

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS

**“CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD Y EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DADO
AL AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA CIUDAD DE CELENDÍN –
CAJAMARCA”**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO HIDRÁULICO

Presentado por el Bachiller:

ALDO MILLER SALDAÑA MARÍN

Asesorado por:

DR. ING. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

Cajamarca - 2019.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a nuestro Señor, porque gracias a él he tenido el privilegio de llegar a ser quien soy, gracias por la salud, el amor, la felicidad, la paz, un hogar, los alimentos, por las personas maravillosas que me acompañan y han sido parte de mí día a día, ¡Gracias por todas sus bendiciones!

Agradezco infinitamente a mis padres porque reconozco el enorme sacrificio que han hecho para educarme con el anhelo de verme triunfar como un buen profesional. Muchas gracias por sus consejos, por su comprensión, por motivarme cuando me daba por vencido; y por enseñarme que todo se puede lograr con mucho esfuerzo, sin perder la humildad y los valores.

Gracias a mis hermanos y familiares por todo el apoyo que me brindaron siempre, por confiar en mí a pesar de mis tropiezos, siempre dándome la mano y alentándome a seguir avanzando como el profesional que aspiro ser.

Gracias a mi asesor de tesis Dr. Ing. Gaspar V. Méndez Cruz, por guiarme en este proceso de investigación, y a los ingenieros quienes me facilitaron con la información, los permisos y los equipos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada para mis paisanos shilicos y para el área de SEMACEL con la finalidad de que pueda servir como un antecedente, para modificar y optimizar el servicio de agua que se viene brindando hasta la fecha en la ciudad de Celendín.

Así también, dedico este trabajo a mis compañeros de la E.A.P de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de Cajamarca; con el ánimo de motivarlos a que sigan esforzándose y avanzando sin limitaciones en sus estudios profesionales. Haciéndoles recordar que lo único inalcanzable en esta vida es aquello de lo que no nos consideramos capaces de lograr.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
INDICE DE CONTENIDOS.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	7
2.2.1. CATEGORÍAS DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA	7
2.2.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	9
2.2.3. ANÁLISIS DE FLUJOS Y FACTORES QUE DETERMINAN LOS PERÍODOS DE RETENCIÓN.....	24
2.2.4. PÉRDIDA DE CARGA EN LECHO FILTRANTE.....	37
2.2.5. GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	41
2.2.6. CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LA CALIDAD.....	42
2.2.7. REQUISITOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO.....	43
2.3. TÉRMINOS BÁSICOS.....	47

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA.....	49
3.2. AREA DE ESTUDIO.....	52
3.3. PERIODO DE EVALUACIÓN.....	52
3.4. METODOLOGIA.....	53
3.4.1. ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA PRESENTE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	53
3.4.2. CAUDAL DE ENTRADA A LA PTAP.....	53
3.4.3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EN EL SEDIMENTADOR.....	53
3.4.4. PÉRDIDA DE CARGA EN LECHO FILTRANTE.....	54
3.4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	55
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
4.1. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA PRESENTE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	64
4.2. CÁLCULO DEL CAUDAL DE INGRESO AL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	67
4.3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA DE COAGULACIÓN.....	69
4.4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SEDIMENTADOR.....	71
4.5. PÉRDIDA DE CARGA EN LECHO FILTRANTE.....	77
4.6. CLORO RESIDUAL EN PUNTOS ESTRATÉGICOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	80
4.7. AUMENTO DE USUARIOS BENEFICIADOS POR EL SERVICIO.....	81
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82

5.1. CONCLUSIONES.....82

5.2. RECOMENDACIONES.....83

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....85

ANEXOS.....87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de Turbiedad presente en la Planta de Tratamiento La Quesera, Sucre Celendín, 2016 - 2017.....	4
Tabla 2: Valores de Coliformes Termotolerantes presente en la Planta de Tratamiento La Quesera, Sucre Celendín, 2016 - 2017.....	4
Tabla 3: Variables del proceso que afectan la eficiencia de la Filtración Lenta.....	5
Tabla 4: Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1: Poblacional, “Subcategoría A”	8
Tabla 5: Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa.....	11
Tabla 6: Límites de calidad del agua para plantas de filtración directa.....	12
Tabla 7: Otros parámetros de calidad importantes para la filtración directa.....	12
Tabla 8: Límites de calidad del agua para tratamiento mediante filtración lenta.....	13
Tabla 9: Velocidad de filtración de acuerdo al número de procesos preliminares.....	16
Tabla 10: Relación del peso específico y la viscosidad del agua, para diferentes temperaturas.....	19
Tabla 11: Coeficiente de esfericidad para partículas no esféricas.....	40
Tabla 12: Clasificación de los suelos según el tamaño de Partículas – Norma ASTM D422.....	40
Tabla 13: Límites Máximos Permisibles de parámetros Microbiológicos y Parasitológicos.....	44
Tabla 14: Límites Máximos Permisibles de parámetros de Calidad Organoléptica.....	45
Tabla 15: Límites Máximos Permisibles de parámetros Químicos: Inorgánicos y Orgánicos.....	45
Tabla 16: Periodo seco y período húmedo de monitoreo, Sucre - Celendín (MEDINA CHAVEZ, 2018.....	52
Tabla 17: Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico del Reservorio de Celendín.....	65

Tabla 18: Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico de la Fuente La Quesera.....	65
Tabla 19: Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico de la Fuente Molino Pampa.....	66
Tabla 20: Datos obtenidos de la prueba de trazadores para determinación del caudal...	67
Tabla 21: Datos procesados para determinación de caudal de ingreso.....	68
Tabla 22: Valores de turbiedad presente en el sedimentador.....	71
Tabla 23: Características del sedimentador.....	72
Tabla 24: Datos registrados de la prueba de trazadores para determinación de las características hidráulicas en el Sedimentador.....	72
Tabla 25: Prueba de trazador en el sedimentador.....	74
Tabla 26: Resultados del análisis de la curva de concentración de trazador en el efluente del Sedimentador.....	77
Tabla 27: Valores de turbiedad presente en el filtro lento.....	77
Tabla 28: Características del Filtro lento.....	78
Tabla 29: Dimensiones de cámara efluente de filtro lento.....	78
Tabla 30: Datos obtenidos en la práctica de granulometría del material filtrante.....	79
Tabla 31: Cloro residual en el sistema de distribución.....	81
Tabla 32: Crecimiento anual de usuarios del servicio de Agua Potable en la ciudad de Celendín.....	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de Resalto Hidráulico.....	18
Figura 2: Vertedero Rectangular.....	19
Figura 3: Comportamiento de las fracciones de cloro respecto a variaciones de Ph.....	24
Figura 4: Reactor de flujo mezclado.....	27
Figura 5: Variación de la concentración VS tiempo de retención.....	28
Figura 6: Curva de $1 - F(t)$, cantidad de trazador que permanece en el reactor.....	31
Figura 7: Concentración del trazador en el efluente de un reactor.....	32
Figura 8: Índice de Morril.....	34
Figura 9: Pérdida de carga versus profundidad del lecho.....	37
Figura 10: Proporciones existentes en una muestra de suelo.....	41
Figura 11: Ubicación política de la provincia de Celendín.....	49
Figura 12: Ubicación política del sistema de tratamiento de agua potable para la ciudad de Celendín.....	51
Figura 13: Captación la Quesera: manantial, canal de derivación y cribado.....	56
Figura 14: Captación la Quesera: detalle de cámara de entrada.....	56
Figura 15: Captación la Quesera: compuerta de regulación y dispositivo para mezcla rápida.....	57
Figura 16: Sedimentador de flujo horizontal.....	57
Figura 17: Sedimentador de flujo horizontal – Vista en Planta.....	58
Figura 18: Sedimentador de flujo horizontal – Vista de perfil.....	58
Figura 19: Sedimentador de flujo horizontal – Detalle de pantalla con orificios.....	59
Figura 20: PTAP de filtración lenta.....	59
Figura 21: Filtro lento – Vista perfil.....	60
Figura 22: Afluente de filtro lento.....	60

Figura 23: Ubicación de cámara cisterna en PTAP.....	61
Figura 24: Cámara cisterna.....	61
Figura 25: Sistema de cloración en la PTAP.....	62
Figura 26: Captación de Molino Pampa.....	63
Figura 27: Reservorio de abastecimiento de la ciudad de Celendín.....	63
Figura 28: Sistema de cloración en reservorio.....	64
Figura 29: Variación de la conductividad con respecto al tiempo para la determinación del caudal.....	69
Figura 30: Mezcla Rápida – Vista en Planta.....	70
Figura 31: Mezcla Rápida – Vista de Perfil.....	70
Figura 32: Curva de cantidad de trazador que permanece en el reactor.....	75
Figura 33: Variación de conductividad con respecto al tiempo.....	76
Figura 34: Curva granulométrica del material de lecho filtrante.....	79

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar la calidad del agua presente en el sistema de abastecimiento para consumo doméstico de la ciudad de Celendín y evaluar la eficiencia de los procesos involucrados en su tratamiento; con la finalidad de verificar si el tratamiento que se viene desarrollando es el apropiado o necesita ser optimizado, reemplazado o complementado con otro u otros procesos. Es por ello que se consideró como área de estudio a todo el sistema de abastecimiento de agua para consumo doméstico de la ciudad de Celendín, involucrando a dos fuentes diferentes de agua, la primera captada de un manantial de fondo, aportando un caudal aproximado de 25 l/s y recibiendo tan solo un tratamiento de desinfección debido a su excelente calidad; mientras la segunda captada de un manantial de ladera, aportando un caudal aproximado de 30 l/s, y recibiendo un tratamiento fisicoquímico (coagulación, sedimentación, filtración lenta y pre desinfección). El periodo de evaluación para tal fin abarcó las dos estaciones más resaltantes de la región: periodo de lluvias y periodo seco, durante los meses de abril, mayo, junio y julio. En lo que concierne a la caracterización, fue necesario realizar análisis de laboratorio en los que se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con los cuales evaluamos según los ECA y los LMP la calidad de agua ofertada por las fuentes y el reservorio respectivamente. Así también se estimó la eficiencia de las estructuras que involucra el tratamiento dado al agua captada en La Quesera (captación de ladera), concluyendo con la medición de cloro residual que fue determinado en el reservorio y puntos estratégicos de la red de distribución. Entre la metodología más resaltante encontramos la propuesta por D. Wolf y W. Resnick para el análisis del tiempo de retención real y tipo de flujo presente en la estructura del sedimentador; mientras que, en lo que corresponde a los filtros lentos se logró determinar la pérdida de carga inicial provocada por el lecho filtrante, apoyados de la metodología de G.M. Fair y L.P. Hatch. Nuestros resultados indicaron en lo que refiere a la calidad de agua ofertada por las fuentes, como tipo A1 el agua ofertada por la captación de fondo y de tipo A2 el agua ofertada por la captación de ladera. En lo que concierne a la eficiencia de remoción de turbiedad para el sedimentador y filtros lentos se obtuvo un promedio de 9.67% y 77.61% respectivamente. Así también, las características hidráulicas presentes en el sedimentador fueron: tiempo de retención teórico de 167.37 min, tiempo de retención real de 107.82 min, flujo pistón 77.36 %, flujo mezclado 22.64% y 28.91% de zonas muertas; por su parte en los filtros lentos, obtuvimos una pérdida de carga inicial de 0.379 m con una tasa de filtración de 10 l/s y un espesor de lecho filtrante de 0.265 m.

PALABRAS CLAVE: Caracterización, eficiencia, tiempo de retención, pérdida de carga, afluente, efluente, flujo pistón, flujo mezclado, zonas muertas, cortocircuito hidráulico.

ABSTRACT

The purpose of this research was to characterize the quality of the water present in the supply system for domestic consumption in the city of Celendín and evaluate the efficiency of the processes involved in its treatment; in order to verify if the treatment that is being developed is appropriate or needs to be optimized, replaced or supplemented with other or other processes. That is why the entire water supply system for domestic consumption of the city of Celendín was considered as a study area, involving two different sources of water, the first captured from a bottom spring, providing an approximate flow of 25 l/s and receiving only a disinfection treatment due to its excellent quality; while the second one captured from a hillside spring, providing an approximate flow of 30 l/s, and receiving a physicochemical treatment (coagulation, sedimentation, slow filtration and pre-disinfection). The evaluation period for this purpose covered the two most prominent seasons in the region: rainy season and dry period, during the months of April, May, June and July. Regarding the characterization, it was necessary to carry out laboratory analyzes in which physicochemical and microbiological parameters were determined, with which we evaluated according to the ECA and the LMP the quality of water offered by the sources and the reservoir respectively. Thus, the efficiency of the structures involved in the treatment given to the water collected in La Quesera (hillside collection) was estimated, concluding with the measurement of residual chlorine that was determined in the reservoir and strategic points of the distribution network. Among the most outstanding methodology are the proposal by D. Wolf and W. Resnick for the analysis of the actual retention time and type of flow present in the structure of the settler; while, in what corresponds to the slow filters it was possible to determine the initial head loss caused by the filter bed, supported by the G.M. Fair and L.P. Hatch Our results indicated in terms of the quality of water offered by the sources, as type A1 the water offered by the fund collection and type A2 the water offered by the hillside catchment. Regarding the turbidity removal efficiency for the settler and slow filters, an average of 9.67% and 77.61% respectively were obtained. Also, the hydraulic characteristics present in the settler were: theoretical retention time of 167.37 min, actual retention time of 107.82 min, piston flow 77.36%, mixed flow 22.64% and 28.91% of dead zones; on the other hand, in the slow filters, we obtained an initial head loss of 0.379 m with a filtration rate of 10 l/s and a filter bed thickness of 0.265 m.

KEY WORDS: Characterization, efficiency, retention time, head loss, tributary, effluent, piston flow, mixed flow, dead zones, hydraulic short circuit.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Se estima que en el Perú de un total de 32 millones 718 mil 896 habitantes, el 86,1 % acceden a agua por red pública (67.1% agua potable, el 19.0% agua no potable) y el 13.9% consumen agua no potable proveniente de río, manantial, lluvia, camión cisterna o pilón de uso público. Es decir, existen 10 millones 764 mil 517 habitantes (32,9%) que consumen agua no potable (Formas de acceso al agua y saneamiento básico en el Perú, Síntesis Estadística, INEI - 2017)

Cajamarca, considerada actualmente como la región más pobre y con un alto índice de desnutrición infantil, presenta un 70.2% de habitantes que cuentan con acceso a agua por red pública, sin embargo, sólo el 24.6% de la población cuenta con agua potable. Esto se debe a que son muchas las poblaciones que no cuentan con una entidad encargada de administrar y brindar de forma eficiente el servicio básico del agua potable, y lamentablemente son los municipios quienes desarrollan dichas funciones, descuidando muchas veces la importancia que merece este servicio, debido a la falta de concientización, falta de profesionalismo y/o asesoramiento técnico, o por decisiones políticas adversas.

El servicio de agua potable brindado en la ciudad de Celendín se encuentra administrado por la Municipalidad a través del área de SEMACEL (Servicio Municipal de Agua y Saneamiento). En la actualidad cuenta con dos fuentes de abastecimiento: la primera captada de un manantial de fondo, ubicada en el distrito de Molino Pampa (aportando un promedio de 25 l/s); mientras que la segunda es captada de un manantial de ladera denominada “La Quesera”, ubicada en el distrito de Sucre (aportando un promedio de 30 l/s). El agua captada de la fuente la Quesera recibe un tratamiento fisicoquímico conformado por una fase de sedimentación, una fase de coagulación, una fase de filtración y una fase de pre-desinfección; mientras que el agua captada de la fuente de Molino Pampa es trasladada directamente hacia el reservorio ubicado en la ciudad de Celendín, donde se reúne con el agua tratada proveniente de la Quesera y reciben un tratamiento final de desinfección.

Sin embargo, dicho tratamiento se viene desarrollando sin mejora o variación alguna desde el año 2015, originando desconcierto e inconformidad en los usuarios con respecto a la calidad del agua que se brinda, debido a que en épocas de intensas precipitaciones el agua llega a los domicilios con un elevado índice de turbidez y en otras ocasiones con una alta concentración de cloro. Sumado a estas incomodidades, la población se ha visto afectada por diversas enfermedades producidas por la ingesta de este líquido vital, entre las más comunes se encuentran: diarreas por E. Coli o Giardia L., infección por Helicobacter pylori, EDAS, entre otras.

Actualmente el servicio de agua potable en la ciudad de Celendín beneficia a 5916 viviendas (aproximadamente 23664 habitantes). Debido al crecimiento poblacional y la migración existente desde las zonas rurales hacia la ciudad, es que el número de viviendas

beneficiarias va en aumento, obligando a que la demanda por el servicio sea cada vez mayor y generando la necesidad de planificar una mejora al tratamiento del agua, es por ello que se plantea la siguiente interrogante:

¿Se conoce las causas que perjudican el tratamiento de las aguas que abastecen el consumo doméstico en la ciudad de Celendín?

Conocedores de la realidad que afrontan los consumidores del servicio en mención, es que suponemos que el tratamiento por el cual atraviesa el agua cruda de diferentes fuentes no es el apropiado o requiere ser optimizado y/o complementado con otros procesos.

Por tales motivos es que la presente investigación tuvo como propósito determinar la eficiencia de los procesos que involucra el sistema de tratamiento de agua para consumo doméstico de la ciudad de Celendín, e identificar las causas que la perjudican; con la finalidad de plantear propuestas para su optimización.

El presente estudio consideró la caracterización de las aguas en el sistema de tratamiento, tomando muestras representativas en puntos estratégicos de las estructuras que conforman (captaciones, sedimentador, filtro lento y reservorio), las cuales fueron evaluadas por el laboratorio de control de SEDACAJ.

Posterior a ello se analizó las características hidráulicas que presentan: el sistema de mezcla rápida, el sedimentador y los filtros lentos, comparando dichos valores con los establecidos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en la norma OS. 020 Plata de Tratamiento de Agua para Consumo Humano.

Dentro de dichos análisis destacan: la determinación del tiempo de retención real y el tipo de flujo que presenta el sedimentador, el gradiente de velocidad y tiempo de retención generado por el sistema de coagulación, y la pérdida de carga inicial (pérdida de carga debido al lecho filtrante) presente en los filtros lentos.

Sin embargo, no fuimos ajenos a algunas limitaciones que se presentaron en el desarrollo de nuestro estudio, las que fueron:

- El periodo de monitoreo de calidad de agua solo considero 3 muestreos entre los meses de abril y junio del 2019.
- No se pudo determinar el caudal proveniente de la Captación de fondo, debido a que no se contó con los permisos necesarios para poder aplicar algún método de aforo (La obra concerniente a la captación aún no ha sido entregada al municipio).
- En lo que corresponde a la toma de muestras del material filtrante (arena) de los filtros lentos, no se pudo muestrear un volumen considerable de cada filtro debido a que la PTAP se encuentra a la fecha en déficit de dicho componente.

En cuanto al objetivo principal por el cual se desarrolló la presente investigación, tuvo la finalidad de:

- Caracterizar la calidad del agua presente en el sistema de abastecimiento para consumo doméstico de la ciudad de Celendín y evaluar la eficiencia de los procesos involucrados en su tratamiento

Los contenidos desarrollados se detallan a continuación:

- Capítulo I: Introducción, en el que se describe el problema que dio lugar a la presente investigación, así como también el área de influencia, las limitaciones y los objetivos a los que se pretende llegar con la finalidad de contrarrestar el problema en mención.
- Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo encontramos los antecedentes que sirvieron de referencia para el planteamiento del problema, bases teóricas y definiciones básicas.
- Capítulo III: Materiales y Métodos, en el cual se detalla el área de estudio, la descripción del sistema a evaluar y el procedimiento de la investigación.
- Capítulo IV: Análisis y Discusión de resultados, en este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de la evaluación en campo, presentando figuras, tablas, para después compararlos con los valores estipulados por la normativa vigente.
- Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones, después del análisis correspondiente, finalmente se presentan las conclusiones en orden a los objetivos específicos y las Recomendaciones de acuerdo al propósito de la investigación.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

- Medina Chávez, A (2018) realizó un estudio sobre Calidad del Agua en Función de Turbidez y Coliformes en la Planta de Tratamiento La Quesera, Sucre, Celendín, donde se tomaron muestras representativas para su posterior análisis en cinco puntos estratégicos (P1: al ingreso de la PTAP, P2: en el efluente de los filtros, P3: después del proceso de desinfección, P4: en la llegada al reservorio, P5: en la red de distribución). El muestreo fue mensual desde el mes de diciembre del año 2016 hasta el mes de noviembre del 2017, obteniendo:

Tabla 1: Valores de Turbiedad presente en la Planta de Tratamiento La Quesera, Sucre Celendín, 2016 - 2017

RESULTADOS DEL PARÁMETRO TURBIEDAD (UNT)					
PUNTO	Mínimo	Máximo	Media	Des.Standar	Asimetría
P1	0.77	20.82	4.58	5.70	2.39
P2	0.09	6.55	0.93	1.82	3.18
P3	0.10	0.80	0.39	0.19	0.58
P4	0.10	2.49	0.65	0.71	2.05
P5	0.00	1.50	0.41	0.38	2.42

Tabla 2: Valores de Coliformes Termotolerantes presente en la Planta de Tratamiento La Quesera, Sucre Celendín, 2016 - 2017

RESULTADOS DEL PARÁMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES NMP/100mL					
PUNTO	Mínimo	Máximo	Media	Des.Standar	Asimetría
P1	1.00	920.00	106.85	260.57	3.27
P2	1.00	23.00	6.74	8.33	1.00
P3	1.00	12.00	2.07	3.14	3.40
P4	1.00	23.00	2.98	6.31	3.45
P5	1.00	1.80	1.15	0.31	1.98

Los resultados promedio fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental ECA-DS N°004-2017-MINAM a la entrada de la planta y en los otros puntos con los LMP según el DS-N°031-2010-SA DIGESA, llegándose a demostrar que la calidad del agua en los dos parámetros evaluados cumple con las normas peruanas anteriormente citadas.

- Cánepa de Vargas, L. (1992) por su parte, publicó un estudio basado en la “Filtración Lenta como Proceso de Desinfección”, donde tiene como principal objetivo analizar el comportamiento de los mecanismos físicos y biológicos responsables de la eficiencia de la filtración lenta para establecer su diferencia con el filtro rápido.

Dicho estudio calificó a los filtros rápidos como un mecanismo fisicoquímico que acumula el lodo en los intersticios del medio filtrante, el cual es arrojado nuevamente al ambiente (conjuntamente con los microorganismos) durante el proceso de lavado.

En cambio, el filtro lento, a través de mecanismos físicos y biológicos destruye los microorganismos, lo que constituye una tecnología limpia a través de la cual es posible purificar el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente.

Así también identificó los principales factores que modifican la eficiencia del filtro lento:

Tabla 3: Variables del proceso que afectan la eficiencia de la Filtración Lenta

Clasificación	Variables
Condiciones de diseño	<ul style="list-style-type: none"> - Tasa de velocidad - Tamaño de la arena (diámetro efectivo d10 y coeficiente de uniformidad Cu. - Pérdida de carga permitida - Profundidad del lecho de arena (máxima y mínima)
Parámetros de operación	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia de raspados - Tiempo en que el filtro está fuera de operación después del raspado - Mínima altura del lecho permitida - Tiempo de maduración del filtro - Variaciones de flujo - Edad y tipo del schmutzdecke
Condiciones ambientales del agua cruda	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura del agua - Calidad del agua cruda - Clase de microorganismos presentes - Concentración de microorganismos - Tipo y concentración de algas - Magnitud y tipo de turbiedad - Concentración y tipo de nutrientes.

○ COMPORTAMIENTO DEL FILTRO LENTO (Huisman & Wood, 1974)

La filtración biológica (o filtración lenta) se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen a la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza. Los procesos que se desarrollan en un filtro lento se complementan entre sí, actuando en forma simultánea, para mejorar las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua tratada.

