfico Propio*

Anexo n°11 *Proceso de Filtración*



Fuente: *Registro Fotográfico Propio*



Anexo n°12 *Retrolavado de filtros*



Fuente: *Registro Fotográfico Propio*

Anexo n°13 *Ficha técnica de actuador eléctrico V. 2103*

| Referencia | Medida                   | Peso (Kg) | Caja/Cartón |
|------------|--------------------------|-----------|-------------|
| 5633 13 58 | V. 2103 5" C/ACT. GE010  | 15.75     | 1/1         |
| 5633 14 59 | V. 2103 6" C/ACT. GE015  | 0         | 1/1         |
| 5633 16 55 | V. 2103 8" C/ACT. GE025  | 31.9      | 1/1         |
| 5633 18 56 | V. 2103 10" C/ACT. GE035 | 39.5      | 1/1         |
| 5633 20 62 | V. 2103 12" C/ACT. GE050 | 0.001     | 1/1         |
| 5633 22 57 | V. 2103 14" C/ACT. GE080 | 0.001     | 1/1         |
| 5633 24 60 | V. 2103 16" C/ACT. GE110 | 0.001     | 1/1         |
| 5633 26 61 | V. 2103 18" C/ACT. GE210 | 0.001     | 1/1         |
| 5633 28 61 | V. 2103 20" C/ACT. GE210 | 226.5     | 1/1         |

Fuente: *Página Web* [www.genebre.es](http://www.genebre.es)

Anexo n°14 *Ficha técnica de actuador eléctrico V. 2103 con tiempo de operación*

| Datos Técnicos               |   |  |             | Technical Data               |     |  |       |                             |
|------------------------------|---|--|-------------|------------------------------|-----|--|-------|-----------------------------|
| Referencia<br>/<br>Reference | Par Max.<br>/<br>Torque<br>Max.<br>(Nm) | Conexión<br>(Doble Cuadrado)<br>/<br>Connection<br>(Double Square)<br>(mm) | ISO<br>5211 | Volante<br>/<br>Handwheel    |     | Tiempo<br>Operación /<br>Operation<br>Time<br>90° (Seg.) |       | Peso<br>/<br>Weight<br>(Kg) |
|                              |   |  |             | N°<br>Vueltas /<br>Turns 90° | Ø   | 50 Hz  | 60 Hz |                             |
| GE-010                       | 100                                     | 17   | F07         | 10                           | 106 | 21   | 18    | 7                           |
| GE-015                       | 160                                     | 17   | F07/F10     | 12                           | 160 | 26   | 22    | 13                          |
| GE-025                       | 240                                     | 22   | F07/F10     | 12                           | 160 | 26   | 22    | 13                          |
| GE-035                       | 350                                     | 27   | F10/F12     | 14                           | 180 | 31   | 26    | 18                          |
| GE-050                       | 500                                     | 27   | F10/F12     | 14                           | 180 | 31   | 26    | 18                          |
| GE-080                       | 800                                     | 27   | F12/F14     | 17                           | 220 | 39   | 32    | 23                          |
| GE-110                       | 1100                                    | 36   | F12/F14     | 17                           | 220 | 39   | 32    | 23                          |
| GE-150                       | 1500                                    | 36   | F16         | 65                           | 200 | 93   | 78    | 58                          |
| GE-210                       | 2000                                    | 36   | F16         | 70                           | 200 | 117  | 97    | 65                          |

Fuente: *Página Web* [www.genebre.es](http://www.genebre.es)