El agua cruda que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante de tres a doce horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En este tiempo, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las partículas más ligeras se pueden aglutinar, llegando a ser más fácil su remoción posterior. Durante el día y bajo la influencia de la luz del sol se produce el crecimiento de algas, las cuales absorben bióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua para formar material celular y oxígeno. El oxígeno así formado se disuelve en el agua y entra en reacción química con las impurezas orgánicas, haciendo que éstas sean más asimilables por los microorganismos.

En la superficie del medio filtrante se forma una capa, principalmente de material de origen orgánico, conocida con el nombre de schmutzdecke o “piel de filtro”, a través de la cual tiene que pasar el agua, antes de llegar al propio medio filtrante. El schmutzdecke está formado principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, tales como plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Las algas muertas, así como las bacterias vivas del agua cruda son también consumidas en este proceso.

Habiendo pasado el agua a través del schmutzdecke, entra al lecho filtrante y es forzada a atravesarlo en un proceso que normalmente toma varias horas, desarrollándose un proceso físico de cernido que constituye una parte del proceso total de purificación. Una de las propiedades más importantes del manto filtrante es la adherencia, fenómeno resultante de la acción de fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas. Para apreciar la magnitud e importancia de este fenómeno, es necesario visualizar que un metro cúbico de arena con las características usuales para filtros lentos tiene una superficie de granos de cerca de 15,000 m². Cuando el agua pasa entre los granos de arena con un flujo laminar (el cual cambia constantemente de dirección) se facilita la acción de las fuerzas centrífugas sobre las partículas y la adherencia a la superficie de los granos de arena. En los poros o espacios vacíos del medio filtrante (los cuales constituyen aproximadamente el 40% del volumen) se desarrolla un proceso activo de sedimentación, fenómeno que se incrementa apreciablemente por la acción de fuerzas electrostáticas y de atracción de masas.

Por lo general, el efluente obtenido tiene bajo contenido de oxígeno disuelto y alto contenido de bióxido de carbono, pero con un proceso de aireación posterior se pueden mejorar ambas características. Como el rendimiento del filtro lento depende principalmente del proceso biológico, mientras la capa biológica se desarrolla, la eficiencia es baja, mejorando a medida que progresa la carrera de filtración, proceso que se conoce con el nombre de “maduración del filtro”.

2.2. BASES TEÓRICAS

El numeral 31.1 del artículo 31 de la ley N°28611, Ley General del Ambiente, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (D.S. N°004-2017-MINAM).

2.2.1. CATEGORÍAS DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

Para la aplicación de los ECA para agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

a) **Subcategoría A:** Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- **A1:** Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- **A2:** Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes, incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- **A3:** Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado. Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

Tabla 4: Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1: Poblacional, Subcategoría A

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	μS/cm	1500	1600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Nitratos (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco – N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (Valor mínimo)	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4
PH	Unidad de PH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGANICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xileno	mg/L	0,5	0,5	**
CIANOTOXINAS				
Microcistina - LR	mg/L	0,001	0,001	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2000	20000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estados evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	$< 5 \times 10^{-6}$	$< 5 \times 10^{-6}$

ANEXO – DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

2.2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

El objetivo del tratamiento es la remoción de los contaminantes físicoquímicos y microbiológicos del agua destinada para el consumo humano hasta los límites establecidos en las NORMAS NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA vigentes en el país_(NORMA OS.020, 2006).

2.2.2.1. Tipos de planta a considerar

- ❖ Dependiendo de las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas como meta del efluente de la planta, se considerará:
 - Para la eliminación de partículas por medios físicos, pueden emplearse todas o algunas de las siguientes unidades de tratamiento:
 - a. Desarenadores
 - b. Sedimentadores
 - c. Prefiltros de grava
 - d. Filtros lentos
 - Para la eliminación de partículas mediante tratamiento fisicoquímico, pueden emplearse todas o algunas de las siguientes unidades de tratamiento:
 - a. Desarenadores
 - b. Mezcladores
 - c. Floculadores o acondicionadores del floculo
 - d. Decantadores
 - e. Filtros rápidos
 - Con cualquier tipo de tratamiento deberá considerarse la desinfección de las aguas como proceso terminal (NORMA OS.020, 2006).

- ❖ Por su parte el CEPIS clasifica a las plantas de tratamiento de agua, de acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta; así como también, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o patente (Cánepa de Vargas, 2006).

A. Plantas de filtración rápida

Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/(m².día), de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones.

Como consecuencia de las altas velocidades con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación, se aplica el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos para descolmatar el medio filtrante.

i. Plantas de Filtración rápida completa

Normalmente integradas por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. El proceso de coagulación se realiza en dos etapas: una fuerte agitación del agua para obtener una dispersión instantánea de la sustancia coagulante en toda la masa del agua (mezcla rápida) seguida de una agitación lenta

para promover la rápida aglomeración y crecimiento del floculo (etapa de floculación).

La coagulación tiene la finalidad de mejorar la eficiencia de remoción de partículas coloidales en el proceso de decantación (sedimentación de partículas floculentas). El proceso final de filtración desempeña una labor de acabado final para el agua.

La turbiedad del efluente debe ser menor o igual a 0.10 UNT, por lo que será necesario que los decantadores produzcan un agua con 2 UNT como máximo.

Tabla 5: Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa

Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Turbiedad (UNT)	< 1.000	<800	<1.500: si excede, considerar presedimentación
Color (UC)	<150	<70	
NMP de coliformes termotolerantes/100 ml	<600		Si excede de 600, se debe considerar predesinfección.

ii. Filtración directa

Es una alternativa a la filtración rápida, constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras.

Cuando la fuente de abastecimiento es confiable, caso de una cuenca virgen o bien protegida, en la que la turbiedad del agua no supera de 10 a 20 UNT el 80% del tiempo, y no supera 30 UNT ni 25 UC el 90% del tiempo, puede considerarse la alternativa de emplear filtración directa descendente.

Cuando el agua viene directamente del río y aunque clara la mayor parte del año, presenta frecuentes fluctuaciones de turbiedad, normalmente se considera una floculación corta, generalmente de no más de 6 a 8 minutos, para obtener un efluente de calidad constante, aunque con carreras de filtración más cortas.

En el caso de aguas que el 90% del tiempo no sobrepasan los 100 UNT y las 60 UC y alcanzan esporádicamente hasta 200 UNT y 100 UC, podrían ser tratadas mediante filtración directa ascendente.

La tercera alternativa disponible para aguas relativamente claras es la filtración directa ascendente-descendente. Esta alternativa es aplicable a aguas que el 90% del tiempo no sobrepasan las 250 UNT ni las 60 UC, y alcanzan esporádicamente más de 400 UNT y 100 UC.

Tabla 6: Límites de calidad del agua para plantas de filtración directa

Alternativa	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtración directa descendente	Turbiedad (UNT)	25 - 30	< 20	< 50
	Color verdadero (UC)	< 25		
	NMP de coliformes totales/100 ml	< 2.500		
	Concentración de algas (unidades/ml)	< 200		
Filtración directa ascendente	Turbiedad (UNT)	< 100	< 50	< 200
	Color (UC)	< 60		< 100
Filtración directa ascendente - descendente	Turbiedad (UNT)	< 250	< 150	< 400
	Color (UC)	< 60		< 100

Tabla 7: Otros parámetros de calidad importantes para la filtración directa

Parámetros	Valores recomendables
Sólidos suspendidos (mg/L)	< 50
Carbono orgánico total (mg/L)	< 5
PH	5.5 – 6.5
Fósforo total (mg/L)	< 0.05
Nitrógeno Total (mg/L)	< 5
Clorofila (µg/L)	< 10
Coliformes totales (colif/100)	< 2.500
Hierro (mg/L)	10
Manganeso (mg/L)	2

B. Plantas de Filtración lenta

Los filtros lentos operan con tasas que varían entre 0.10 y 0.30 m/h; esto es, con tasas como 100 veces menores que las tasas promedio empleadas en los filtros rápidos.

Una planta de filtración lenta puede estar constituida solo por filtros lentos, pero dependiendo de la calidad del agua, puede comprender los procesos de desarenado, pre-sedimentación, sedimentación, filtración gruesa o filtración en grava y filtración lenta.

Los procesos previos al filtro lento tienen la función de acondicionar la calidad del agua cruda a los límites aceptables por el filtro lento. Con el tren de procesos indicados se puede remover hasta 500 UNT, teniendo en cuenta que el contenido del material coloidal no debe ser mayor de 50 UNT; es decir, que la mayor parte de las partículas deben estar en suspensión para que sean removidas mediante métodos físicos.

Tabla 8: Límites de calidad del agua para tratamiento mediante filtración lenta

Procesos	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtro lento	Turbiedad (UNT)	< 20	< 10	< 50
	Color verdadero (UC)	< 15	< 5	
	Concentración de algas (UPA/ml)	250		
	DBO5 (mg/L)	5		
	NMP de coliformes totales/100 ml	1.000		
	NMP de coliformes fecales/100 ml	500		
Filtro lento + prefiltro de grava	Turbiedad (UNT)	25		
	Color verdadero (UC)	15	< 5	< 25
	Concentración de algas (UPA/ml)	1.000		
	NMP de coliformes totales/100 ml	5.000		
	NMP de coliformes fecales/100 ml	1.000		
Filtro lento + prefiltro de grava + sedimentador	Turbiedad (UNT)	100	< 50	< 500
	Color verdadero (UC)	< 15	< 5	< 25
	Concentración de algas (UPA/ml)	1.000		
	NMP de coliformes totales/100 ml	10.000		
	NMP de coliformes fecales/100 ml	3.000		
Filtro lento + prefiltro de grava + sedimentador + presedimentador	Turbiedad (UNT)	100	< 50	< 1.000
	Color verdadero (UC)	15	< 5	< 25
	Concentración de algas (UPA/ml)	1.000		
	NMP de coliformes totales/100 ml	10.000		
	NMP de coliformes fecales/100 ml	3.000		

2.2.2.2. UNIDADES DE TRATAMIENTO

A. PRE-SEDIMENTADORES (NORMA OS.020, 2006)

Criterios de diseño

- a) Este tipo de unidades deben ser consideradas en el diseño de una planta cuando es posible obtener remociones de turbiedad de por lo menos 50%, o cuando la turbiedad de la fuente supera las 1500 UNT.

- b) El tiempo de retención debe definirse en función de una prueba de sedimentación. Normalmente el tiempo en el cual se obtiene la máxima eficiencia varía de 1 a 2 horas.
- c) En el dimensionamiento de la unidad se emplearán los criterios indicados para unidades de sedimentación sin coagulación previa que se verá a continuación.

B. SEDIMENTADORES SIN COAGULACIÓN PREVIA (NORMA OS.020, 2006)

Criterios de diseño

- a) Las partículas en suspensión de tamaño superior a 1 μm deben ser eliminadas en un porcentaje de 60%.
- b) La turbiedad máxima del efluente debe ser 50 UNT y preferiblemente de 20 UNT.
- c) El período de retención debe calcularse en el ensayo de simulación del proceso y deberá considerarse un valor mínimo de 2 horas.
- d) La velocidad horizontal debe ser menor o igual a 0,55 cm/s. Este valor no debe superar la velocidad mínima de arrastre.
- e) La razón entre la velocidad horizontal del agua y la velocidad de sedimentación de las partículas deberá estar en el rango de 5 a 20.
- f) La profundidad de los tanques, varía de 1.5 a 3.0 m.
- g) La estructura de entrada debe comprender un vertedero a todo lo ancho de la unidad y una pantalla o cortina perforada (ver condiciones en Sedimentación con coagulación previa).
- h) La estructura de salida deberá reunir las condiciones indicadas en el ítem (2.2.2.2 – E).
- i) La longitud del tanque deberá ser de 2 a 5 veces su ancho en el caso de sedimentadores de flujo horizontal.
- j) El fondo del tanque debe tener una pendiente no menor de 3%.

C. FILTROS LENTOS DE ARENA (NORMA OS.020, 2006)

REQUISITOS GENERALES

- 1) La turbiedad del agua cruda, sedimentada o pre-filtrada del afluente deberá ser inferior a 50 UNT, se podrán aceptar picos de turbiedad no mayores de 100 UNT por pocas horas (no más de 4 horas).
- 2) Cuando la calidad de la fuente exceda los límites de turbiedad indicados en el ítem anterior y siempre que ésta se encuentre en suspensión, se deberá efectuar un tratamiento preliminar mediante sedimentación simple y/o pre-filtración en grava, de acuerdo a los resultados del estudio de tratabilidad.
- 3) El valor máximo de color debe ser de 30 unidades de la escala platino/cobalto.
- 4) El filtro lento debe proyectarse para operar las 24 horas en forma continua, para que pueda mantener su eficiencia de remoción de microorganismos. La

operación intermitente debilita al zooplancton responsable del mecanismo biológico debido a la falta de nutrientes para su alimentación.

- 5) La tasa de filtración debe estar comprendida entre 2 y 8 m³/(m².día).
 - a) Cuando el único proceso considerado sea el filtro lento, se adoptarán velocidades de 2 a 3 m³/(m².día).
 - b) Cuando las aguas procedan de lagunas, embalses o se esté considerando tratamiento preliminar, se podrán emplear tasas de hasta 5 a 8 m³/(m².día). El límite máximo sólo deberá admitir cuando se puedan garantizar excelentes condiciones de operación y mantenimiento.
- 6) Se debe tener un mínimo de dos unidades, las que deberán estar interconectadas a través de la estructura de salida para que se pueda llenar de forma ascendente, después de cada operación de limpieza, por el filtro colindante en operación.
- 7) La estructura de entrada a la unidad debe considerar:
 - a) Instalaciones para medir y regular el caudal en forma sencilla, mediante vertedero triangular o rectangular, antecedido de una válvula o compuerta, para regular el flujo de ingreso y un aliviadero para eliminar excesos.
 - b) Un canal que distribuya equitativamente el caudal a todas las unidades.
 - c) Compuertas o válvulas para aislar las unidades.

8) Lecho Filtrante

- a) La grava se colocará en tres capas, la primera de 15 cm, con tamaños de 19 a 50 mm, seguida de dos capas de 5 cm de espesor cada una, con tamaños de 9.5 mm a 19 mm y de 3 mm a 9.5 mm, respectivamente. No debe colocarse grava en zonas cercanas a las paredes o a las columnas.
- b) El espesor de la arena deberá ser de 80 a 100 cm. El valor mínimo considerado, después de raspados sucesivos durante la operación de limpieza, será de 50 cm.
- c) El tamaño efectivo de la arena debe estar entre 0.2 a 0.3 mm, y el coeficiente de uniformidad no mayor de 3.

9) Caja de Filtro

- a) Los filtros podrán ser circulares o rectangulares y el área máxima deberá ser de 50 m² cuando la limpieza se efectúe en forma manual. Las paredes verticales o inclinadas y el acabado en el tramo en el que se localiza el lecho filtrante, debe ser rugoso para evitar cortocircuitos.
- b) El sistema de drenaje, podrá ser:
 - b.1) Drenes formados por un colector principal y un número adecuado de ramales laterales. La pérdida de carga máxima en este sistema no deberá ser mayor que el 10% de la pérdida de carga en la arena, cuando ésta se encuentra con su altura mínima de (50 cm) y limpia. Este sistema es apropiado para unidades de sección circular.

- b.2) Canales formados por ladrillos colocados de canto y asentados con mortero, cubiertos encima con otros ladrillos colocados de plano (apoyados en su mayor superficie) y separados con ranuras de 2 cm, que drenan hacia un colector central. Con este tipo de drenaje se consigue una recolección uniforme del flujo en toda la sección y la pérdida de carga es prácticamente nula. Es apropiado para unidades de sección rectangular y cuadrada.
- c) La altura máxima de agua en la caja de filtro deberá ser de 0.80 a 1.0 m.

10) La estructura de salida deberá estar conformada por:

- a. Un vertedero de salida de agua filtrada, ubicado a 0.10 m por encima del nivel del lecho filtrante para evitar que la película biológica quede sin la protección de una capa de agua. Este vertedero descargará hacia una cámara de recepción de agua filtrada.
- b. Un aliviadero para controlar el nivel máximo en la caja de filtro. Este vertedero, además, indicará el término de la carrera de filtración y el momento de iniciar la operación de raspado. Los filtros lentos pueden operar con nivel variable sin menoscabo de su eficiencia. Este vertedero rebasará hacia una cámara de desagüe.
- c. Una regla graduada dentro de la caja de filtro, haciendo coincidir el cero de la regla con el nivel del vertedero de salida para controlar la pérdida de carga. A medida que el nivel se incrementa se podrá leer conjuntamente la pérdida de carga inicial y la pérdida de carga por colmatación.

CRITERIOS ADICIONALES

- ❖ De acuerdo con las investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, el filtro debe producir un efluente con una turbiedad menor o igual a 0.10 UNT para garantizar que esté libre de huevos de parásitos (Giardia, Cryptosporidium, etcétera). Para lograr esta eficiencia en la filtración, es necesario que los decantadores produzcan un agua con 2 UNT como máximo.
- ❖ Según Lidia Cánepa de Vargas, en su publicación “Plantas de Tratamiento de Filtros lentos” (CEPIS, 2004), la tasa de filtración en función a los procesos preliminares existentes será:

Tabla 9: Velocidad de filtración de acuerdo al número de procesos preliminares

Procesos	Vf (m/h)
Filtración lenta (FL)	0.10 – 0.20
Sedimentación (S) o prefiltración (PF) + FL	0.15 – 0.30
S + PF + FL	0.30 – 0.50

D. MEZCLA RÁPIDA (NORMA OS.020, 2006)

Establece el tiempo, gradiente de velocidad de mezcla y forma de obtener una distribución uniforme y rápida del coagulante en toda la masa del agua.

REQUISITOS GENERALES

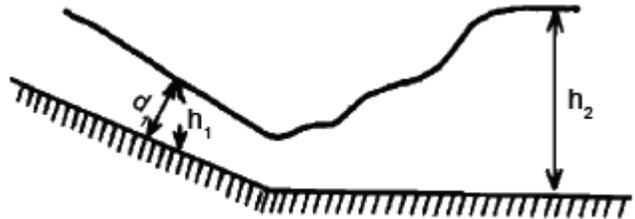
- 1) En mezcladores de flujo a pistón, el cálculo hidráulico debe ser, en cada caso, el siguiente:
 - a. Seleccionar las características geométricas del tipo de unidad elegida: canaleta Parshall, plano inclinado (rampa), vertedero rectangular sin contracciones o triangular, dependiendo del caudal de diseño. La canaleta Parshall solo se recomienda para caudales mayores de 200 l/s. Los vertederos rectangulares son recomendables para caudales menores a 100 l/s y los triangulares para caudales menores a 50 l/s.
 - b. Comprobar si se cumplen las condiciones hidráulicas para que la mezcla sea adecuada:
 - ✓ Número de Froude de 4.5 a 9 (salto estable). En caso de canaleta Parshall, el número de Froude es de 2 a 3 (salto no estable).
 - ✓ Gradiente de velocidad de 700 a 1300 s⁻¹.
 - ✓ Tiempo de retención instantáneo de menos de 0,1 a 7 s como máximo.
 - ✓ Modificar la geometría de la unidad hasta que se consigan condiciones de mezcla apropiadas. Los mezcladores del tipo de resalto hidráulico son ideales para aguas que mayormente coagulan por el mecanismo de adsorción (Fenómeno físico-químico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido).
- 2) En el caso de unidades del tipo de resalto hidráulico la aplicación del coagulante deberá distribuirse uniformemente a todo lo ancho del canal.
- 3) Para el uso de difusores en canales de relativa profundidad, éstos deben diseñarse de tal manera que el coagulante se distribuya en toda la sección de flujo. La reducción del área de paso provocada por el difusor, aumentará la velocidad y garantizará las condiciones de mezcla.
- 4) La estructura de interconexión entre la mezcla rápida y el floculador (canal, orificio, vertedero, etc.) no debe producir un gradiente de velocidad mayor de 100 s⁻¹ ni menor que el del primer tramo del floculador.
- 5) En los casos en los que se requiera aplicar un polímero como ayudante de coagulación, la aplicación debe ser inmediatamente posterior a la aplicación del coagulante de sal metálica y en un punto en el que tenga una intensidad de agitación de 400 a 600 s⁻¹ para que se disperse sin que se rompan las cadenas poliméricas.

CRITERIOS ADICIONALES

Mezcladores de Resalto Hidráulico (Plantas de Filtración Rápida, CEPIS - 2006)

Criterios para el dimensionamiento

- Se supone que h_1 es igual a d_1 .
- Las alturas de agua antes (h_1) y después del resalto (h_2) deben satisfacer la siguiente ecuación:



$$h_2/h_1 = \frac{1}{2}[\sqrt{1 + 8F^2} - 1] \dots(1)$$

Figura 1: Resalto Hidráulico (Fuente: CEPIS, 2006)

Dónde:

$$F = V_1/\sqrt{g h_1} \dots(2)$$

⇒ V_1 es la velocidad en la sección "1"

- La energía hidráulica disipada o pérdida de carga se puede calcular en la longitud (L) del resalto, mediante la fórmula de Belanger:

$$h_p = (h_2 - h_1)^3/4h_1h_2 \dots(3)$$

- La longitud de resalto mediante la fórmula de Smetana:

$$L = 6(h_2 - h_1) \dots(4)$$

- Gradiente de velocidad producido

$$G = [\gamma Q h_p/\mu V]^{0.5} \text{ o } [\gamma/\mu]^{0.5} \cdot [h_p/T]^{0.5} \dots(5)$$

- Tiempo de mezcla

$$T = 2L/(V_1 + V_2) \dots(6)$$

⇒ γ = peso específico del agua (kg/m³)

⇒ μ = coeficiente de viscosidad absoluta

⇒ Q = caudal (m³/s)

⇒ h_p = pérdida de carga (m)

⇒ V = volumen comprendido entre las secciones (1) y (2)

⇒ V_1 = velocidad del agua en la sección (1)

⇒ V_2 = velocidad del agua en la sección (2)

Tabla 10

Temperatura °C	$\sqrt{\gamma/\mu}$
0	2.336,94
4	2.501,56
10	2.736,53
15	2.920,01
20	3.114,64
25	3.266,96

Vertedero Rectangular como Mezclador de Coagulante (Plantas de Filtración Rápida, CEPIS - 2006)

Esta unidad consiste en un canal rectangular con un vertedero rectangular sin contracciones a todo lo ancho del canal.

La lámina vertiente, después de pasar sobre el vertedero, toca el fondo del canal en la sección 1, a una distancia L_m del vertedero.

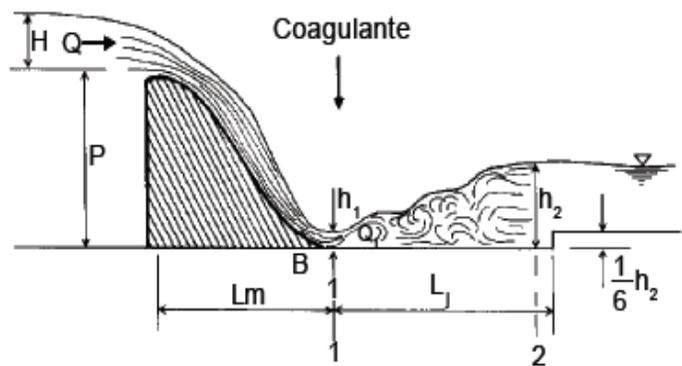


Figura 2: Vertedero Rectangular (Fuente: CEPIS, 2006)

Cuando la lámina de agua alcanza el fondo, se divide en una corriente principal que se mueve hacia el frente y en una corriente secundaria que retorna. Para evitar el efecto perjudicial de la zona muerta que forma un vertedero de paredes verticales, se recomienda el diseño de vertedero de la figura 2. La distancia L_m puede ser calculada por la ecuación de Scimemi:

$$L_m = 4.3P(h_c/P)^{0.9} \quad \dots(7)$$

La longitud de mezcla (L) se calcula mediante la ecuación:

$$L_I = 6(h_2 - h_1) \quad \dots(8)$$

Para el cálculo del gradiente de velocidad, es necesario conocer la energía consumida en el resalto (figura 2). La altura de agua en esta sección (h_1) está relacionada con la altura crítica (h_c) por la siguiente ecuación:

$$h_1 = \frac{h_c\sqrt{2}}{\sqrt{2.56 + \frac{P}{h_c}}} \quad \dots(9)$$

$$h_c = \sqrt[3]{q^2/g} \quad \dots(10)$$

Donde q es el caudal específico

$$q = Q/B \quad \dots(11)$$

$$Q = 1.84 B H^{3/2} \quad \dots(12)$$

E. SEDIMENTACIÓN CON COAGULCIÓN PREVIA (NORMA OS.020, 2006)

REQUISITOS

Sedimentadores de flujo horizontal

- a. Las tasas superficiales varían entre 15 y 60 m³/(m².día), dependiendo del tamaño de las instalaciones, tipo de operación y tecnología adoptada.
- b. Se debe tener presente que las condiciones de diseño de los sedimentadores dependerán también del tipo de filtros proyectados, por ello, la sedimentación y filtración deben proyectarse como procesos complementarios.
- c. La velocidad media del flujo para el caudal máximo de diseño deberá ser inferior de 0,55 cm/s.
- d. Período de retención y profundidad deberá estar comprendido entre 1.5 y 5 horas y las profundidades entre 3 y 5 m. En los sedimentadores sujetos a limpieza periódica, se considerará una parte de la profundidad total como espacio destinado a la acumulación normal de lodos. Se recomienda que el volumen para el almacenamiento de lodos sea 10 a 20% del volumen del sedimentador.
- e. Los sedimentadores serán de forma rectangular:
 - ✓ La relación largo-ancho deberá estar entre 2 a 1 y 5 a 1.
 - ✓ La relación largo-profundidad deberá estar entre 5 a 1 y 20 a 1.
- f. Se deberá adoptar un mínimo de dos unidades, de tal manera que cuando se suspenda la operación una, se pueda seguir operando con la otra.
- g. Los conductos o canales de agua floculada deben asegurar una distribución uniforme del flujo a los diversos sedimentadores sin cortocircuitos hidráulicos. En una estructura de distribución se aceptará como máximo una desviación de 5% en el reparto de caudales.
- h. Estructura de entrada:
 - ✓ La estructura de entrada a los sedimentadores debe estar conformada por un vertedero sin contracciones a todo lo ancho de la unidad, seguido de un tabique difusor o cortina perforada para proporcionar una distribución uniforme del flujo en toda la sección.
 - ✓ La cortina difusora debe estar ubicada a una distancia no menor de 0.80 m del vertedero de entrada.

- ✓ La cortina difusora deberá tener el mayor número posible de orificios uniformemente espaciados en todo el ancho y la altura útil del decantador; la distancia entre orificios debe ser igual o inferior de 0.50 m y de preferencia deben tener forma circular y aboquillados.
 - ✓ El gradiente de velocidad en los orificios no debe ser mayor de 20 S-1.
 - ✓ Cuando la unidad no tiene remoción mecánica de lodos, los orificios más bajos deberán quedar a $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ de la altura sobre el fondo; los orificios más altos deberán quedar a $\frac{1}{5}$ o $\frac{1}{6}$ de la altura de la unidad con respecto a la superficie del agua para evitar se produzca un cortocircuito hidráulico con el vertedero de salida.
- i. Sistemas de recolección del agua sedimentada:
- Pueden estar conformados por vertederos, canales y tubos con orificios.
- ✓ La estructura de salida o sistema de recolección no debe sobrepasar el tercio final de la unidad.
 - ✓ Los bordes de los vertederos podrán ser lisos o dentados y ajustables o removibles.
 - ✓ Las canaletas tienen por objeto incrementar la longitud de recolección. Pueden colocarse transversal o perpendicularmente al flujo. Sus bordes pueden ser lisos, dentados o con orificios.
 - ✓ En lugares donde el viento pueda provocar corrientes preferenciales de flujo, se recomienda la colocación de tabiques deflectores del viento que penetren a poca profundidad dentro del agua. Su ubicación y distribución debe permitir la recolección uniforme por la estructura de salida.
 - ✓ El sistema de recolección deberá tener una longitud tal que la tasa de recolección esté comprendida entre 1.3 a 3 l/s por metro lineal de sistema de recolección.
 - ✓ En casos de flóculos de turbiedad se recomienda una tasa máxima de 2 l/s por metro lineal.
 - ✓ Para casos de flóculos de color se recomienda una tasa máxima de 1.5 l/s por metro lineal.
- j. Sistemas de acumulación y extracción de lodos
- En los sistemas de limpieza intermitentes, en los que la unidad se retira del servicio para efectuar la operación en forma manual, se deberá tener en cuenta los siguientes criterios:
- ✓ La capacidad de las tolvas debe determinarse en función al volumen de lodo producido y la frecuencia de limpieza. La tasa de lodo producido se debe determinar en el laboratorio, mediante las turbiedades máximas y mínimas que se dan en la fuente. Se realizará una prueba de sedimentación y se medirá el volumen de lodos producido en cada caso.

- ✓ El tiempo de retención de la tolva depende de la frecuencia de limpieza y de la temperatura local. En climas fríos se puede almacenar el lodo de dos a tres meses sin que adquiera condiciones sépticas; en climas cálidos puede ser de hasta tres días como máximo, dependiendo de la temperatura. Esta circunstancia establece limitación del uso de estas unidades en zonas de climas cálidos, para unidades de limpieza manual.
- ✓ La pendiente de las tolvas en la zona de salida debe ser de 45° a 60°.
- ✓ El punto de salida de la tolva debe ubicarse al tercio inicial del decantador que es de donde se debe producir la mayor acumulación de lodos.
- ✓ La pérdida de agua por fangos no deberá ser superior a 1% del agua tratada.

CRITERIOS ADICIONALES

Eficiencia de los Sedimentadores

El proceso de sedimentación en una planta de tratamiento de agua potable, es en general el principal responsable en remoción de partículas causantes de turbiedad y color. El grado de remoción exigido a esta etapa, depende fuertemente de la eficiencia del proceso posterior de filtración.

- ❖ Al evaluar la capacidad de remoción de turbiedad de un sedimentador, en términos absolutos, la eficiencia se define como:

$$\text{Eficiencia} = \frac{T_b - T_s}{T_b} \quad \dots (13)$$

T_b: Turbiedad del agua bruta

T_s: Turbiedad del agua sedimentada

De acuerdo a la fórmula (13), se observa que la eficiencia depende de la turbiedad del agua bruta y de la tasa de sedimentación, ya que generalmente se exige a un sedimentador que trabaje en torno a un determinado valor de turbiedad de salida, por lo que la aplicación de este criterio, le otorga mayores eficiencias en directa relación con el aumento de turbiedad del agua bruta (Danilo A. Ríos, 1998).

- ❖ Con un enfoque más objetivo, basándonos en el tipo de flujo que presenta dichas unidades, y como regla general muy aproximada, se podría decir que un sedimentador operando en buenas condiciones debería tener un 60% de flujo de pistón y un 40 % de flujo mezclado. (Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua, CEPIS – 1994).

F. DESINFECCIÓN (NORMA OS.020, 2006)

REQUISITOS

Demanda de cloro

Deberá determinarse por los ensayos correspondientes.

Cloro residual

El efluente de la planta deberá tener por lo menos 1 ppm de cloro residual o el necesario para que en el punto más alejado de la red exista no menos de 0.2 ppm. En las localidades en las que exista endemividad de enfermedades diarreicas como el cólera, el residual en los puntos más alejados deberá ser de 0.5 ppm.

Tiempo de contacto

Se aceptará como mínimo entre 5 a 10 minutos. Siendo deseable un tiempo total de contacto de 30 minutos.

CRITERIOS ADICIONALES

- ❖ La desinfección en la forma en que normalmente se aplica, solo tiene la capacidad de remover bacterias. Para remover huevos de parásitos se necesitarían aplicar dosis altísimas y disponer de tiempos de contacto muy largos, que hacen impracticable el proceso. Como los huevos de parásitos son grandes, un filtro que opere eficientemente y reciba agua con no más de 2 UNT puede producir un efluente exento de huevos de parásitos (Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento, L. de Vargas – 2004).
- ❖ Tanto el ácido hipocloroso (HOCl) como el ion hipoclorito (OCl) están presentes en el agua hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9. Cuando el valor de pH de agua clorada es 7.5, el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no disociado y el otro 50% será ion hipoclorito. (Desinfección del Agua, OPS – 1983).
Las diferentes concentraciones de las dos especies significan una considerable diferencia en la propiedad bactericida del cloro, ya que estos dos compuestos presentan diferentes propiedades germicidas. En realidad, la eficiencia de HOCl es por lo menos 80 veces mayor que la del OCl.

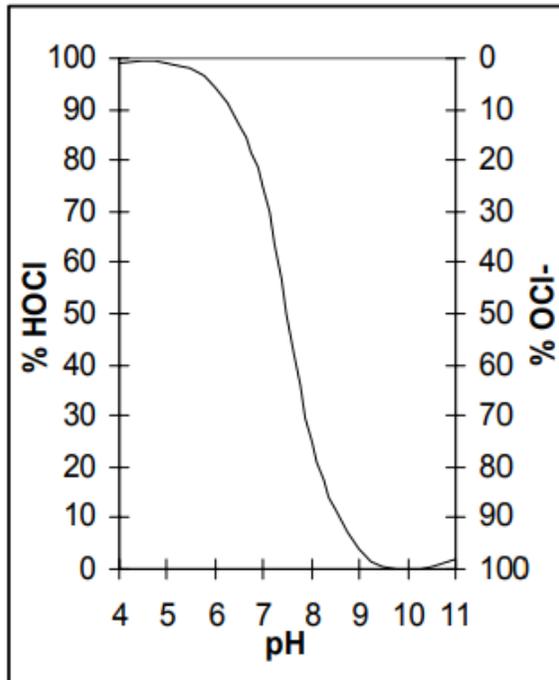


Figura 3: Comportamiento de las fracciones de cloro respecto a variaciones de Ph (Fuente: OPS, 1983)

- ❖ Por esta razón, cuando se monitorea el cloro del agua, es aconsejable vigilar el pH, ya que esto dará una idea del potencial real bactericida de los desinfectantes presentes. En tal sentido, es importante mencionar que la OMS recomienda para una desinfección adecuada un PH < 8.
- ❖ La turbiedad es otro factor de peso en la desinfección, ya que una excesiva turbiedad reducirá la efectividad por absorción del cloro y, por otro lado, protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante. Por tal, la OMS recomienda una turbiedad menor de 5 UNT, siendo lo ideal menos de 1 UNT.

2.2.3. ANÁLISIS DE FLUJOS Y FACTORES QUE DETERMINAN LOS PERIODOS DE RETENCIÓN

Muchas plantas de tratamiento de agua no tienen la eficiencia esperada por deficiencias hidráulicas que ocasionan determinadas características de flujo en la unidad y que afectan los periodos de retención del agua en los reactores.

2.2.3.1. Modelos de flujo

En las unidades de tratamiento de una planta, desde el punto de vista hidráulico, el flujo del líquido puede ser de dos tipos: discontinuo o intermitente y continuo.

1) Flujo intermitente

El flujo de tipo discontinuo o intermitente es el menos habitual y consiste en llenar la unidad y dejar un tiempo el líquido en ella mientras se produce el proceso correspondiente, que puede realizarse con o sin mezcla, vaciar la unidad y repetir el ciclo.

Este tipo de flujo, en la mayoría de los casos, no es práctico y generalmente los procesos en una planta de tratamiento son de flujo continuo, salvo que el proceso de tratamiento en sí exija la discontinuidad, o se trate de experiencias piloto o pruebas de laboratorio.

2) Flujo continuo

Este tipo de flujo es el habitual en las plantas de tratamiento de agua. Teniendo en cuenta esta característica, los reactores pueden ser de flujo de pistón, mezclado y no ideal.

a. Flujo de pistón

Se describe como aquel en el que todas las partículas de fluido que entran a la unidad permanecen en ella el mismo tiempo. De esta manera, los elementos de fluido pasan a través del sistema y son descargados en la misma secuencia en que fueron introducidos y no hay ningún tipo de mezcla entre el fluido que ingresa y el fluido que está en la unidad.

En la práctica es muy difícil lograr un flujo con estas características. Se presenta con bastante aproximación en unidades hidráulicas como los canales Parshall, los vertederos, los floculadores hidráulicos de pantallas y en los decantadores con una relación largo/ancho bastante mayor de 1.

b. Flujo mezclado

Un reactor con flujo mezclado es aquel en el que todo elemento que ingresa al reactor se dispersa inmediatamente dentro de él. Además, se cumplirá que la concentración de una sustancia a la salida de la unidad es igual a la existente en todo el reactor. En la práctica es muy difícil lograr un flujo con estas características; solo se presentará bajo condiciones ideales. Se encuentra con bastante aproximación en retomezcladores o floculadores mecánicos con pocas cámaras en serie.

c. Flujo no ideal

Este tipo de flujo corresponde a cualquier grado intermedio entre flujo a pistón y mezcla completa con otras posibles alteraciones como la presencia de zonas muertas, cortocircuitos hidráulicos, recirculación. Viene a ser el tipo de flujo con el que nos encontraríamos usualmente en las unidades de tratamiento en las plantas.

2.2.3.2. Uso de trazadores para determinar el tiempo de retención y características hidráulicas de un reactor

Para visualizar el funcionamiento de una unidad desde el punto de vista hidráulico, es conveniente utilizar una sustancia trazadora que pueda ser aplicada en la entrada de la unidad, y que simultáneamente se comience a registrar la concentración del trazador a la salida de la unidad.

Sustancias trazadoras

Las sustancias trazadoras pueden ser:

- a. Colorantes como fluoresceína o rodamina.
- b. Iones como cloruros, especialmente de sodio o potasio, fluoruros o nitratos, especialmente de sodio.
- c. Elementos radiactivos como isótopos
- d. Ácidos: clorhídrico, benzoico
- e. Otras sustancias químicas: alizarim, sapirol, naptol.

Resulta muy común utilizar como sustancia trazadora en las evaluaciones de plantas de tratamiento de agua el ion cloruro obtenido de la aplicación del cloruro de sodio. El cloruro de sodio o sal de mesa es de fácil obtención y bajo costo. Asimismo, la determinación de la concentración a la salida del reactor es rápida y fácilmente medida a través de la conductividad.

2.2.3.3. Modelos matemáticos

Supongamos el caso de un reactor que tenga un volumen de agua (V), al cual se le aplica una cantidad (P) de una sustancia química (trazador), la cual se disuelve y mezcla completamente en toda la masa de agua. En este caso, la concentración de esa sustancia en el volumen (V) será $C_0 = P / V$. Si en ese reactor se introduce el flujo Q en el tiempo ($t = 0$) y toda el agua que entra se mezcla completa e instantáneamente con el agua que había en el reactor, al medir la concentración de dicha sustancia a la salida de dicho reactor, se encontrará que la concentración (C) va disminuyendo progresivamente a través del tiempo.

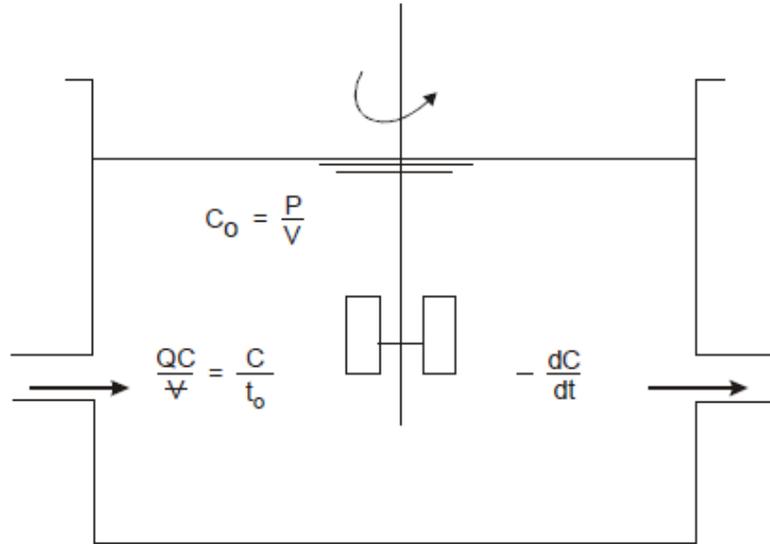


Figura 4: Reactor de flujo mezclado (Fuente: PÉREZ, J.1992)

Por lo tanto, aceptando que esta es una reacción de primer orden, se puede hacer un balance de masas, considerando lo que entra y lo que sale del tanque. Así, la cantidad que entra es:

$$C_0 = \frac{P}{V} = \frac{QC}{V} \quad \dots (14)$$

El tiempo de residencia media se expresa: EC-15

$$t_0 = \frac{V}{Q} \quad \dots (15)$$

Concentración inicial de sales:

$$C_0 = \frac{C}{t_0} \quad \dots (16)$$

Cantidad de trazador que sale:

$$C_f = -\frac{dC}{dt} \quad \dots (17)$$

Por lo tanto, al igualar las ecuaciones (16) y (17), resulta la expresión siguiente:

$$\frac{C}{t_0} = -\frac{dC}{dt} \quad \dots (18)$$

Integrando tenemos:

$$\frac{dC}{C} = -\frac{dt}{t_0}$$

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -\int_0^1 \frac{dt}{t_0}$$

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -\frac{1}{t_0} \int_0^t dt$$

$$\ln C - \ln C_0 = -\frac{t}{t_0}$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{t}{t_0}} \quad \dots(19)$$

Dónde:

- C = concentración que permanece en el reactor en el tiempo.
- Co = concentración aplicada en el tiempo (t=0)

Al aplicar la ecuación (19) variando los valores t/t0 se obtienen valores de C/C0 con lo que se construye curvas que muestran el comportamiento del flujo con el trazador, esto lo podemos apreciar mejor en la figura 4, siendo C/C0 igual a 1, el valor más alto cuando t/t0 es igual a 0, justificando así el descenso conforme pasa el tiempo.

Con lo que se obtiene una curva M = 0 para un reactor de flujo mezclado y una curva m = ∞ para un reactor tipo pistón (CEPIS, 2004)

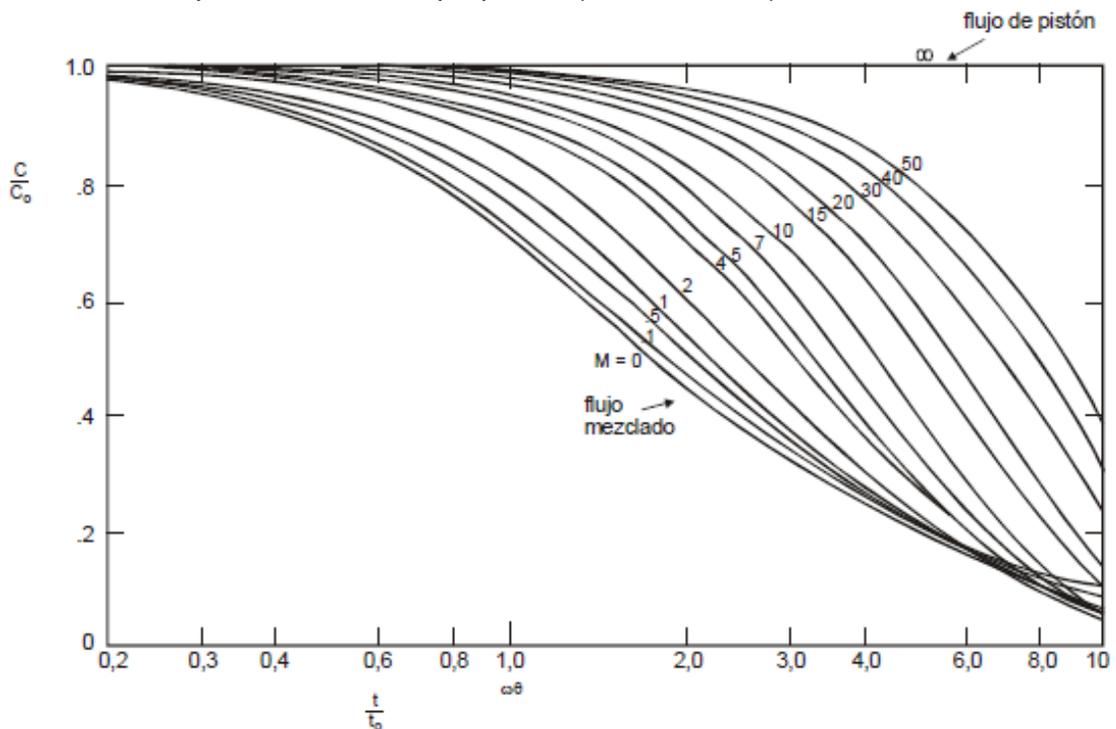


Figura 5: Variación de la concentración VS tiempo de retención (Fuente: PÉREZ, J. 1992)

La determinación de la proporción de flujo de pistón en floculadores y sedimentadores tiene una gran importancia, pues mide la fracción del volumen de agua que pasa por el reactor y que ha permanecido durante todo el tiempo de retención sometida al tratamiento deseado. En cambio, cuanto más flujo mezclado haya en un floculador o sedimentador, se puede considerar que una fracción mayor de la masa de agua ha sufrido un tratamiento más corto o más largo del que se desea, lo que en muchos casos es objetable.

Por eso, es ideal que en las plantas de tratamiento se diseñen los reactores de manera que presenten el máximo de flujo de pistón, pues con eso se garantiza que el agua tenga el tratamiento que se busca durante el periodo de retención proyectado.

En reactores no ideales, además de flujo de pistón y flujo mezclado, puede suceder que parte del volumen del agua que entra atraviese el tanque con tanta rapidez que salga instantáneamente, sin permanecer almacenado en él. Este fenómeno se llama cortocircuito y se presenta debido a defectos en el diseño de la estructura de entrada y salida que permiten el paso directo del agua entre unas y otras, por corrientes de densidad de origen térmico o por variación de concentración, así como por efecto de la rotación de paletas en floculadores mecánicos, que impulsan parte de la masa líquida para que salga tan pronto como entra. El cortocircuito hidráulico se define por eso como aquella parte del flujo que tiene una velocidad infinita y un tiempo de retención cero.

2.2.3.4. Modelo simplificado de la teoría de Wolf – Resnick

Es evidente que cuando no hay espacios muertos, la fracción de flujo de pistón (p) y la fracción de flujo de no pistón (1-p) deben ser iguales a la unidad:

$$\begin{aligned} \text{Flujo de pistón} + \text{flujo de no pistón} &= 1 \\ p + (1 - p) &= 1 \end{aligned} \quad \dots(20)$$

Cuando hay espacios muertos, si m es la fracción del volumen considerado como espacio muerto, la fracción que no tiene espacios muertos será igual a 1-m y, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Flujo de pistón} + \text{flujo no pistón} + \text{espacios muertos} &= 1 \\ (p(1 - m)) + ((1 - p) * (1 - m)) + m &= 1 \end{aligned} \quad \dots(21)$$

Ahora bien, en la ecuación (19) se estableció que el flujo perfectamente mezclado es igual a:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{t}{t_0}}$$

Si se considera que en el reactor se presenta una combinación de flujos de pistón y mezclado, la ecuación (19) se transforma en:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{(1-p)t}{(1-p)t_0}} \quad \dots(22)$$

Dónde:

Pt_0 = tiempo de retención correspondiente a flujo de pistón

$(1-p)$ = volumen de mezcla perfecta

Reordenando y simplificando, tenemos:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{1}{1-p}\left[\frac{t}{t_0} - p\right]} \quad \dots(23)$$

Si se considera que el sistema, además, tiene espacios muertos, habría que introducir en la última ecuación el término $(1-m)$ para considerar la fracción efectiva de flujo con mezcla perfecta. Luego, tendríamos:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{1}{(1-p)(1-m)}\left[\frac{t}{t_0} - p(1-m)\right]} \quad \dots(24)$$

La fracción de la totalidad del trazador que ha salido del reactor será:

$$F(t) = 1 - \frac{C}{C_0} \quad \dots(25)$$

Reemplazando el valor de C/C_0 , se obtiene:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{1}{(1-p)(1-m)}\left[\frac{t}{t_0} - p(1-m)\right]}$$

Reordenando términos y tomando los logaritmos de ambos términos, se llega a:

$$\log(1 - F(t)) = \frac{-\log e}{(1-p)(1-m)} * \left[\frac{1}{t_0} - p(1-m)\right] \quad \dots(26)$$

Que corresponde a la ecuación de una línea recta (figura 6), cuya pendiente está dada por:

$$\tan \alpha = \frac{\log e}{(1-p)(1-m)} \quad \dots(27)$$

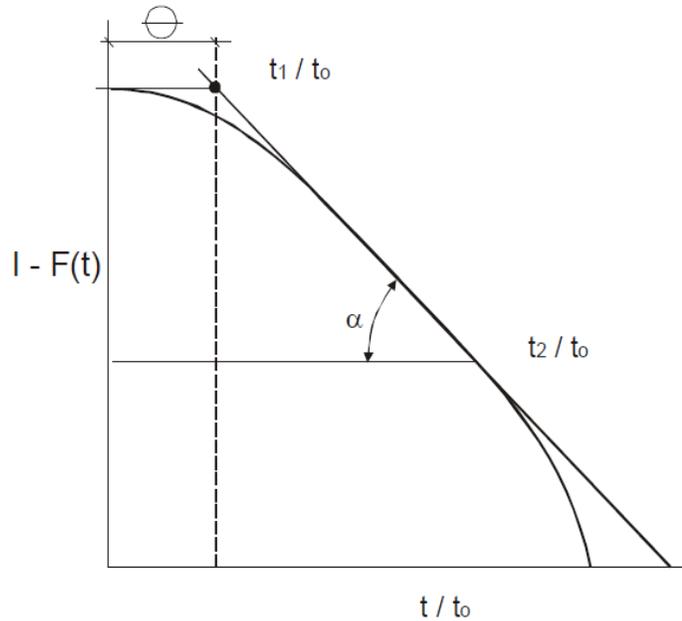


Figura 6: Curva de 1- F (t) cantidad de trazador que permanece en el reactor (Fuente: PÉREZ, J. 1992)

Multiplicando y dividiendo para “p” y sustituyendo el valor de $\text{Log } e = 0.435$, en la ecuación (27), se obtiene:

$$\tan \alpha = \frac{0.435p}{p(1-p)(1-m)} \quad \dots (28)$$

Lo que hace:

$$\theta = p(1-m) \quad \dots (29)$$

Reemplazando en la ecuación (28) y reordenando, tenemos:

$$p = \frac{\theta * \tan \alpha}{0.435 + \theta * \tan \alpha} \quad \dots (30)$$

De la ecuación (29) se puede deducir que el volumen de espacios muertos será igual a:

$$m = 1 - \frac{\theta}{p} \quad \dots (31.a)$$

Y el flujo mezclado M será igual a:

$$M = 1 - p \quad \dots (31.b)$$

Los valores de las incógnitas θ y $\tan \alpha$ se obtienen al trazar la curva de $\text{Log } 1-F(t)$ (figura 6), dónde:

$$\theta = \frac{t_1}{t_0} \quad \dots (32)$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_1}{t_0} - \frac{t_2}{t_0}} \quad \dots (33)$$

Ha sido práctica común establecer la eficiencia hidráulica de un reactor analizando la tendencia de la curva de concentración del trazador y relacionar sus diferentes parámetros con condiciones de flujo (PÉREZ, J. 1992).

2.2.3.5. Análisis de datos

Análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador

Se indica que ha sido práctica común establecer la eficiencia hidráulica de un reactor, analizando la tendencia de la curva de concentración del trazador y relacionando sus diferentes parámetros con condiciones de flujo (CEPIS, 2004). Al aplicar trazadores a un reactor y analizar las muestras de agua tomadas a la salida, se obtiene una serie de valores de concentración que aumenta con el tiempo hasta llegar a un máximo y luego disminuye progresivamente, originando una curva que se observa en la siguiente figura.

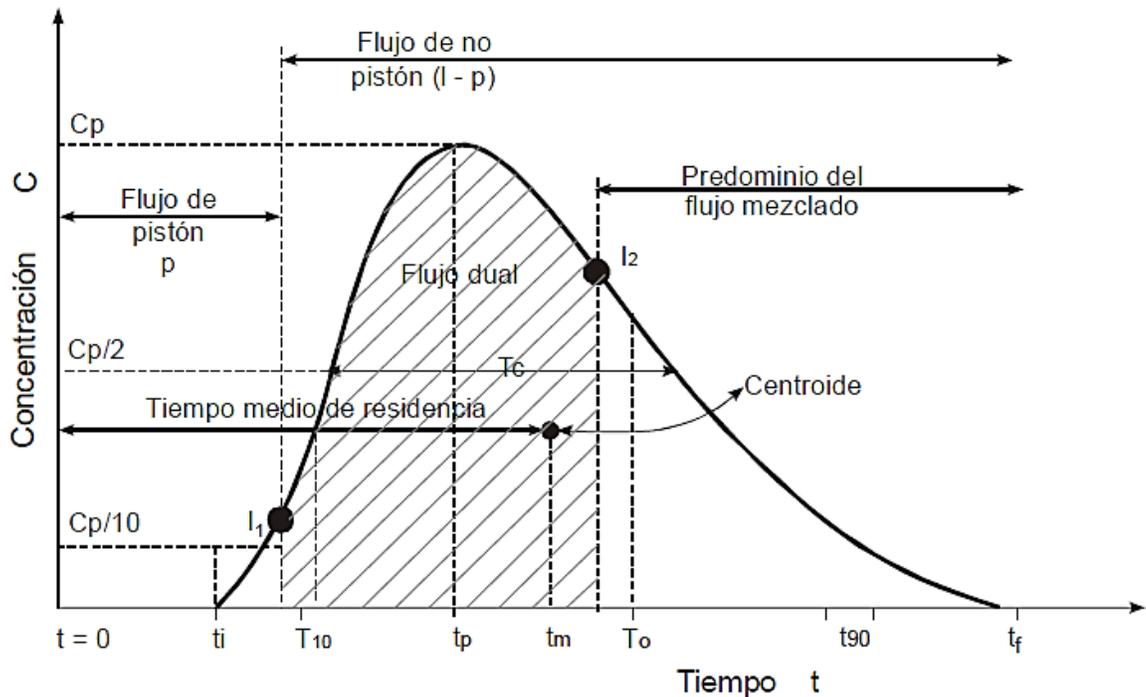


Figura 7: Concentración del trazador en el efluente de un reactor (Fuente: PÉREZ, J. 1992)

Existen los siguientes parámetros principales:

t_i = Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.

t_{10} = Tiempo correspondiente al paso del 10% de la cantidad total del trazador.

t_p = Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración.

t_m = Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad total del trazador.

t_o = Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención = V/Q

t_{90} = Tiempo correspondiente al paso del 90% de la cantidad total del trazador.

T_f = Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador el floculador, sedimentador.

C_o = Concentración inicial.

C_p = Concentración máxima a la salida.

Se pueden utilizar los siguientes criterios para analizar los resultados obtenidos de la prueba de trazadores:

- a. Cortocircuitos hidráulicos grandes. Es igual a 1 para flujo de pistón y 0 para el flujo mezclado. Si el valor de la relación es ($< 0,3$) puede significar que existe paso directo del trazador entre la entrada y la salida (cortocircuito hidráulico).

$$t_i / t_o \quad \dots(34)$$

- b. Si la relación es menor que la unidad (1), existen cortocircuitos hidráulicos. Si es mayor hay errores experimentales o existen zonas en donde el trazador ha quedado retenido durante cierto tiempo (espacios muertos), y luego ha ido saliendo lentamente, con lo que la rama descendente de la curva presente una forma alargada que desplaza el centroide del área y aumenta el valor de t_m , haciendo que $t_m > t_o$.

$$t_m / t_o \quad \dots(35)$$

- c. Indica la relación de flujo pistón y flujo mezclado. Cuando es igual a 1, existe únicamente flujo pistón y si es igual a 0 flujo mezclado, cuando la relación t_p / t_o se aproxima a 1 y $t_i / t_o > 0,5$ se puede concluir que existe predominio de flujo pistón y cuando se aproxima a 0, existe predominio de flujo mezclado.

$$t_p / t_o \quad \dots(36)$$

- d. Está relacionado en general con la difusión debida a corrientes de inercia (turbulencia). Es igual al cociente ($\Delta t_o / t_o$) (razón de tiempo de inyección) para el flujo estable ideal y aproximadamente del orden de 0,7 para flujo mezclado.

$$t_c / t_o \quad \dots(37)$$

- e. Está relacionado con las características de inercia turbulentas y de recirculación grande. Es igual al cociente ($\Delta t_o/t_o$) para el flujo estable ideal y del orden de 2,3 para el flujo mezclado ideal.

$$t_b / t_o \quad \dots(38)$$

- f. Expresa la excentricidad de la curva y, por lo tanto, es función de la recirculación. Es igual a (0) para flujo de pistón y mayor de 2,3 para flujo mezclado ideal.

$$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o} \quad \dots(39)$$

g. Índice de Morrill

Este autor encontró que al acumular los datos sobre cantidad de trazador que pasa, expresado en porcentajes y dibujados en papel que tenga escala de probabilidades en las abscisas y escala logarítmica en las ordenadas para diferentes tiempos, se obtenía aproximadamente una línea recta.

El segmento comprendido entre el 10% y el 90 % es el más regular y por eso Morrill sugirió que la relación entre uno y otro se tomara como índice de depresión así:

$$\text{Índice de Morrill} = \frac{\text{Tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{tiempo que pasa el 10\%}} \quad \dots(40)$$

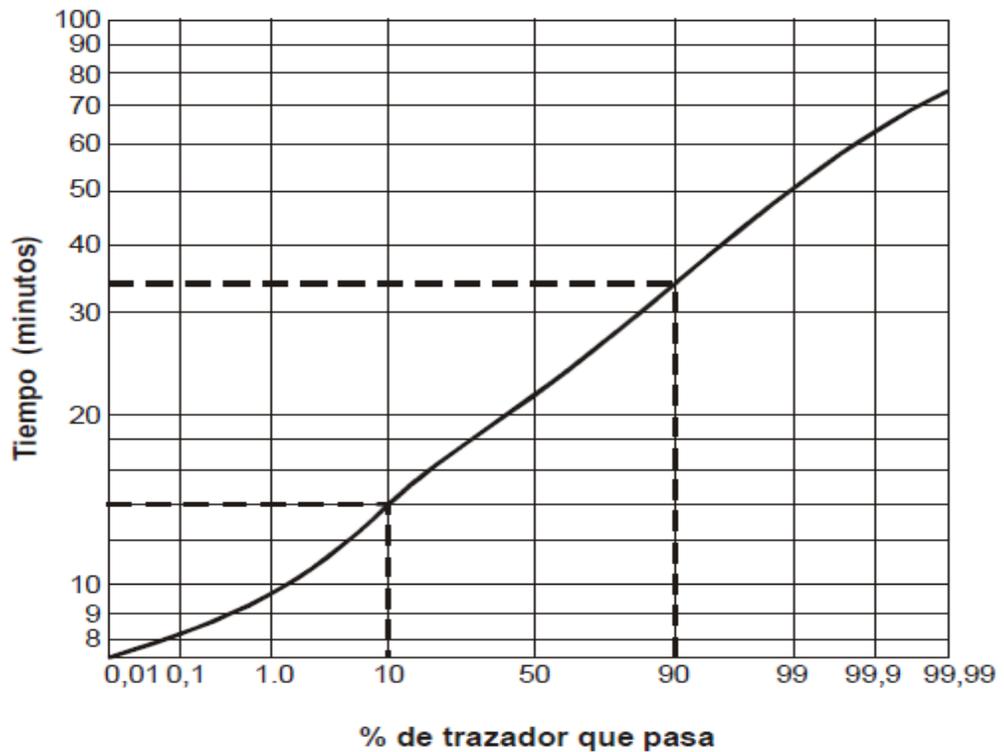


Figura 8: Índice de Morrill (Fuente: PÉREZ, J. 1992)

- Si todo el flujo fuera pistón, la curva sería curva horizontal y el índice de Morrill sería 1, pues todo el trazador saldría en el tiempo $t = t_0$ y no saldría antes. En cambio, a medida que hay más proporción de flujo mezclado, aumenta el ángulo que la curva hace con la horizontal pues hay una distribución más amplia del tiempo de retención.

El flujo de pistón puro, como se muestra en la figura 8, viene representado por el tiempo que transcurre hasta que aparece el trazador. Algunos autores como Hirsch, considera que este tiempo se puede tomar en el punto de inflexión I1, cuando la curva cambia de cóncava a convexa.

De aquí en adelante, el flujo debe considerarse como no de pistón. Entre dicho punto y el punto de inflexión I2 en la rama descendente, el flujo es dual (pistón y no pistón combinado). A partir del segundo punto de inflexión, el flujo tiene un carácter predominantemente mixto.

2.2.3.6. Determinación de la cantidad de trazador

Dosificación Instantánea

Se aplica una concentración a la entrada de la unidad en evaluación en un tiempo muy corto, inferior a $1/30$ del tiempo teórico de retención (t_0) y en un punto tal que se mezcle instantáneamente con la masa de agua afluyente de la unidad.

La concentración que se escoja debe ser tal que se pueda determinar con facilidad en el agua. Para el caso del uso del ion cloruro como trazador, es común usar concentraciones de entre 30 y 50 mg/L.

La cantidad de trazador P (kg) que se necesita añadir al reactor en evaluación está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V * K * C_0}{I * 10^3} \quad \dots (41)$$

Dónde:

P = Peso del trazador por añadir al reactor (kg).

V = Volumen útil del reactor (m³).

K = Constante de corrección (k=1.65)

C₀ = Concentración (mg/L)

I = Grado de pureza del trazador (fracción de unidad).

Dosificación continua

Se aplica la concentración continuamente, por un tiempo no menor de tres veces el periodo de retención teórico (t_0), y luego se interrumpe bruscamente la dosificación.

La forma continua tiene la ventaja de permitir establecer comparaciones entre las curvas que se presentan a la entrada del trazador (cuando se inicia la dosificación) y al final (cuando el proceso se paraliza).

La cantidad de trazador P (kg/h) que se necesita añadir al reactor en evaluación está dada por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{V * K * Co * Q}{I * 10^3} * Te \quad \dots (42)$$

Dónde:

P = Peso del trazador por añadir al reactor (kg).

V = Volumen útil del reactor (m³).

K = Constante de corrección

Co = Concentración (mg/L)

I = Grado de pureza del trazador (fracción de unidad).

Q = Caudal de dosificación (m³/s)

Te = Duración del ensayo (s)

2.2.3.7. Cálculo del caudal utilizando trazadores

Cuando el trazador se inyecta instantáneamente en la corriente, la cantidad requerida no es muy importante y su detección por el método de conductividad es relativamente sencillo, grado de disolución 360 gramos por litro (LUENGAS, SB. 1990).

La condición fundamental para la selección de los emplazamientos para la medición del caudal mediante el método por dilución, es el de que se produzca una mezcla homogénea de la solución inyectada con el agua de la corriente en un tramo relativamente corto de un canal.

Cálculo del caudal por el método de inyección continua.

$$Q = \frac{Q_{tr} * C_1}{C_2} \quad \dots (43)$$

En el caso de que la corriente presente algún contenido inicial de la sustancia trazadora la formula se modifica en:

$$Q = q * \frac{(C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)} \quad \dots (44)$$

Cálculo del caudal por el método de inyección instantánea.

$$Q = \frac{V_1 * C_1}{\int_0^t C_2 * dt} \quad \dots (45)$$

Dónde:

Q_{tr} = caudal continuo del trazador inyectado (L/s).

C₁ = Concentración de la solución inyectada (mg/L).

C₂ = Concentración obtenida en la sección de muestreo (mg/L).

q = caudal de la solución inyectada (L/s).

C_0 = Concentración presente del trazador en el flujo (mg/L).

V_1 = volumen de la solución inyectada (L).

t = Tiempo en que toda la solución cruza por el punto de muestreo (s).

2.2.4. Pérdida de carga en el lecho filtrante (Teoría, Diseño y Control de los Procesos de clarificación del agua, CEPIS – 1994)

1) Generalidades

Al pasar un flujo Q a través de un lecho filtrante granular de profundidad L , la fricción que el fluido sufre al atravesar los poros, produce una pérdida de carga h como se muestra en la figura:

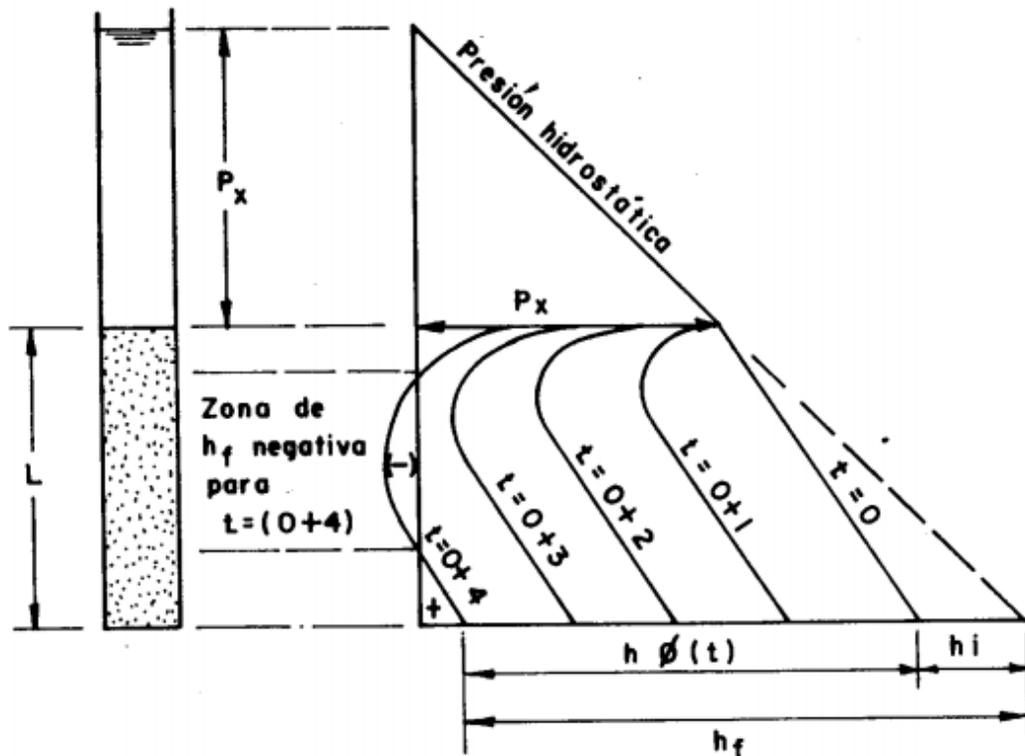


Figura 9: Pérdida de carga versus profundidad del lecho (Fuente: CEPIS, 1994)

Al comenzar la operación del filtro, los granos del lecho están limpios y la pérdida de carga se deberá solamente al tamaño, forma y porosidad (características hidráulicas) del medio filtrante y a la viscosidad y velocidad del agua. Si el fluido no tuviera partículas en suspensión o disolución, esta pérdida de carga inicial será constante a través de todo el periodo de trabajo o carrera de filtro. Pero si, como sucede ordinariamente contiene sólidos, éstos irán recubriendo los granos del lecho incrementando su diámetro (d_p) en un valor Δd , y disminuyendo su porosidad inicial P_0 en un valor σ , con lo que la pérdida de carga irá incrementándose por la disminución del área de paso del flujo.

Resulta de aquí que deben considerarse dos clases de pérdida de carga:

- (a) Una pérdida de carga inicial que es la mínima que puede producir el filtro y que llamaremos h_0 .
- (b) Una pérdida de carga por colmatación que será función del tiempo $h \phi (t)$.
Por tanto:

$$h_f = h_0 + h \phi(t) \quad \dots(46)$$

O en forma diferencial:

$$\frac{dh}{dL} = \left[\frac{dh}{dL} \right]_0 + \left[\frac{dh}{dL} \right]_t$$

2) Pérdida de carga inicial

En 1993, G.M. Fair y L.P. Hatch propusieron una expresión matemática que parte de la conocida fórmula de Poiseulle que dice:

$$h_0 = k \frac{Lv}{D^2} \frac{v_i}{g} \quad \dots(47)$$

h_0 = pérdida de carga inicial

v_i = velocidad del flujo en el conducto

k = coeficiente de fricción

L = longitud del conducto

D = diámetro del conducto

g = gravedad

v = viscosidad cinemática.

Para el caso de un medio filtrante, se consideró que los poros actuaban como pequeños conductos a presión y se adoptó la fórmula con las siguientes suposiciones:

- (a) Diámetro D se hizo igual al radio medio hidráulico. Como para un tubo $R=D/4$, $D=4R$
- (b) Definiendo V como el volumen de los granos, el volumen del lecho será $V/1-P_0$ en donde P_0 es la porosidad del lecho. El volumen de poros será entonces $P_0 V / 1-P_0$ y el radio medio hidráulico será:

$$R = \frac{\text{Volúmen de poros}}{\text{Área granos del lecho}} = \frac{P_0 V}{1 - P_0} \quad \dots (48)$$

- (c) La velocidad intersticial del flujo en el lecho, es igual a la velocidad de aproximación del flujo dividida por la porosidad:

$$v_i = \frac{v}{P_0} \quad \dots (49)$$

(d) La longitud L se hizo igual a la profundidad del lecho. Reemplazando estos valores en la fórmula (47) queda así:

$$h_0 = \frac{f' L v v}{\left[\frac{P_0}{P_0} \frac{V}{A}\right]^2 P_0 g} \quad \dots (50)$$

Ordenando:

$$h_0 = \frac{f' L v v}{g P_0} \left[\frac{1 - P_0}{P_0} \frac{A}{V}\right]^2 \quad \dots (50.a)$$

$$h_0 = f' \frac{L v v}{g} \frac{(1 - P_0)^2}{P_0^3} \left[\frac{A}{V}\right]^2 \quad \dots (50.b)$$

Si:

- $f' = k/16$, constante experimental y adimensional, generalmente igual a 5.

En la aplicación de la fórmula (50.a) hay que considerar 2 casos:

a) Cuando los granos son esféricos y de diámetro uniforme

La relación:

$$\frac{A}{V} = \frac{\pi D_c^2}{\frac{\pi D_c^3}{6}} = \frac{6}{D_c} \quad \dots (51)$$

D_c = diámetro del grano

La relación $S_o = (A/V) D_c$ suelen llamarla los autores, factor de forma, para la esfera es 6 y aumenta para otras figuras geométricas.

Introduciendo la ecuación anterior en la fórmula (51.b):

$$h_0 = f' \frac{L v v}{g} \frac{(1 - P_0)^2}{(P_0)^3} \left[\frac{6}{D_c}\right]^2$$

$$h_0 = 180 \frac{L v v}{g} \frac{(1 - P_0)^2}{P_0^3} \left[\frac{1}{D_c}\right]^2 \quad \dots (52)$$

b) Cuando los granos no son esféricos, pero son de diámetro uniforme

Será necesario introducir un coeficiente de esfericidad. Así:

Habíamos dicho: $A/V = 6/D_c$

Para partículas no esféricas: $C_e * A/V = 6/D_c$, por tanto:

$A/V = 6/(C_e.D_c)$ Reemplazando en (51.a)

$$h_0 = f' \frac{L v}{g} \frac{(1 - P_0)^2}{P_0^3} \left[\frac{6}{C_e D_c} \right]^2 \quad \dots (53)$$

Para determinar el valor del coeficiente C_e , Rich trae una tabla elaborada por Caman (1937), que se inserta a continuación:

Tabla 11: Coeficiente de esfericidad para partículas no esféricas

Material	C_e
Vidrio molido	0.65
Carbón pulverizado	0.73
Polvo de carbón natural (hasta 3/8")	0.65
Hojilla de mica	0.28
Arena(Promedio de varios tipos)	0.75
Arena cuarcítica (aristas afiladas)	0.66
Arena cuarcítica (plana y afilada)	0.43
Arena de Ottawa (casi esférica)	0.95
Arena redondeada	0.82
Arena angular	0.73
Esferas	1.00

Al observar la fórmula (53), se puede ajustar a:

$$h_0 = \frac{h_0 \text{ para partículas esféricas}}{C_e^2} \quad \dots(54)$$

Las pérdidas iniciales muy altas (50 cms o más) disminuyen la carrera de filtro, pues podrían consumir a la entrada toda o casi toda la carga disponible

3) CRITERIOS ADICIONALES.

Granulometría

Se denomina clasificación granulométrica o granulometría a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de un suelo, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Tabla 12: Clasificación de los suelos según el tamaño de Partículas – Norma ASTM D422

TIPO DE SUELO	LIMO Y ARCILLA		ARENA					GRAVA						
	FINOS		FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA							
Nº de Malla (mm)	200	100	60	40	20	10	4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.5"	2"	3"
	0.075	0.15	0.25	0.425	0.85	2	4.75	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75

Relaciones de vacíos y Porosidad

La proporción de vacíos en un elemento de suelo se expresa en función de la relación de vacíos o en función de la porosidad, denotada con “n”.

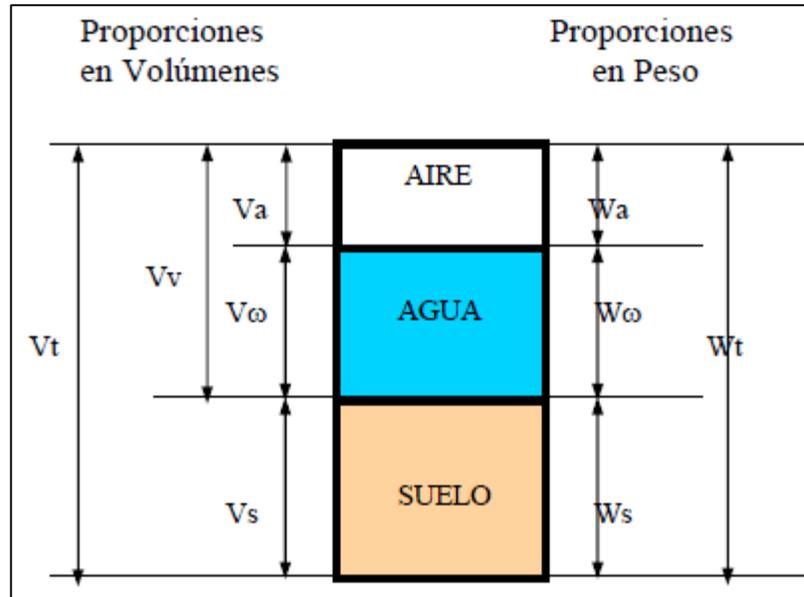


Figura 10: Proporciones existentes en una muestra de suelo

Dónde

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad \dots(55)$$

- V_v = Volumen de vacíos
- V_t = Volumen total = $V_s + V_v$
- V_s = Volumen de la muestra seca

2.2.5. GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano propuesto por el Ministerio de Salud en el DS N° 031 – 2010 –SA., señala:

Lineamientos de gestión

El presente reglamento se enmarca dentro de la política nacional de salud y los principios establecidos en la ley N°26842 – Ley General de Salud. La gestión de la calidad del agua para consumo humano garantiza su inocuidad y se rige específicamente por los siguientes lineamientos:

1. Prevención de enfermedades transmitidas a través del consumo del agua de dudosa o mala calidad.

2. Aseguramiento de la aplicación de los requisitos sanitarios para garantizar la inocuidad del agua para consumo humano.
3. Desarrollo de acciones de promoción, educación y capacitación para asegurar que el abastecimiento, la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano, sean eficientes, eficaces y sostenibles.
4. Calidad del servicio mediante la adaptación de métodos y procesos adecuados de tratamiento, distribución y almacenamiento del agua para consumo humano, a fin de garantizar la inocuidad del producto.
5. Responsabilidad solidaria por parte de los usuarios del recurso hídrico con respecto a la protección de la cuenca, fuente de abastecimiento del agua para consumo humano.
6. Control de calidad del agua para consumo humano por parte del proveedor basado en el análisis de peligro y de puntos críticos de control.
7. Derecho a la información sobre la calidad del agua consumida.

Entidades de la gestión de la calidad del agua de consumo humano

Las entidades que son responsables y/o participan en la gestión para asegurar la calidad del agua para consumo humano en lo que le corresponde de acuerdo a su competencia, en todo el país son las siguientes:

1. Ministerio de Salud.
2. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
3. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
4. Gobiernos Regionales.
5. Gobiernos locales, Provinciales y Distritales.
6. Proveedores del agua para consumo humano.
7. Organizaciones comunales y civiles representantes de los consumidores.

2.2.6. CONTROL Y SUPERVISIÓN DE CALIDAD

Plan de control de calidad del agua (PPC)

El autocontrol que se debe aplicar es sobre la base del Plan de Control de Calidad (PPC) del sistema de abastecimiento del agua para consumo humano que se sustenta en los siguientes principios:

1. Identificación de peligros, estimación de riesgos y establecimiento de las medidas para controlarlos.
2. Identificación de los puntos donde el control es crítico para el manejo de la inocuidad del agua para consumo humano.
3. Establecimiento de límites críticos para el cumplimiento de los puntos de control.
4. Establecimiento de procedimientos para vigilar el cumplimiento de los límites críticos de los puntos de control.

5. Establecimiento de medidas correctivas que han de adoptarse cuando el monitoreo indica que un determinado punto crítico de control, no está controlado.
6. Establecimiento de procedimientos de comprobación para confirmar que el sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control funciona en forma eficaz.
7. Establecimiento de un sistema de documentación sobre todos los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación.

2.2.7. REQUISITOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Agua apta para el consumo humano

Es toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano – MINSa.

Parámetros de control obligatorio (PCO)

Son parámetros de control obligatorio para todos los proveedores de agua, los siguientes:

1. Coliformes totales.
2. Coliformes termotolerantes.
3. Color.
4. Turbiedad.
5. Residual de desinfectante.
6. PH.

En caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli*, como prueba confirmativa de la contaminación fecal.

Parámetros adicionales de control obligatorio (PACO)

De comprobarse en los resultados de la caracterización del agua la presencia de los parámetros señalados en los numerales del presente artículo, en los diferentes puntos críticos de control o muestreo del plan de control de calidad (PCC) que exceden los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el presente reglamento, o a través de la acción de vigilancia y supervisión y de las actividades de la cuenca, se incorporarán éstos como parámetros adicionales de control (PACO) obligatorio a los indicados en el artículo precedente.

1. Parámetros microbiológicos

Bacterias heterotróficas; virus; huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos; y organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépedos, rotíferos y nematodos en todos sus estados evolutivos.

2. Parámetros organolépticos

Sólidos totales disueltos, amoníaco, cloruros, sulfatos, dureza total, hierro, manganeso, aluminio, cobre, sodio, y zinc, conductividad.

3. Parámetros inorgánicos

Plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cromo total, antimonio, níquel, selenio, bario, flúor y cianuros, nitratos, boro, clorito, clorato, molibdbeno y uranio.

Control de desinfectante

Antes de la distribución del agua para consumo humano, el proveedor realizará la desinfección con un desinfectante eficaz para eliminar todo microorganismo y dejar un residual a fin de proteger el agua de posible contaminación microbiológica en la distribución. En caso de usar cloro o solución clorada como desinfectante, las muestras tomadas en cualquier punto de la red de distribución, no deberán contener menos de 0.5 mg/litro de cloro residual libre en el noventa por ciento (90%) del total de muestras tomadas durante un mes. Del diez por ciento (10%) restante, ninguna debe contener menos de 0.3 mg/litro.

TABLA 13: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes totales.	UFC/100 ml a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 ml a 44.5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 ml a 44.5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas.	UFC/ml a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus.	UFC/ml	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos en todos sus estados evolutivos.	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples =< 1,8 / 100 ml ANEXO I del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano – MINSAs.

TABLA 14: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt / Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de Ph	6.5 a 8.5
6. Conductividad (25°C)	µmho / cm	1500
7. Sólidos totales disueltos	mgL⁻¹	1000
8. Cloruros	mg Cl L⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO₄ L⁻¹	250
10. Dureza Total	mg CaCO₃ L⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L⁻¹	1.5
12. Hierro	mg Fe L⁻¹	0.3
13. Manganeseo	mg Mn L⁻¹	0.4
14. Aluminio	mg Al L⁻¹	0.2
15. Cobre	mg Cu L⁻¹	2.0
16. Zinc	mg Zn L⁻¹	3.0
17. Sodio	mg Na L⁻¹	200

ANEXO II del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano – MINSA.

TABLA 15: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L⁻¹	0.020
2. Arsénico	mg As L⁻¹	0.010
3. Bario	mg Ba L⁻¹	0.700
4. Boro	mg B L⁻¹	1.500
5. Cadmio	mg Cd L⁻¹	0.003
6. Cianuro	mg CN L⁻¹	0.070
7. Cloro	mg L⁻¹	5
8. Clorito	mg L⁻¹	0.7
9. Clorato	mg L⁻¹	0.7
10. Cromo Total	mg Cr L⁻¹	0.050

11. Flúor	mg F L⁻¹	1.000
12. Mercurio	mg Hg L⁻¹	0.001
13. Níquel	mg Ni L⁻¹	0.020
14. Nitratos	mg NO₃ L⁻¹	50.00
15. Nitritos	mg NO₂ L⁻¹	3.00 Exposición corta 0.20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L⁻¹	0.010
17. Selenio	mg Se L⁻¹	0.010
18. Molibdeno	mg Mo L⁻¹	0.07
19. Uranio	mg U L⁻¹	0.015

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales		1.00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado	mgL⁻¹	0.010
3. Aceites y grasas	mgL⁻¹	0.5
4. Alacloro	mgL⁻¹	0.020
5. Aldicarb	mgL⁻¹	0.010
6. Aldrín y dieldrín	mgL⁻¹	0.00003
7. Benceno	mgL⁻¹	0.010
8. Clordano (Total de isómeros)	mgL⁻¹	0.0002
	mgL⁻¹	0.001
9. DDT (Total de Isómeros)	mgL⁻¹	0.0006
10. Endrin	mgL⁻¹	0.002
11. Gamma HCH (lindano)	mgL⁻¹	0.001
12. Hexaclorobenceno	mgL⁻¹	
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL⁻¹	0.00003
14. Metoxicloro	mgL⁻¹	0.020
15. Pentaclorofenol	mgL⁻¹	0.009
16. 2,4-D	mgL⁻¹	0.030
17. Acrilamina	mgL⁻¹	0.0005
18. Epiclorhidrina	mgL⁻¹	0.0004
19. Cloruro de vinilo	mgL⁻¹	0.0003
20. Benzopireno	mgL⁻¹	0.0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL⁻¹	0.03
22. Tetracloroetano	mgL⁻¹	0.04
23. Monocloramina	mgL⁻¹	3

ANEXO III del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano – MINSa.

2.3. TÉRMINOS BÁSICOS

Absorción: Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

Adsorción: Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

Afluente: Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.

Agua Potable: Agua apta para el consumo humano.

Carrera de filtro: Intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continua en dicho intervalo.

Coagulación: Proceso mediante el cual se desestabiliza o anula la carga eléctrica de las partículas presentes en suspensión, mediante la acción de una sustancia coagulante para su posterior aglomeración en el floculador.

Cortocircuito hidráulico: Condición que ocurre en los tanques cuando parte del agua pasa a una velocidad mayor que el resto del fluido, disminuyendo el tiempo de residencia de la masa líquida en el reactor.

Eficiencia: La eficiencia del sistema de tratamiento, se basa en lograr una determinada calidad de agua deseada, al menor costo de operación posible; también lo podemos definir como la maximización de la producción con un mínimo de insumos químicos utilizados para la obtención de una buena calidad de agua potable.

Efluente: Agua que sale de un depósito o termina una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.

Flujo Pistón: Se describe como aquel en el que todas las partículas de fluido que entran a la unidad permanecen en ella el mismo tiempo.

Flujo mezclado: Es aquel en el que todo elemento que ingresa a la unidad se dispersa inmediatamente.

Flujo no ideal: Corresponde a cualquier grado intermedio entre flujo pistón y flujo mezclado, completa con otras posibles alteraciones como la presencia de zonas muertas, cortocircuitos hidráulicos, recirculación.

Hidrólisis: Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar unión de otra especie química.

Gradiente Hidráulico: Es la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua.

Resalto Hidráulico: Discontinuidad de la superficie del agua en la cual el flujo pasa de una manera abrupta de un régimen supercrítico (velocidades elevadas) a un régimen subcrítico (velocidades bajas), y depende del número de Froude.

Retención Hidráulica: Es el tiempo que una unidad de fluido permanece en un recipiente, es decir, el tiempo que el líquido tarda en salir del recipiente.

Tratamiento de agua: Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano.

Turbiedad: La medida del grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez.

Turbiedad de origen coloidal: Turbiedad medida en una muestra de agua luego de un período de 24 horas de sedimentación.

Zonas muertas: Sitios en un reactor, donde no hay desplazamiento unidimensional de la masa de agua.

CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA Y POLITICA

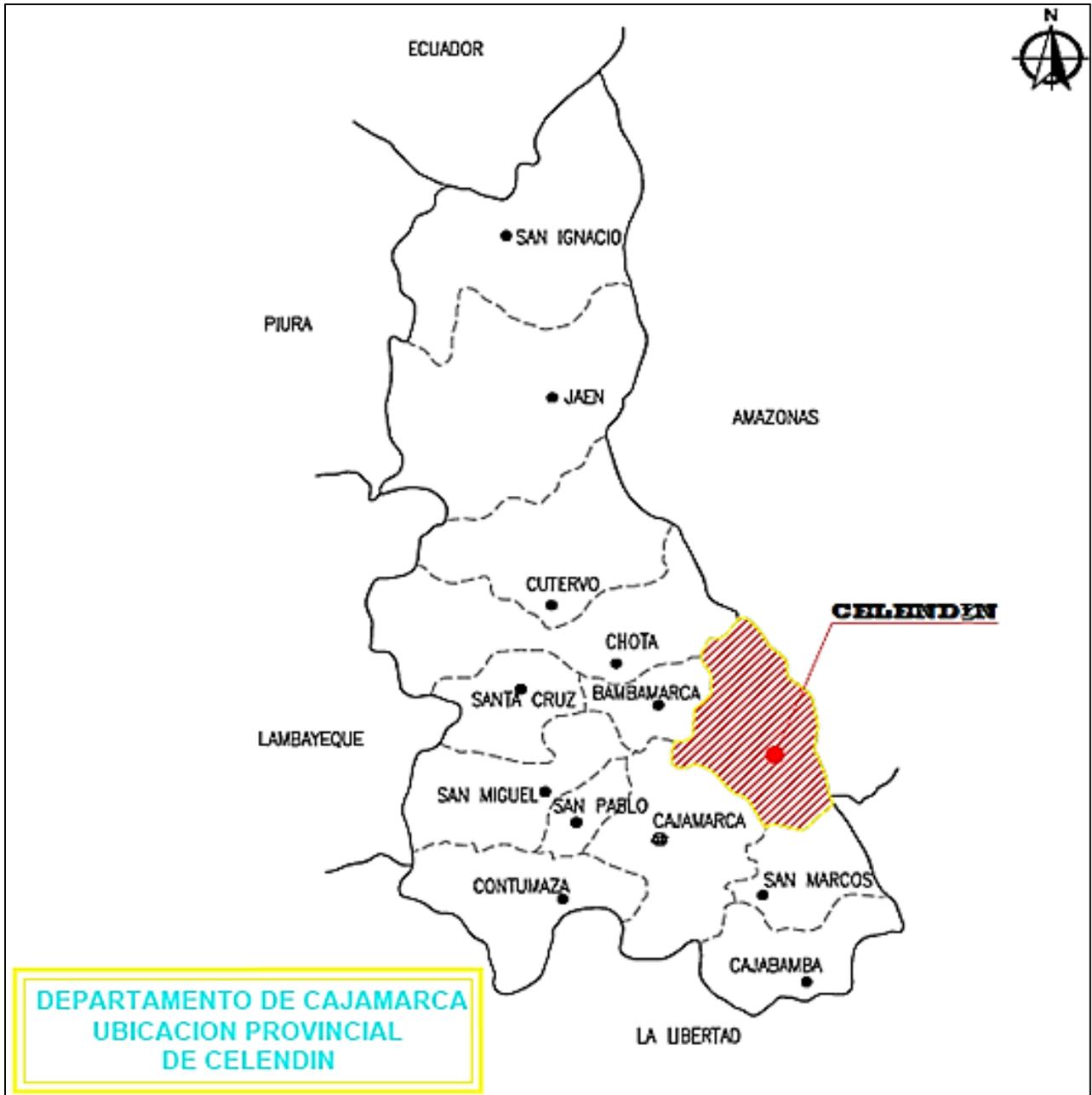


Figura 11: Ubicación política de la provincia de Celendín

- Captación de Molino Pampa

Coordenada Norte: 9 238 157 N

Coordenada Este: 810 764 E

Altura: 2817 m.s.n.m.

- Captación de La Quesera:

Coordenada Norte: 9 224 640 N

Coordenada Este: 816 505 E

Altura: 2807 m.s.n.m.

- Planta de Tratamiento de Filtros Lentos:

Coordenada Norte: 9 230 125 N

Coordenada Este: 818 652 E

Altura: 2780 m.s.n.m.

- Reservorio de reunión:

Coordenada Norte: 9 239 584 N

Coordenada Este: 814 751 E

Altura: 2669 m.s.n.m.

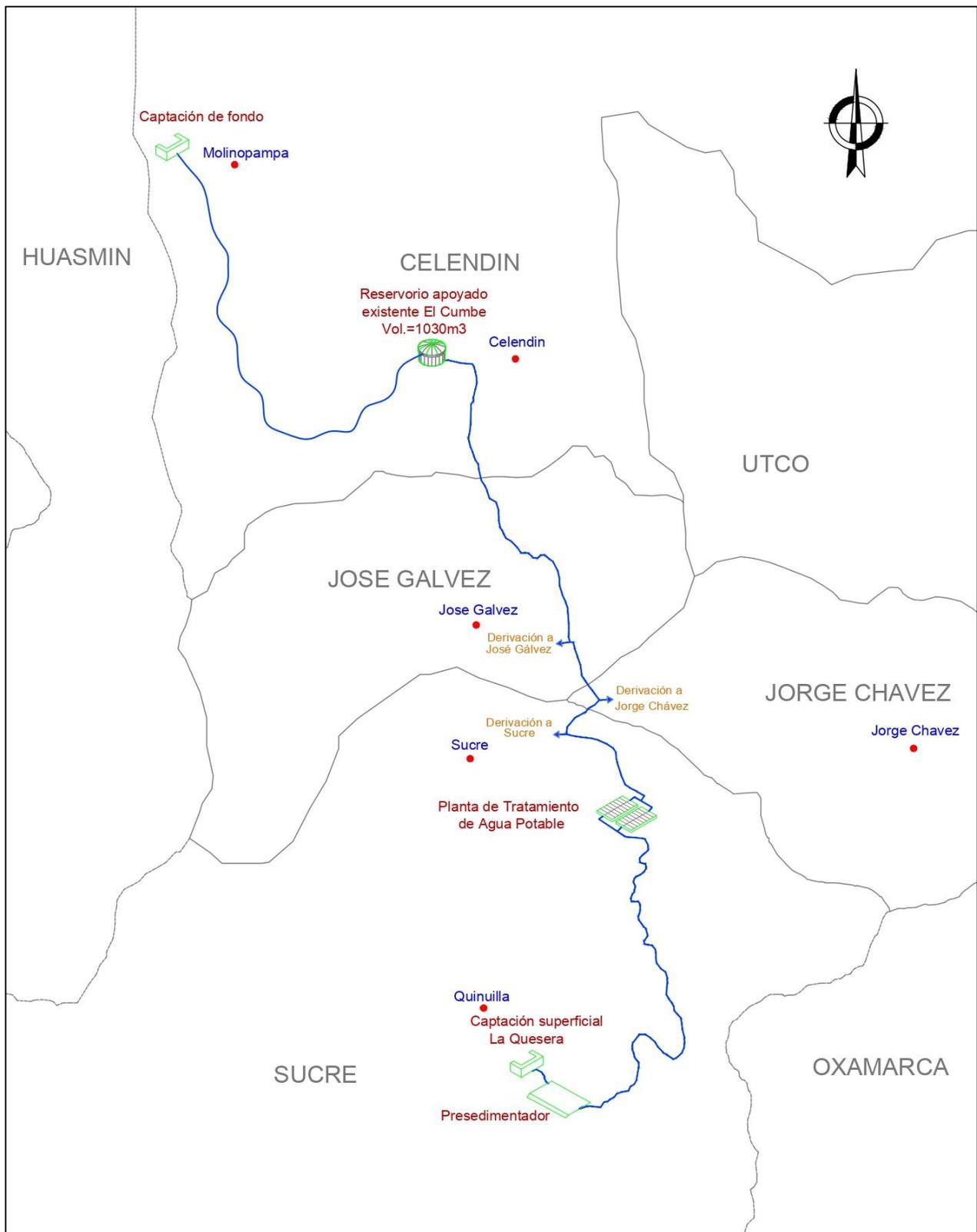


Figura 12: Ubicación política del sistema de tratamiento de agua potable para la ciudad de Celendín

3.2. AREA DE ESTUDIO

El sistema de agua potable que abastece a la ciudad de Celendín viene siendo abastecida por dos fuentes de agua: captación de fondo ubicada en el distrito de Molino Pampa (cuyo acceso es por la localidad de Malcat siguiendo una trocha carrozable hasta la localidad de Molino Pampa, del cual se accede a dicho manantial a través de un camino de herradura, de aproximadamente 0.8 kilómetros con dirección al suroeste) y captación de ladera ubicada en el distrito de Sucre, C.P. La Quinuilla, denominada La Quesera (el cual se accede desde la localidad de Cruz Conga siguiendo una trocha carrozable, que pasa por la localidad de Tincat, hasta la localidad de la Quinuilla, desde la cual el acceso es a través de un camino de herradura de aproximadamente 5 kilómetros con dirección noreste hasta mencionado manantial).

La calidad de agua presente en dichas fuentes es considerada por la autoridad competente de clase A1 y A2 respectivamente; sin embargo, tan solo una recibe tratamiento fisicoquímico adicional al de desinfección, en el que se considera: mezcla rápida (proceso incorporado en el 2018), sedimentación, filtración lenta y pre-desinfección.

La PTAP de filtros lentos que da tratamiento al agua proveniente de la captación La Quesera, está ubicada en el distrito de Sucre, C.P. Conga de Urquía (a la que se accede siguiendo la carretera que comunica las ciudades de Celendín - Sucre, y Sucre – Oxamarca, hasta encontrar un desvío de trocha carrosable el cual va hasta el caserío La Conga de Urquía).

El reservorio que se encuentra en funcionamiento y que reúne el agua proveniente de las dos fuentes, se encuentra ubicado en la parte alta de la ciudad de Celendín (barrio: Alto-cumbe).

3.3. PERIODO DE EVALUACION

Las evaluaciones de campo se desarrollaron entre los meses de abril y julio del año 2019, considerando para la caracterización del agua presente en el sistema y la evaluación de las características hidráulicas de las estructuras involucradas en el tratamiento, los meses de abril, mayo y junio (periodo en el cual se constató la presencia de las dos estaciones más representativas de nuestra región: lluviosa y seca).

En lo que corresponde al monitoreo de concentraciones de cloro (reservorio) y cloro residual (red de distribución), se desarrolló en el mes de julio.

Tabla 16. Periodo seco y período húmedo de monitoreo, Sucre - Celendín (MEDINA CHAVEZ, 2018)

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Época de lluvias				Época seca						Época de lluvias	

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Análisis de calidad de agua presente en el sistema de abastecimiento

Para realizar dichos análisis hemos adoptado una metodología basada en la propuesta por el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (ANA, 2011).

La metodología consistió en tomar muestras representativas de las dos fuentes y el reservorio de reunión en recipientes herméticos de vidrio con capacidad de 1 litro cada una, para su posterior análisis microbiológico y fisicoquímico; mientras que, en lo que concierne al sedimentador y filtros lentos, se consideró tomar muestras tanto en su afluente como efluente en recipientes herméticos de plástico con capacidad de 0.5 litros para un análisis del parámetro “turbiedad”.

Dichos recipientes fueron previamente esterilizados y etiquetados conforme a lo establecido en la normativa utilizada. Así mismo todas las muestras fueron transportadas dentro de un cooler con una temperatura promedio de 9.5°C hasta llegar al laboratorio de SEDACAJ, donde se realizaron los análisis respectivos.

3.4.2. Caudal de entrada al Sistema de Tratamiento, por el método del trazador

Para el presente estudio se consideró la estimación del caudal de oferta de la fuente “La Quesera”. La cual es captada mediante un barraje fijo y un canal rectangular que deriva el caudal hacia la cámara de entrada, la misma que se comunica con el Sedimentador mediante una tubería PVC de DN 250 mm.

Debido a complicaciones estructurales presentes en la captación, es que se consideró tomar como zona de muestreo el recorrido existente entre la cámara de derivación (Fig18) y el sedimentador (127 metros de tubería). La metodología utilizada consiste en preparar la solución en un volumen de 4 litros agregando 1 kg de sal de mesa, posterior a ello medimos la conductividad eléctrica inicial presente en el agua como también de la solución, obteniendo un valor de 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 354.73 mS/cm respectivamente.

Dicha solución la vertimos en el inicio de la tubería (ubicada en la cámara de entrada), y después de un tiempo estimado (2 min) procedemos a tomar muestras de agua en la salida de la tubería (ingreso al sedimentador) en un intervalo de 10 segundos entre cada muestra, hasta percibir que la conductividad se haya restablecido a la inicial.

Procesando los datos obtenidos y aplicando la ecuación 45, obtendremos nuestro resultado.

3.4.3. Características hidráulicas en el Sedimentador, utilizando trazador (NaCl)

La metodología adoptada en esta práctica consiste en calcular el peso del trazador que será necesario para la preparación de la solución a verter (ecuación 41). Una vez determinada dicha cantidad se procede a preparar la solución, para nuestro caso, en un volumen de 36 litros se agregó 20 kilogramos de sal de mesa.

A continuación medimos la conductividad eléctrica inicial presente en el afluente de la unidad obteniendo un valor de 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para después proceder a verter la solución de manera instantánea.

Ya ubicados en el efluente de la unidad controlamos un tiempo estimado de 20 minutos para dar inicio a la toma de muestras en dicha sección, considerando un intervalo de tiempo de 5 min entre cada muestra. El término del muestreo será hasta cerciorarnos que la conductividad eléctrica se ha restablecido a la inicial.

Con los datos obtenidos en campo, aplicaremos la metodología de Wolf y Resnick descrita anteriormente, determinando el tiempo de retención real, tipo de flujo presente en la unidad, y presencia de fenómenos hidráulicos como el caso de corto circuitos o recirculación.

3.4.4. Pérdida de carga en el lecho filtrante

Se consideró determinar dicho valor únicamente en una de las 6 unidades existentes en la PTAP de filtración lenta, suponiéndonos que las características de diseño e hidráulicas son las mismas en todas las unidades.

Conocedores de las variables consideradas en la metodología de G.M. Fair y L.P. Hatch, para determinar la carga inicial provocada por el lecho filtrante, se detalla a continuación la determinación de las variables más resaltantes:

Velocidad de Filtración

Para la determinación de este parámetro, se optó por calcularlo mediante la relación existente entre la tasa de filtración y el área superficial.

- **Tasa de filtración**

En la determinación de la tasa de filtración o caudal de filtración, se consideró aplicar el método volumétrico debido a su sencillez y adaptabilidad en la estructura de salida del filtro lento.

- **Área Superficial de la unidad**

Basta con conocer las longitudes de ancho y largo, para poder obtener el área superficial con la que trabaja la unidad.

Características granulométricas del material filtrante

A diferencia de la variables anteriores, la determinación de estos parámetros fueron obtenidos mediante ensayos de laboratorio realizados a una muestra representativa extraída del lecho filtrante en el término de su mantenimiento.

El volumen de muestra extraída fue de 225 gramos, a la cual se le sometió a un proceso de secado en una estufa durante 24 horas a 105 °C.

Ya con la muestra seca se procedió a zarandear la muestra y determinar los pesos retenidos en cada uno de los tamices: 1/4", N°4, N°10, N° 40, N°100 y N° 200; para

finalmente expresar en porcentajes cada una de las cantidades tamizadas que nos serán útiles en la obtención la curva granulométrica y sus valores representativos.

Porosidad del material que constituye el lecho filtrante

Después del tamizado realizado en la práctica anterior, se determinó tres tipos de arena según el tamaño de partículas: gruesa (pasa tamiz N°4), media (pasa tamiz N°10) y fina (pasa el tamiz N°40) según la normativa ASTM; procediendo a determinar su porosidad, como se describe a continuación:

Medimos un volumen de muestra seca en una probeta, para después proceder a saturar con agua dicho volumen con la ayuda de una pipeta. Al término de la saturación, se mide el volumen de agua utilizado, el cual corresponderá al volumen de vacíos, mientras que el volumen total será el resultado del volumen inicial de la muestra seca más el volumen de vacíos.

3.4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

El tratamiento dado al agua de La Quesera presenta entre sus estructuras involucradas: un barraje fijo, un canal de derivación y una cámara de entrada concernientes a la captación, seguida de una tubería DN 250mm de 127.14 metros de longitud que conecta con el sedimentador, el cual trabaja con dos unidades en paralelo realizando la función de pretratamiento. El efluente de dicho sedimentador es derivado mediante tuberías de DN: 315mm y 250mm en un recorrido de 13.021 km, hasta llegar a la PTAP de Filtros Lentos ubicada en el C.P Conga de Urquía (distrito de Sucre), en donde el agua es fraccionada uniformemente y atraviesa 6 unidades de filtros lentos, para luego ser almacenada en una cámara cisterna donde se le suministra cloro gas como proceso final de pre desinfección. Una vez tratada el agua, ésta será transportada mediante tubería de DN 250 mm una longitud de 13,264 km hasta el reservorio principal ubicado en la ciudad de Celendín, donde se reunirá con el agua proveniente de la captación de Molino Pampa para ser sometidas a su desinfección final y posterior distribución.

El diseño del tratamiento de la fuente La Quesera fue elaborado para un caudal de 40 lps, sin embargo en el recorrido existente desde la PTAP de Filtros Lentos hacia el Reservorio, se presentan tres derivaciones que abastecen a los distritos de Sucre, José Gálvez y Jorge Chávez, disminuyendo dicha oferta.

Captación La Quesera

El agua captada de este manantial es derivado por un canal y atraviesa un cribado (considerado parte del pre-tratamiento) antes de llegar a la cámara de entrada.



Figura 13: Captación La Quesera: manantial, canal de derivación y cribado

La cámara de entrada se encuentra instalada a la margen izquierda del canal de derivación. Y a su vez presenta tres comparticiones:

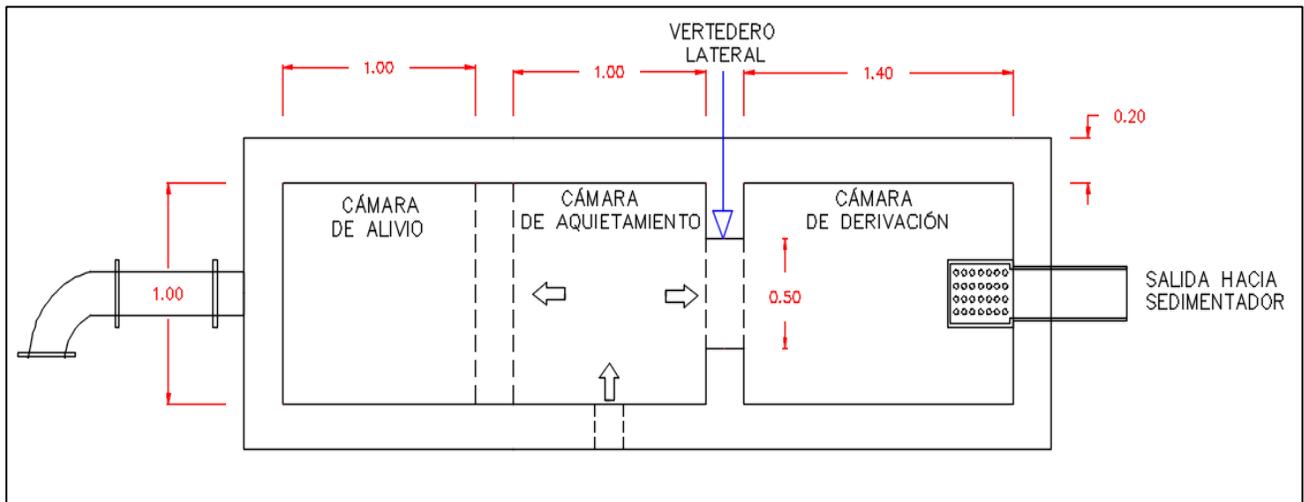


Figura 14: Captación La Quesera: detalle de cámara de entrada

En el vertedero que comunica la cámara de quietamiento con la cámara de derivación se ha instalado una compuerta para la regulación del caudal, así como también se ha incorporado un mecanismo de mezcla rápida (para el proceso de coagulación) ubicado a continuación de dicha compuerta.



Figura 15: Captación La Quesera: compuerta de regulación y dispositivo para mezcla rápida

Sedimentador (Pre-tratamiento)

Es la segunda estructura del sistema, consta de dos unidades de flujo horizontal que trabajan en paralelo. Presentan una geometría rectangular con dimensiones de 4.50 por 22.65 metros y una capacidad que oscila los 370 m³ por unidad.

Fue diseñada con el fin de disminuir la tasa de sólidos en suspensión y acondicionar la calidad del agua cruda a los límites aceptables por los filtros lentos.



Figura 16: Sedimentador de flujo horizontal – Pre-tratamiento

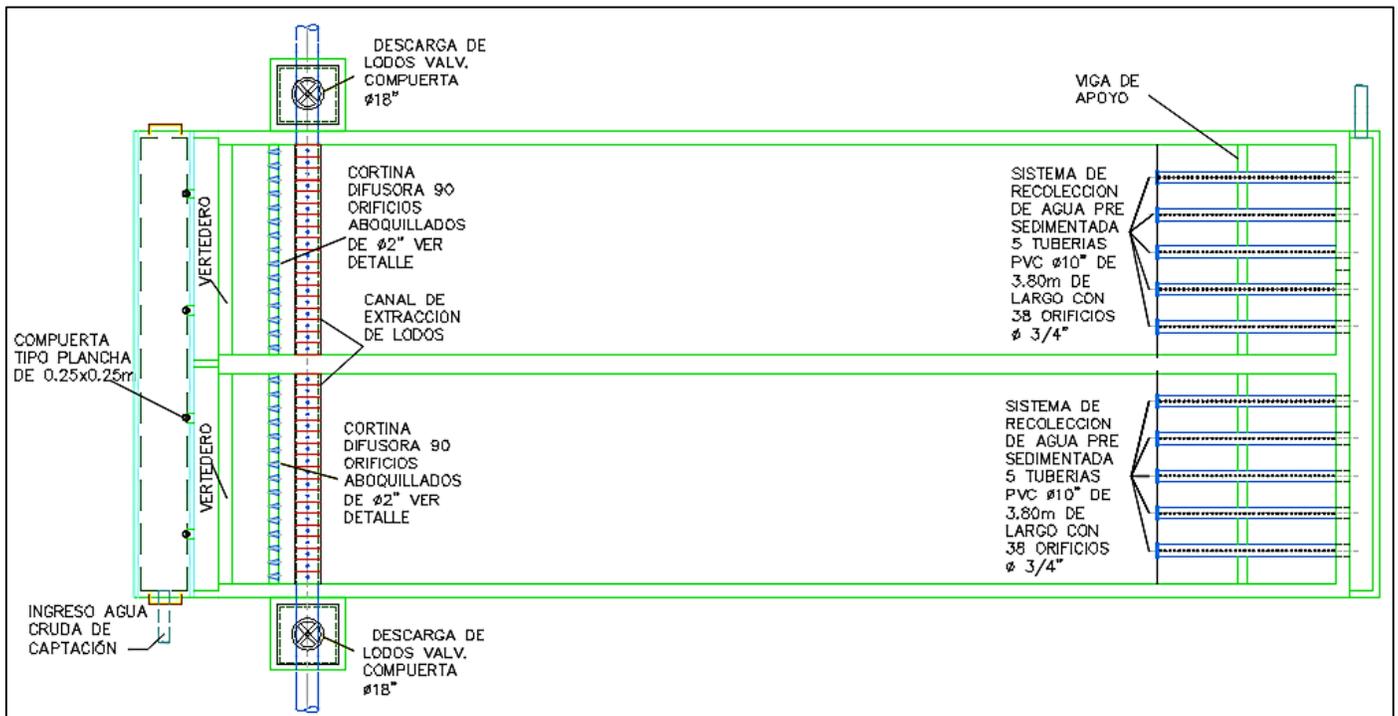


Figura 17: Sedimentador de flujo horizontal – Vista en Planta

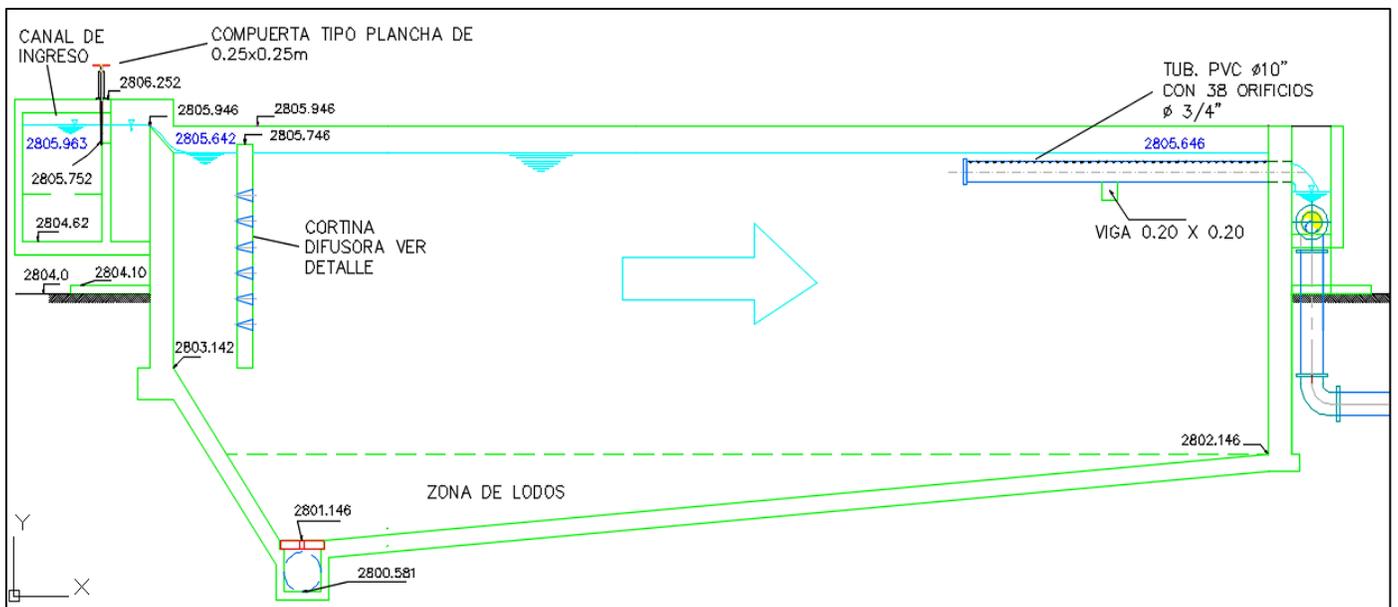


Figura 18: Sedimentador de flujo horizontal – Vista de Perfil

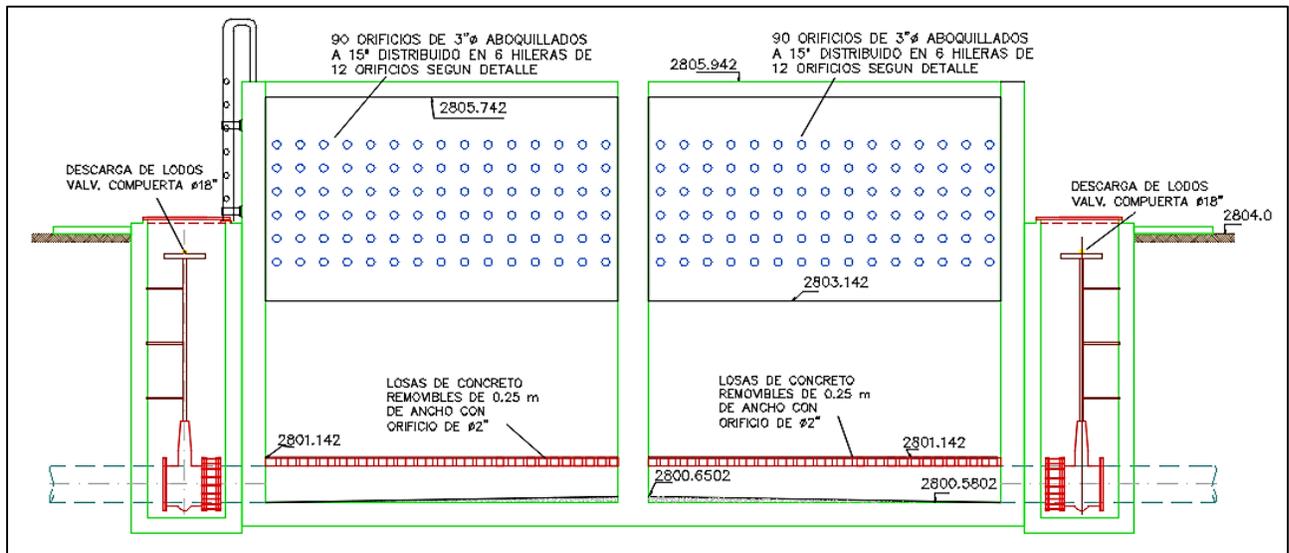


Figura 19: Sedimentador de flujo horizontal – Detalle de Pantalla con orificios

PTAP de Filtros Lentos

Después de haber atravesado el proceso de pre-tratamiento, el agua es derivada hacia la PTAP de filtros lentos, donde se encuentran 6 unidades de flujo vertical descendente, con geometría rectangular y medidas estándar de 8.20 metros de ancho por 14.30 metros de largo y una profundidad total de 2.55 metros. El lecho filtrante está conformado principalmente por arena y grava sobre una base de ladrillos ubicados en dos filas en forma de laberinto.



Figura 20: PTAP de Filtración Lenta

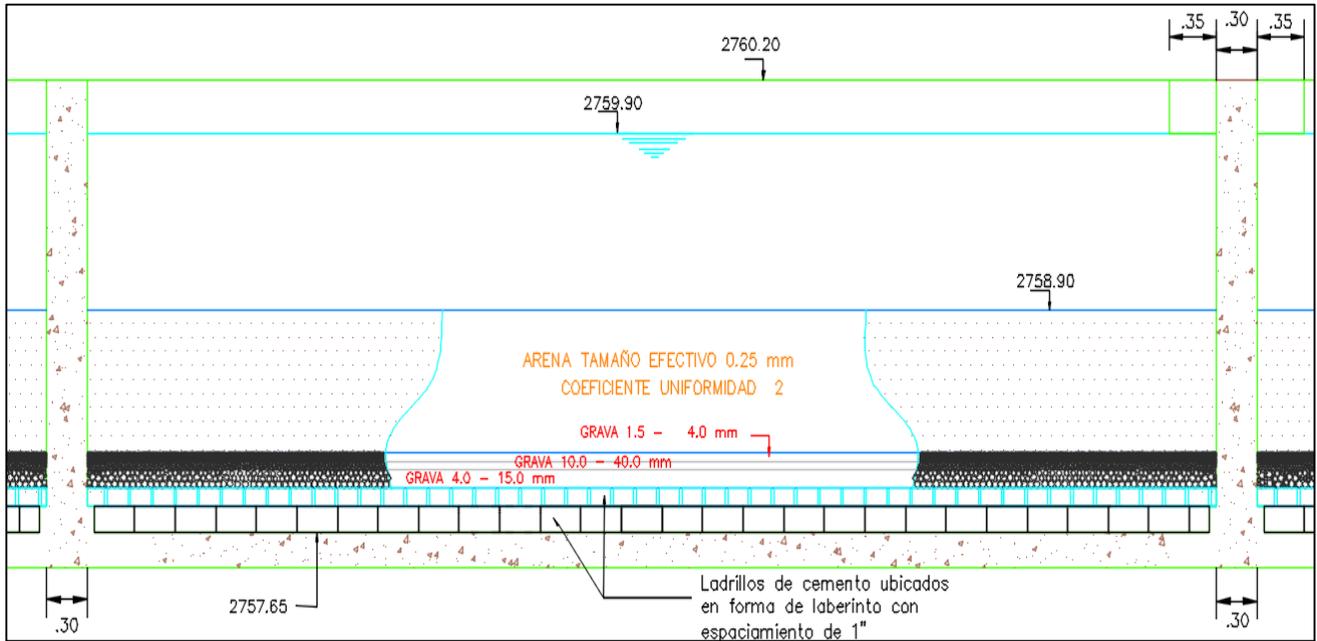


Figura 21: Filtro lento – Vista Perfil

El ingreso del agua a cada filtro es regulado mediante una compuerta tipo plancha, seguida de un vertedero tipo cimacio que ayuda a la uniformidad del ingreso del agua.



Figura 22: Afluente de Filtro lento

Cámara cisterna

El agua filtrada proveniente de las cámaras de reunión, son almacenadas en una cámara cisterna donde se le suministra cloro gas a presión.



Figura 23: Ubicación de cámara cisterna en PTAP



Figura 24: Cámara cisterna

Cloración en PTAP

La planta cuenta con una caseta donde se ha instalado el sistema de cloración, el cual consta de un tanque de cloro gas conectado a un digitador de cloro el cual mide la cantidad de cloro suministrado a la cámara cisterna mediante una tubería (1/2") de PVC.



Figura 25: Sistema de cloración en la PTAP

Captación de Molino Pampa

La estructura consta de una pantalla diseñada para captar y proteger el manantial, derivando el agua hacia la cámara húmeda de sección rectangular, donde se encuentran instalados 3 recolectores de 12" previstas con su canastilla, los mimos que son controladas mediante válvulas, ubicadas en la cámara seca de sección rectangular.

El agua recolectada en esta captación, es derivada mediante tuberías de 10" una distancia de 11 km aproximadamente hasta el reservorio principal.



Figura 26: Captación de manantial de fondo, Molino Pampa

Reservorio Principal

Ubicado en el barrio El Cumbe de la ciudad de Celendín, presenta una geometría circular y una capacidad de 1030 m³.



Figura 27: Reservorio de Abastecimiento de la ciudad de Celendín

Cloración en Reservorio

La desinfección realizada en el reservorio es un tratamiento químico complementario, dirigido exclusivamente al agua proveniente de la captación Molino Pampa.

Su aplicación es de forma manual, y la solución a verter es obtenida mediante la disolución de cloro granular (hipoclorito de calcio), en una dosis de 1100 a 1200 gramos por día.



Figura 28: Sistema de cloración en reservorio

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de la calidad de agua presente en el sistema de abastecimiento

Los resultados obtenidos por el Laboratorio de SEDACAJ, con el mayor índice de turbidez fueron los siguientes:

TABLA 17: Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico del Reservorio de Celendín

Punto de muestreo: Reservorio de reunión

Ubicación: Barrio Alto Cumbe

Distrito: Celendín

Provincia: Celendín

Región: Cajamarca

Fecha de monitoreo: 10 de abril de 2019

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Análisis Fisicoquímico		
Turbiedad	UNT	0.93
pH a 18.7°C	---	7.72
Conductividad	μS/cm	245
Dureza	mg/L	238
Cloruros	mg/L	23
Sulfatos	mg/L	2
Nitratos	mg/L	2
Cianuro	mg/L	<0.005
Aluminio	mg/L	0.054
Cobre	mg/L	0.048
Cromo	mg/L	<0.002
Hierro	mg/L	0.106
Manganeso	mg/L	0.365
Zinc	mg/L	0.079
Análisis Bacteriológico		
Coliformes totales	UFC/100 ml	6
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 ml	0

TABLA 18: Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico de la Fuente La Quesera

Punto de muestreo: Afluente sedimentador

Ubicación: Captación la Quesera

Distrito: Sucre

Provincia: Celendín

Región: Cajamarca

Fecha de monitoreo: 10 de abril de 2019

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Análisis Fisicoquímico		
Turbiedad	UNT	14.10
pH a 18.3°C	---	7.81
Conductividad	μS/cm	247
Dureza	mg/L	272
Cloruros	mg/L	22
Sulfatos	mg/L	2
Nitratos	mg/L	2
Cianuro	mg/L	<0.005
Aluminio	mg/L	0.031
Cobre	mg/L	0.071
Cromo	mg/L	<0.002
Hierro	mg/L	0.212
Manganeso	mg/L	0.395
Zinc	mg/L	0.039
Análisis Bacteriológico		
Coliformes totales	UFC/100 ml	10
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 ml	6

TABLA 19: Análisis Fisicoquímico y Bacteriológico de la Fuente Molino Pampa

Punto de muestreo: Cámara húmeda

Ubicación: Captación Molino Pampa

Distrito: Molino Pampa

Provincia: Celendín

Fecha de monitoreo: 10 de abril de 2019

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Análisis Fisicoquímico		
Turbiedad	UNT	0.72
pH a 18.7°C	---	7.89
Conductividad	μS/cm	250
Dureza	mg/L	208
Cloruros	mg/L	18
Sulfatos	mg/L	0.5
Nitratos	mg/L	2
Cianuro	mg/L	<0.005
Aluminio	mg/L	0.037
Cobre	mg/L	0.015
Cromo	mg/L	<0.002
Hierro	mg/L	0.019
Manganeso	mg/L	0.388
Zinc	mg/L	0.043
Análisis Bacteriológico		
Coliformes totales	UFC/100 ml	8
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 ml	3

4.2. Cálculo del caudal de ingreso al sistema de tratamiento de la Captación La Quesera

TABLA 20: Datos obtenidos de la prueba de trazadores para determinación del caudal

MUESTRA	TIEMPO		CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{s/cm}$)
	Min	Seg	
0	0	0	255
1	2	0	255
2	2	10	392
3	2	20	708
4	2	30	759
5	2	40	694
6	2	50	608
7	3	0	559
8	3	10	517
9	3	20	481
10	3	30	445
11	3	40	408
12	3	50	394
13	4	0	370
14	4	10	364
15	4	20	362
16	4	30	343
17	4	40	311
18	4	50	297
19	5	0	289
20	5	10	280
21	5	20	276
22	5	30	274
23	5	40	271
24	5	50	270
25	6	0	268
26	6	10	267
27	6	20	262
28	6	30	257
29	6	40	255
30	6	50	255
31	7	0	255
32	7	10	255

- Procesamiento de datos para la determinación del caudal

TABLA 21: Datos procesados para determinación de caudal de ingreso

MUESTRA	TIEMPO	Δt (s)	CONDUCTIVIDAD	Δ CONDUCTIVIDAD	$C*\Delta t$ ($\mu S*s/cm$)
N°	(s)		($\mu S/cm$)	(mS/cm)	
0	0	0	255	0	0
1	10	10	255	0	0
2	20	10	392	137	1370
3	30	10	708	453	4530
4	40	10	759	504	5040
5	50	10	694	439	4390
6	60	10	608	353	3530
7	70	10	559	304	3040
8	80	10	517	262	2620
9	90	10	481	226	2260
10	100	10	445	190	1900
11	110	10	408	153	1530
12	120	10	394	139	1390
13	130	10	370	115	1150
14	140	10	364	109	1090
15	150	10	362	107	1070
16	160	10	343	88	880
17	170	10	311	56	560
18	180	10	297	42	420
19	190	10	289	34	340
20	200	10	280	25	250
21	210	10	276	21	210
22	220	10	274	19	190
23	230	10	271	16	160
24	240	10	270	15	150
25	250	10	268	13	130
26	260	10	267	12	120
27	270	10	262	7	70
28	280	10	257	2	20
29	290	10	255	0	0
30	300	10	255	0	0
31	310	10	255	0	0
32	320	10	255	0	0
				$\Sigma=$	38410

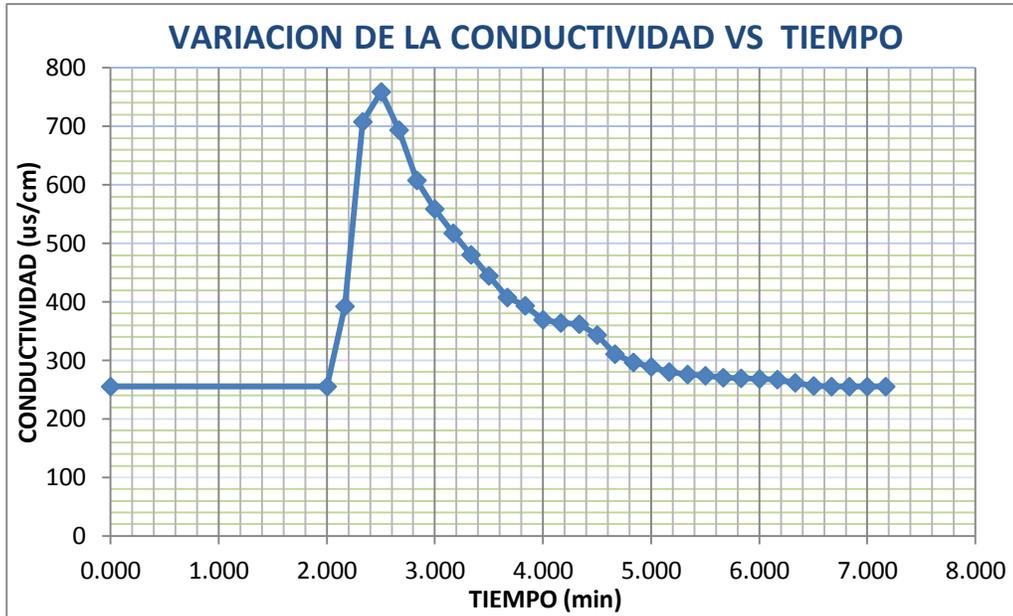


Figura 29: Variación de la conductividad con respecto al tiempo para la determinación del caudal

Para la determinación del caudal hacemos uso de la ecuación (45) que corresponde al método de inyección instantánea:

En donde:

- $V1 = 4 \text{ lts}$
- $C1 = 354730 \mu\text{S/cm}$
- $\int_0^t C2 * dt = 38410 \mu\text{S/cm}$

Obteniendo un caudal resultante de 36.94 lts/seg, el cual difiere levemente del caudal de diseño (40 lts/seg).

4.3. Características hidráulicas del Sistema de coagulación

Debido a que este proceso se adicionó en el año 2018, el vertimiento del coagulante se acondicionó aprovechando la caída del flujo presente entre la cámara de aquietamiento y cámara de derivación (Sección 1).

$$A2 = h2 * b2 = 0.78 * 1 = 0.78 \text{ m}^2$$

- Conocido el caudal de ingreso (36.94 l/s), determinamos:

$$V1 = Q / A1 = 0.052 \text{ m/s}$$

$$V2 = Q / A2 = 0.047 \text{ m/s}$$

- ❖ Cálculo del tiempo de retención (T) entre las secciones (1) y (2):

- Utilizando la ecuación (6), tenemos:

Dónde:

$$L = 0.93 \text{ m}$$

$$T = 18.71 \text{ s}$$

- ❖ Cálculo de la pérdida de carga entre las secciones (1) y (2):

- Sustituyendo valores en la ecuación (3), obtenemos:

$$hf = 0.155 \text{ mm}$$

- ❖ Cálculo del gradiente de velocidad

- Aplicando la ecuación (5), determinamos:

$$G = 8.19 \text{ s}^{-1}$$

4.4. Características hidráulicas del Sedimentador

Estimación de la eficiencia

Con los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de las muestras tomadas en el afluente y efluente, calculamos la eficiencia en función de la remoción de turbiedad, aplicando la ecuación (13):

Dónde:

TABLA 22: Valores de turbiedad presente en el sedimentador

Punto de Muestreo	Turbiedad (UNT)	Fecha de monitoreo	Observación
Afluente	14.1	10 de abril del 2019	El muestreo se realizó en tiempo de lluvias
Efluente	13.4		
Afluente	5.83	03 de mayo del 2019	El muestreo se realizó a inicios del verano
Efluente	5.24		
Afluente	3.95	11 de junio del 2019	El muestreo se realizó en tiempo estiaje
Efluente	3.94		

Reemplazando datos de los análisis fisicoquímicos realizados, se obtiene:

- Ef 1 = 4.96%
- Ef 2 = 10.12%
- Ef 3 = 13.92%

Análisis del tiempo de retención real y el tipo de flujo presente en el Sedimentador

Previo al análisis de la práctica con trazador, se determinó las siguientes características:

TABLA 23: Características del sedimentador

Parámetro	Valor
Caudal de ingreso (lts/seg)	36.94
Área de perfil del sedimentador (m ²)	94.21
Ancho de unidad (m)	4.5
Volumen del sedimentador (m ³)	423.95
Volumen útil del sedimentador (m ³)	370.98
Tiempo de retención teórico (min)	167.37

- ❖ Cálculo de peso del trazador a incorporar:
Utilizando la ecuación (41) que se basa en el método por inyección instantánea, obtenemos:

Dónde:

- $V = 370.98 \text{ m}^3$
- $K = 1.65$
- $C_o = 30 \text{ mg/L}$
- $I = 90\%$

- El peso del trazador que será incorporado es de $P = 20 \text{ kg}$.

- ❖ Los datos obtenidos en la práctica de campo son los siguientes:

TABLA 24: Datos registrados de la prueba de trazadores para determinación de las características hidráulicas en el Sedimentador

MUESTRA	TIEMPO	CONDUCTIVIDAD
N°	(min)	($\mu\text{S/cm}$)
1	0	255
2	20	255
3	25	255
4	30	255

MUESTRA	TIEMPO	CONDUCTIVIDAD
N°	(min)	(μ S/cm)
5	35	255
6	40	255
7	45	326
8	50	389
9	55	452
10	60	513
11	65	796
12	70	924
13	75	1136
14	80	1372
15	85	1645
16	90	1976
17	95	2184
18	100	2345
19	105	2142
20	110	2058
21	115	1932
22	120	1824
23	125	1703
24	130	1620
25	135	1513
26	140	1328
27	145	1086
28	150	943
29	155	871
30	160	764
31	165	695
32	170	632
33	175	589
34	180	546
35	185	498
36	190	439
37	195	375
38	200	314
39	205	284
40	210	263
41	215	255
42	220	255
43	225	255

❖ Procesando los datos obtenidos en campo, obtenemos:

TABLA 25: Prueba de trazador en el sedimentador

MUESTRA	TIEMPO	CONDUCT.	t/to	C-Co	$\Sigma(C-Co)$	F(t)	1-F(t)
N°	(min)	($\mu S/cm$)					
1	0	255	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	20	255	0.12	0.00	0.00	0.00	100.00
3	25	255	0.15	0.00	0.00	0.00	100.00
4	30	255	0.18	0.00	0.00	0.00	100.00
5	35	255	0.21	0.00	0.00	0.00	100.00
6	40	255	0.24	0.00	0.00	0.00	100.00
7	45	326	0.27	71.00	71.00	0.26	99.74
8	50	389	0.30	134.00	205.00	0.74	99.26
9	55	452	0.33	197.00	402.00	1.45	98.55
10	60	513	0.36	258.00	660.00	2.37	97.63
11	65	796	0.39	541.00	1201.00	4.32	95.68
12	70	924	0.42	669.00	1870.00	6.72	93.28
13	75	1136	0.45	881.00	2751.00	9.89	90.11
14	80	1372	0.48	1117.00	3868.00	13.91	86.09
15	85	1645	0.51	1390.00	5258.00	18.91	81.09
16	90	1976	0.54	1721.00	6979.00	25.10	74.90
17	95	2184	0.57	1929.00	8908.00	32.04	67.96
18	100	2345	0.60	2090.00	10998.00	39.55	60.45
19	105	2142	0.63	1887.00	12885.00	46.34	53.66
20	110	2058	0.66	1803.00	14688.00	52.82	47.18
21	115	1932	0.69	1677.00	16365.00	58.85	41.15
22	120	1824	0.72	1569.00	17934.00	64.49	35.51
23	125	1703	0.75	1448.00	19382.00	69.70	30.30
24	130	1620	0.78	1365.00	20747.00	74.61	25.39
25	135	1513	0.81	1258.00	22005.00	79.13	20.87
26	140	1328	0.84	1073.00	23078.00	82.99	17.01
27	145	1086	0.87	831.00	23909.00	85.98	14.02
28	150	943	0.90	688.00	24597.00	88.46	11.54
29	155	871	0.93	616.00	25213.00	90.67	9.33
30	160	764	0.96	509.00	25722.00	92.50	7.50
31	165	695	0.99	440.00	26162.00	94.08	5.92
32	170	632	1.02	377.00	26539.00	95.44	4.56
33	175	589	1.05	334.00	26873.00	96.64	3.36
34	180	546	1.08	291.00	27164.00	97.69	2.31
35	185	498	1.11	243.00	27407.00	98.56	1.44
36	190	439	1.14	184.00	27591.00	99.22	0.78

37	195	375	1.17	120.00	27711.00	99.65	0.35
38	200	314	1.19	59.00	27770.00	99.87	0.13
39	205	284	1.22	29.00	27799.00	99.97	0.03
40	210	263	1.25	8.00	27807.00	100.00	0.00
41	215	255	1.28	0.00	27807.00	100.00	0.00
42	220	255	1.31	0.00	27807.00	100.00	0.00
43	225	255	1.34	0.00	27807.00	100.00	0.00

❖ Aplicando la metodología de Wolf y Resnick obtenemos:

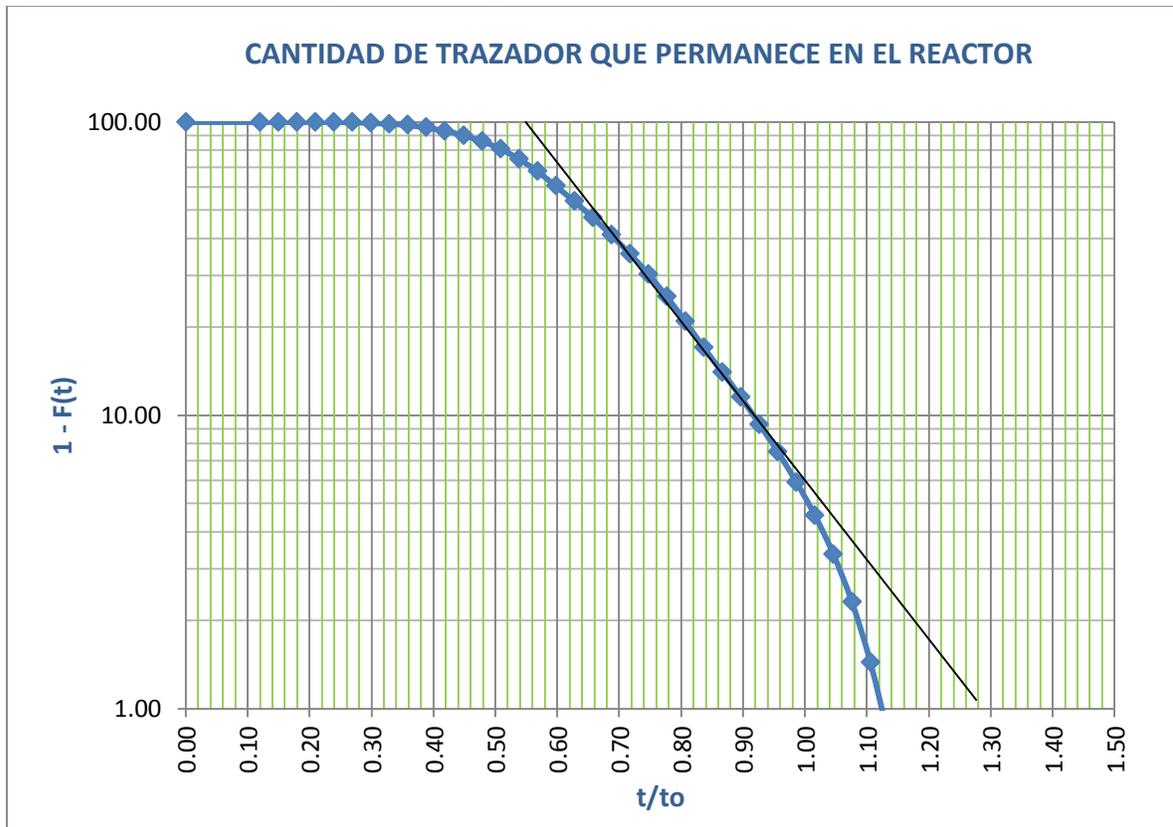


Figura 32: Curva de cantidad de trazador que permanece en el reactor

De la figura (32) obtenemos los siguientes valores:

- $\Theta = 0.55$
- $T1 / To = 0.55$
- $T2 / To = 0.92$

Reemplazando valores en la ecuación (33), se tiene:

- $\text{Tan } \alpha = 2.70$

Cálculo del flujo de pistón, utilizando la ecuación (30):

- $P = 77.36\%$

Cálculo de los espacios muertos, mediante la ecuación (31.a):

- $m = 28.91\%$

Cálculo del flujo mezclado, mediante la ecuación (31.b):

- $M = 22.64\%$

❖ Análisis por el método de la curva de tenencia:

Graficando los valores de "t" vs "C - Co" de la tabla (25), observamos:

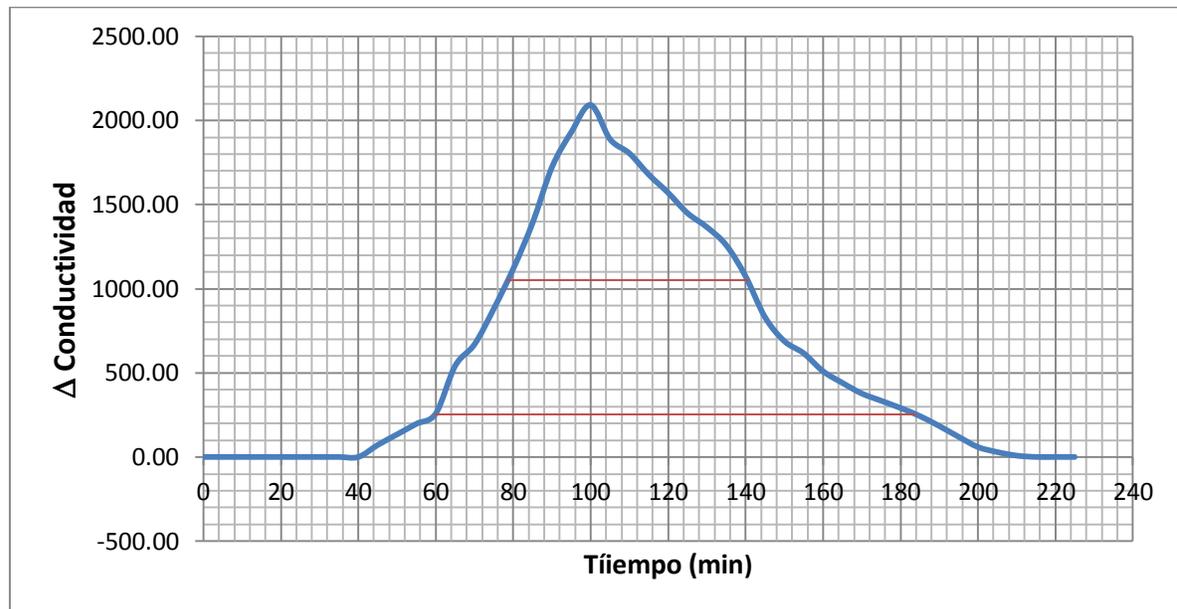


Figura 33: Variación de conductividad con respecto al tiempo

- Tiempo de aparición del trazador: $t_i = 40 \text{ min}$
- Tiempo modal (máxima concentración): $t_p = 100 \text{ min}$
- Tiempo para que atraviese la totalidad del trazador: $t_f = 210 \text{ min}$
- Valores Auxiliares:
 - $C_p = 2090 \mu\text{S/cm}$
 - $T_b = \text{para } C_p / 10 = 124 \text{ min}$
 - $T_c = \text{para } C_p / 2 = 61 \text{ min}$
- Cálculo del tiempo medio de residencia (t_m):

Con los valores obtenidos en la tabla (25), extrapolamos:

105	46.34
<u>110</u>	<u>52.82</u>
5	6.48
X	3.66
X = 2.82 min	

- $t_m = 107.82 \text{ min}$

TABLA 26: Resultados del análisis de la curva de concentración de trazador en el efluente del Sedimentador

$t_i / t_o =$	0.24	Existe paso directo del trazador entre la entrada y la salida (cortocircuito hidráulico)
$t_m / t_o =$	0.64	Existen cortocircuitos hidráulicos
$t_p / t_o =$	0.60	Existe los dos tipos de flujo, con predominio de pistón
$t_c / t_o =$	0.36	Este valor es inferior a 0.7, se considera que en la unidad existe pocas corrientes de inercia (turbulencia), por lo que la proporción de flujo mezclado es baja
$t_b / t_o =$	0.74	Comparado a 2.3, se podría deducir que en la unidad existe poca recirculación de las corrientes de flujo, evidenciando un bajo nivel de mezcla.
$e = ((t_f - t_p) - t_p - t_i) / t_o$	0.30	Este valor hace referencia a que en la unidad existe un mínimo de recirculación; y complementa a que el predominio del flujo es de pistón.

❖ Índice de Morrill:

Para la determinación de este valor aplicamos la ecuación (40), obteniendo:

- $t_{10} = 75.14$ min
- $t_{90} = 153.48$ min
- $IM = 2.043$

El resultado obtenido refuerza el criterio de existencia de flujo de pistón.

4.5. Pérdida de carga en lecho filtrante

Estimación de la eficiencia

Con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de las muestras tomadas en el afluente y efluente, calculamos la eficiencia en función de la remoción de turbiedad, aplicando la ecuación (13):

Dónde:

TABLA 27: Valores de turbiedad presente en el filtro lento

Punto de Muestreo	Turbiedad (UNT)	Fecha de monitoreo	Observación
Afluente	12.30	10 de abril del 2019	El muestreo se realizó en tiempo de lluvias
Efluente	3.89		
Afluente	4.98	03 de mayo del 2019	El muestreo se realizó a inicios del verano
Efluente	0.92		
Afluente	2.05	11 de junio del 2019	El muestreo se realizó en tiempo estiaje
Efluente	0.35		

Reemplazando datos de los análisis fisicoquímicos realizados, se obtiene:

- Ef 1= 68.37%
- Ef 2= 81.53%
- Ef 3 = 82.93%

TABLA 28: Características del Filtro lento

Parámetro	Valor
Carga hidráulica en lecho filtrante	1.41 m
Espesor de lecho filtrante (arena)	0.265 m
Dimensiones de unidad de filtración	A = 8.20 m – L = 14.30 m – H = 2.55 m
Temperatura del agua	15 °C
Geometría de partículas	No esféricas
Periodo entre raspados	Cada 15 días

Cálculo de la velocidad de filtración (Vf)

Tasa de filtración

Gracias a la sección rectangular presente en el afluente del filtro, marcamos dos secciones con tirantes diferentes, para calcular el área y el volumen existente entre ellas, para la posterior determinación del caudal de filtración.

TABLA 29: Dimensiones de cámara efluente de filtro lento

Sección	Tirante	Largo	Ancho
1	0.54	110 cm – 111.5 cm	94.5 cm – 97 cm
2	0.74	110 cm – 112 cm	94 cm – 97 cm

- Área Promedio = 1.060 m²
- Volumen = 0.212 m³
- Tiempo de llenado = 21.2 s
- $Q_f = V / A$
- $Q_f = 0.010 \text{ m}^3/\text{s} = 10.002 \text{ l/s}$

Área superficial de la unidad

Teniendo en cuenta la geometría rectangular del filtro, se determinó:

- Largo = 14.30 m
- Ancho = 8.20 m
- Área Superficial = 117.26 m²

La velocidad de filtración será:

$$V_f = \text{Tasa de filtración} / \text{área superficial}$$

$$V_f = 0.085 \text{ L} / \text{s.m}^2$$

Granulometría y Características de la muestra

Utilizando la metodología propuesta en la norma ASTM D-422: Análisis granulométrico por tamizado, se determinó:

TABLA 30: Datos obtenidos en práctica de granulometría del material filtrante

TAMIZ	(mm)	Peso Retenido (g)	% PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1/4"	6.35	0.000	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.76	17.686	7.86	7.86	92.14
N°10	2	47.549	21.14	29.01	70.99
N°40	0.42	79.398	35.30	64.31	35.69
N°100	0.15	71.704	31.88	96.19	3.81
N°200	0.074	7.033	3.13	99.32	0.68
< N°200		1.528	0.68	100.00	0.00
		224.898			

Procesando la tabla (30), obtenemos:

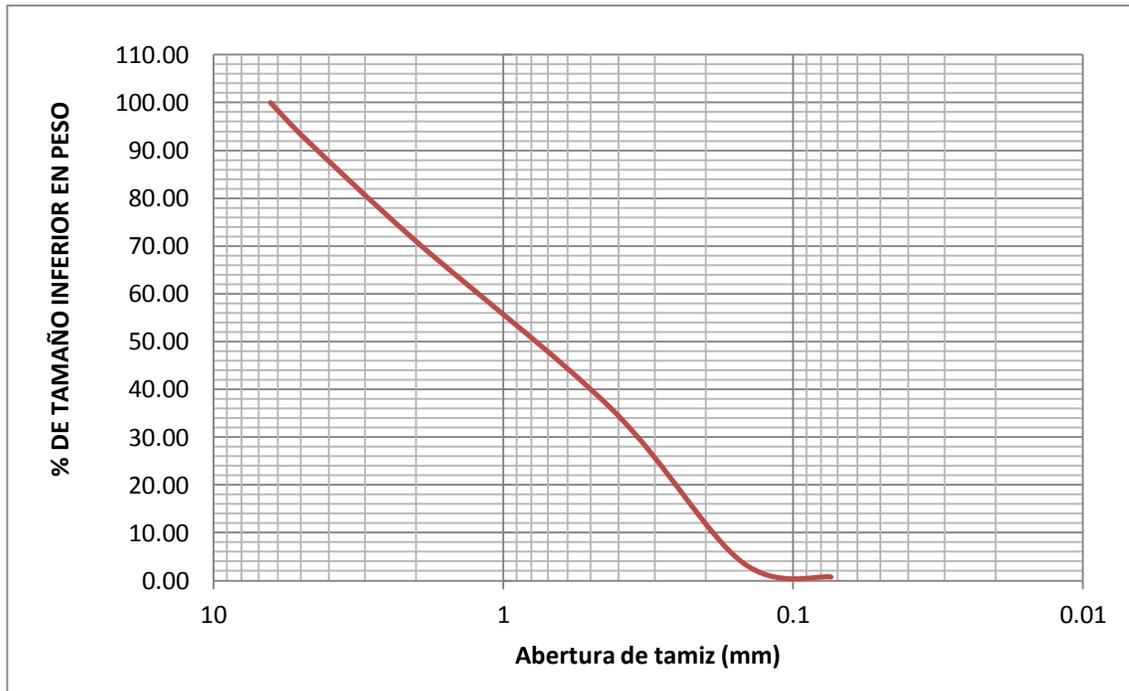


Figura 34: Curva granulométrica del material de lecho filtrante

De la figura (34), obtenemos los diámetros característicos:

- Diámetro efectivo: $D_{10} = 0.19 \text{ mm}$
- $D_{60} = 1.35 \text{ mm}$

- Coeficiente de uniformidad:
 $C_u = D_{60} / D_{10}$
 $C_u = 7.105$

Porosidad del material presente en el lecho filtrante

Habiendo clasificado el material filtrante de acuerdo a su tamaño de partículas (Norma ASTM), se logró determinar: arena gruesa (2 mm – 4.76 mm), arena media (0.42 mm – 2 mm) y arena fina (0.075 mm – 0.42 mm), determinando su porosidad con la ecuación 55:

Arena Gruesa

Datos:

- $V_s = 33$ ml
- $V_v = 13.8$ ml
- $V_t = 46.8$ ml
- $\Rightarrow n = 29.487 \%$

Arena Media

Datos:

- $V_s = 50$ ml
- $V_v = 19.5$ ml
- $V_t = 69.5$ ml
- $\Rightarrow n = 28.058 \%$

Arena Fina

Datos:

- $V_s = 54$ ml
- $V_v = 24.1$ ml
- $V_t = 78.1$ ml
- $\Rightarrow n = 30.858 \%$

Pérdida de carga inicial en lecho filtrante

Aplicando la ecuación (53), obtenemos:

Dónde:

- $f' = 5$
- $L = 0.265$ m
- $v = 0.00000114$ m²/s
- $g = 9.81$ m/s²
- $\nu = 0.0000853$ m³/(s.m²)
- $P_o = 0.30858$
- $D_c = 0.00019$ m
- $C_e = 0.75$

$$\Rightarrow h_o = 0.379 \text{ m}$$

4.6. Cloro residual en puntos estratégicos de la red de distribución

Debido a que la desinfección realizada en el reservorio es de forma manual, y la solución suministrada se la aplica a horas 6:00 am, se pudo constatar:

TABLA 31: Cloro residual en el sistema de distribución

PUNTO DE MUESTREO	CONENT. DE CLORO	FECHA: 09/07/19 HORA
Cámara cisterna - PTAP	1.24 ppm	10:30 am
Reservorio Principal	1.52 ppm	8:40 am
Conexión Domiciliaria 1 (a 50 m del Reservorio)	1.42 ppm	8:45 am
Conexión Domiciliaria 2 (a 1000 m del Reservorio)	1.46 ppm	9:00 am
Conexión Domiciliaria 3 (2000 m del Reservorio)	1.46 ppm	9:20 am
PUNTO DE MUESTREO	CLORO RESIDUAL	FECHA: 09/07/19 HORA
Reservorio Principal	0.68 ppm	2:40 pm
Conexión Domiciliaria 1 (a 400 m del Reservorio)	Sin agua	2:45 pm
Conexión Domiciliaria 2 (a 1100 m del Reservorio)	0.62 ppm	3:00 pm
Conexión Domiciliaria 3 (1900 m del Reservorio)	0.65 ppm	3:10 pm

4.7. Aumento de Usuarios beneficiados por el servicio.**TABLA 32: Crecimiento anual de usuarios del servicio de Agua Potable en la ciudad de Celendín**

AÑO	N° DE CONEX. DOM	CONEX. NUEVAS	TOTAL
2016	5428	216	5644
2017	5644	161	5805
2018	5805	111	5916
2019	5916	97	6013

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En lo que corresponde a la caracterización del agua ofertada por las fuentes de abastecimiento, se comparó los resultados obtenidos en laboratorio de SEDACAJ con los ECA, estipulados en el D.S. N°004-2017-MINAM; concluyendo que la calidad de la fuente de Molino Pampa es de tipo A1, mientras que la calidad de la fuente La Quesera corresponde al tipo A2.
- El caudal proveniente de la Captación La Quesera para la fecha en que se desarrolló la investigación bordea los 36.94 lts/seg, variando 3.06 lts/seg del caudal de diseño.
- Debido a la incorporación del proceso de coagulación en el sistema mencionado en el ítem anterior, se determinó que la sección en donde ocurre el proceso de mezcla rápida, presenta un gradiente de velocidad de 8.19 s^{-1} y un tiempo de retención de 18.71 seg, que comparados con los valores especificados en la NORMA OS.020, 2006 difieren considerablemente.
- Gracias al ensayo realizado con trazadores se determinó que en el sedimentador existe un 77.36% de flujo pistón, 22.64 % de flujo mezclado, 28.91% de zonas muertas y presencia de cortocircuitos hidráulicos; así como también, un tiempo de retención teórico de 167.37 minutos y un tiempo de retención real de 107.82 minutos.
- En lo que concierne a la evaluación de uno de los filtros lentos, éste presentó una tasa de filtración de $7.37 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ y una pérdida de carga inicial producida por el lecho filtrante de 0.379 m para un espesor de 0.265 m, mientras que, de considerarse un espesor de lecho filtrante mínimo (50 cm) para las mismas condiciones se generaría una pérdida de carga de 0.715 m.
- Las partículas de arena que conforman el lecho filtrante presentan una granulometría que va desde los 0.075 mm a 4.15 mm, con un diámetro efectivo de 0.19 mm, una porosidad entre 28.058% a 30.858% y un coeficiente de uniformidad de 7.105, el cual nos indica una mala gradación de partículas.
- En función a la remoción de turbiedad, el sedimentador presenta una eficiencia promedio de 9.67 %, mientras que los filtros lentos una eficiencia de 77.61%, lo que nos hace suponer que:

Deficiencias en el sedimentador

- La turbiedad presente en el afluente para la época de estiaje se debe principalmente a partículas suspendidas que en su mayoría son coloidales (necesitan de un fenómeno adicional o un mecanismo diferente para su sedimentación).
- La diferencia que existe entre el tiempo de retención real con el teórico, la presencia de cortos circuitos hidráulicos (provocados por corrientes superficiales de velocidades elevadas producidas por el viento en dirección del flujo), y el incumplimiento de los niveles de agua en el diseño de la estructura (como es el caso de la pantalla difusora, que trabaja de forma ahogada); son los factores más resaltantes que perjudican la eficiencia en la remoción de turbiedad en la unidad.

Deficiencias en los filtros lentos

- La moderada eficiencia de los filtros lentos se debe principalmente a que las características presentes en el material que conforma al lecho filtrante no son las adecuadas y no cumplen con lo estipulado en la NORMA OS.020, 2006.
- La desinfección por su parte presenta concentraciones elevadas tanto en el reservorio y red de distribución en horas de la mañana (sin embargo son valores que se encuentran dentro de los LMP), así también durante el día cumple con el rango mínimo de cloro residual en la red de distribución, según lo estipulado en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano – MINSA.
- En lo que concierne a los análisis bacteriológicos realizados en el reservorio se constató la presencia de microorganismos patógenos que no son eliminados, debido a que el tiempo de contacto del desinfectante es incierto y puede ser menor al recomendado por la norma OS 020 Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano.
- No hay registros de turbiedad en el agua ofertada por el manantial de ladera ubicado en la Quesera que compruebe valores por encima de las 50 UNT, por lo que se concluye en descartar de dicho tratamiento al proceso de coagulación, puesto que, implicaría construir una estructura de mezcla rápida y de floculación debido a que son procesos complementarios.

5.2. RECOMENDACIONES

- En lo que respecta a las captaciones e ingreso del agua, se recomienda instalar un medidor de caudal, con la finalidad de conocer con exactitud la cantidad de agua a tratar, para posteriormente poder aplicar una dosis óptima en el proceso de desinfección.

- En lo que concierne al proceso de sedimentación se recomienda:
 - Para incrementar el tiempo de retención real será fundamental trabajar con los niveles de agua de acuerdo al diseño (operación), de no ser factible debido a una mala construcción de la estructura, será recomendable reparar o reconstruir dichos niveles dando los acabados necesarios que permitan un buen desempeño de la unidad.
 - Para evitar las elevadas velocidades superficiales producidas por el viento, será necesario la instalación de baffles (generalmente de madera) que se ubican perpendicularmente a la dirección del flujo en todo lo ancho de la unidad, disminuyendo notablemente la velocidad superficial existente.

- Otra alternativa para el pre tratamiento sería:
 - Existe la posibilidad del acondicionamiento de placas o laminas en sedimentadores convencionales a fin de mejorar su eficiencia (sedimentador laminar), ya que la eficiencia de un sedimentador radica de su área, mas no de su profundidad y una subdivisión horizontal, produciría una superficie doble para recibir sedimentos duplicando la cantidad de trabajo, tres de aquellas subdivisiones la triplicarían y así sucesivamente (Hazen, 1904).
 - Entre otras alternativas de pre tratamiento que se adecue y ayude a la PTAP de filtros lentos en acondicionar la calidad física del agua, vendría a ser los pre filtros de grava (CEPIS, 2005).

- En la PTAP de Filtros Lentos se recomienda cumplir con los parámetros establecidos por la NORMA OS 020-2006, principalmente en lo que corresponde al material que conforma el lecho filtrante; como también en la operación y mantenimiento de las válvulas, compuertas, sistema de cloración y accesorios existentes en la planta.

- En el proceso de desinfección realizado en el reservorio, se recomienda hacer todo lo posible por acondicionar una cámara de reunión para el agua proveniente de Molino Pampa (antes del reservorio), que permita realizar el proceso de desinfección cumpliendo con el tiempo de contacto estipulado por el reglamento, eliminando todo huevo, larva y microorganismo patógeno.

- Se recomienda el pintado de todas las estructuras involucradas en el sistema de abastecimiento utilizando sulfato de cobre, ya que este componente ayuda a evitar el desarrollo de algas y la corrosión del concreto.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- SUNASS (2004).** La calidad de agua potable en el Perú
- ANA (2011).** Protocolo Nacional de la Calidad del Agua
- INEI (2017).** Formas de acceso al agua y saneamiento básico en el Perú, Síntesis Estadística
- MINAM (2017).** Estándares de Calidad Ambiental para Agua
- MINSA (2010).** Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano
- NORMA OS.020. (2006).** Plantas de Tratamiento de Agua Para Consumo Humano
- CHULLUNCUY CAMACHO, N. (2011).** Tratamiento de agua para consumo humano.
- CEPIS (2004).** Procesos Unitarios y plantas de tratamiento.
- HUISMAN Y WOOD (1974).** Comportamiento del filtro lento.
- CÁNEPA DE VARGAS, L. (1992).** Filtración Lenta como Proceso de Desinfección.
- CÁNEPA DE VARGAS, L. (2004).** Plantas de Tratamiento de Filtros Lentos.
- ARBOLEDA VALENCIA, J (1981).** Teoría, Diseño y Control de los procesos de clarificación del agua.
- OPS/CEPIS (1992).** Manual I, II y III: Teoría y Evaluación. Diseño, Operación, Mantenimiento y Control de Plantas de Tratamiento de Agua para consumo humano.
- CEPIS/OPS (2012).** Guía para la Vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.
- OPS (1983).** Guías para la calidad del agua potable.
- OMS (2008).** Guías para la calidad del agua potable.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (2006).** Guías para la calidad del agua potable.
- CEPIS (2006).** Plantas de Filtración Rápida

PEREZ CARRION, J. (1992). Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención. Tomo II.

LUENGAS C, S. B. (1990). Aforo por dilución

RÍOS PIGNATA, D. (1998). Utilización del parámetro Eficiencia en remoción de turbiedad en sedimentadores.

NORMAS ASTM D-422. Análisis Granulométrico por tamizado

ANEXOS

ANEXO I: ANALISIS FISICOQUÍMICO DEL AGUA



INFORME DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA :

SOLICITANTE : SALDAÑA MARIN ALDO MILLER
 PUNTO DE MUESTREO : MANANTIAL DE FONDO
 UBICACIÓN : CAPTACION MOLINOPAMPA
 DISTRITO : CELENDIN
 PROVINCIA : CELENDIN
 REGIÓN : CAJAMARCA

FECHA DE ANALISIS : 10 de Abril 2019

PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP
		RESULTADO	
ANALISIS FISICOQUIMICO			
TURBIEDAD	UNT	0.72	5
pH, a 15.3°C	--	7.89	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	250	1500
DUREZA	mg/L	208	500
CLORUROS	mg/L	18	250
SULFATOS	mg/L	0.5	250
NITRATOS	mg/L	2	50
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07
ALUMINIO	mg/L	0.037	0.2
COBRE	mg/L	0.015	2
CROMO	mg/L	<0.002	0.05
HIERRO	mg/L	0.019	0.3
MANGANESO	mg/L	0.388	0.4
ZINC	mg/L	0.043	3
ANALISIS BACTERIOLOGICO			
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	8	0
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	3	0

LMP = Límites Máximo Permisibles, dados por DS N° 031-2010-SA, para aguas de consumo humano.

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

M-1: muestra alcanzada al Laboratorio por el usuario.

COMENTARIO :

Los Resultados de la muestra se compara con los LMP dados por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según D.S. N° 031-2010-SA.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos (LMP), dados en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

Se recomienda desinfectar el agua (clorar), para remover los coliformes existentes.



Cajamarca, 15 de Abril del 2019.



EPS Sedacaj S.A.

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO
DE CAJAMARCA - SOCIEDAD ANONIMA

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA :

SOLICITANTE : SALDAÑA MARIN ALDO MILLER
PUNTO DE MUESTREO : MANANTIAL LA LADERA
UBICACIÓN : CAPTACION LA QUESERA
DISTRITO : CELENDIN
PROVINCIA : CELENDIN
REGIÓN : CAJAMARCA

FECHA DE ANALISIS : 10 de Abril 2019

PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP
		RESULTADO	
ANALISIS FISICOQUIMICO			
TURBIEDAD	UNT	14.10	5
pH, a 16.1°C	--	7.88	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	247	1500
DUREZA	mg/L	230	500
CLORUROS	mg/L	19	250
SULFATOS	mg/L	3	250
NITRATOS	mg/L	3	50
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07
ALUMINIO	mg/L	0.078	0.2
COBRE	mg/L	0.073	2
CROMO	mg/L	<0.002	0.05
HIERRO	mg/L	0.078	0.3
MANGANESO	mg/L	0.398	0.4
ZINC	mg/L	0.039	3
ANALISIS BACTERIOLOGICO			
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	9	0
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	5	0

LMP = Límites Máximo Permisibles, dados por DS N° 031-2010-SA, para aguas de consumo humano.

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

M-1: muestra alcanzada al Laboratorio por el usuario.

COMENTARIO :

Los Resultados de la muestra se compara con los LMP dados por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según D.S. N° 031-2010-SA.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos (LMP), dados en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

Se recomienda desinfectar el agua (clorar), para remover los coliformes existentes.



Ing° Marco Herro Contreras
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S. A.

Cajamarca, 15 de Abril del 2019.



EPS Sedacaj S.A.

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO
DE CAJAMARCA - SOCIEDAD ANONIMA

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA :

SOLICITANTE : SALDAÑA MARIN ALDO MILLER
PUNTO DE MUESTREO : MANANTIAL DE FONDO Y LADERA
UBICACIÓN : RESERVORIO N° 1
DISTRITO : CELENDIN
PROVINCIA : CELENDIN
REGIÓN : CAJAMARCA

FECHA DE ANALISIS : 10 de Abril 2019

PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
TURBIEDAD	UNT	0.93	5
pH, a 16.7°C	--	7.72	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	245	1500
DUREZA	mg/L	238	500
CLORUROS	mg/L	23	250
SULFATOS	mg/L	2	250
NITRATOS	mg/L	2	50
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07
ALUMINIO	mg/L	0.054	0.2
COBRE	mg/L	0.048	2
CROMO	mg/L	<0.002	0.05
HIERRO	mg/L	0.106	0.3
MANGANESO	mg/L	0.365	0.4
ZINC	mg/L	0.079	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	6	0
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	0	0

LMP = Límites Máximo Permisibles, dados por DS N° 031-2010-SA, para aguas de consumo humano.

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

M-1: muestra alcanzada al Laboratorio por el usuario.

COMENTARIO :

Los Resultados de la muestra se compara con los LMP dados por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según D.S. N° 031-2010-SA.

Los parámetros físicoquímicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos (LMP), dados en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

Se recomienda desinfectar el agua (clorar), para remover los coliformes existentes.



Cajamarca, 15 de Abril del 2019.



EPS Sedacaj S.A.

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO
DE CAJAMARCA - SOCIEDAD ANONIMA

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA :

SOLICITANTE : SALDAÑA MARIN ALDO MILLER
PUNTOS DE MUESTREO : PRESEDIMENTADOR Y FILTROS
UBICACIÓN : MANANTIAL DE LADERA
DISTRITO : CELENDIN
PROVINCIA : CELENDIN
REGIÓN : CAJAMARCA

FECHA DE ANALISIS : 10 de Abril 2019

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADOS				LMP
		M-1	M-2	M-3	M-4	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO						
TURBIEDAD	UNT	14.1	13.4	12.30	3.89	5

LMP = Límites Máximo Permisibles, dados por DS N° 031-2010-SA, para aguas de consumo humano.

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

M-1, M-2, M-3 y M-4: muestras alcanzada al Laboratorio por el usuario.

COMENTARIO :

M-1 : Muestra Afluente Presedimentador - Manantial La Ladera

M-2 : Muestra Efluente Presedimentador - Manantial La Ladera

M-3 : Muestra Afluente Filtros - Manantial La Ladera

M-4 : Muestra Efluente Filtros - Manantial La Ladera

Las turbiedades de las muestras analizadas, exceden el LMP, dados por la normatividad vigente, para agua de consumo humano - Reglamento para la Calidad de Agua para Consumo Humano.

Cajamarca, 15 de Abril del 2019.



Inge Marco Herro Contreras
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S. A.



EPS Sedacaj S.A.

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO
DE CAJAMARCA - SOCIEDAD ANONIMA

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA :

PUNTO DE MUESTREO : MANANTIAL DE FONDO
UBICACIÓN : CAPTACION MOLINOPAMPA
DISTRITO : CELENDIN
PROVINCIA : CELENDIN
REGIÓN : CAJAMARCA

FECHA DE ANALISIS : 03 de Mayo 2019

PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP
		RESULTADO	
ANALISIS FISICOQUIMICO			
TURBIEDAD	UNT	0.34	5
pH, a 18.7°C	--	7.90	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	182	1500
DUREZA	mg/L	224	500
CLORUROS	mg/L	18	250
SULFATOS	mg/L	0.5	250
NITRATOS	mg/L	3	50
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07
ALUMINIO	mg/L	0.019	0.2
COBRE	mg/L	0.015	2
CROMO	mg/L	<0.002	0.05
HIERRO	mg/L	0.013	0.3
MANGANESO	mg/L	0.279	0.4
ZINC	mg/L	0.081	3
ANALISIS BACTERIOLOGICO			
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	8	0
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	4	0

LMP = Límites Máximo Permisibles, dados por DS N° 031-2010-SA, para aguas de consumo humano.

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

M-1: muestra alcanzada al Laboratorio por el usuario.

COMENTARIO :

Los Resultados de la muestra se compara con los LMP dados por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según D.S. N° 031-2010-SA.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos (LMP), dados en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

Se recomienda desinfectar el agua (clorar), para remover los coliformes existentes.



Inge Marco Nerro Centurión
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S. A.

Cajamarca, 24 de Mayo del 2019.

E-mail: sedacaj@sedacaj.com.pe Página Web: www.sedacaj.com.pe

Oficina Principal: Jr. Cruz de Piedra N° 150 - Cajamarca - Perú
Sucursal: Jr. Sor Manuela Gil N° 151 Centro Comercial El Quinde - segundo nivel

Teléfonos: (076) 362120 - (076) 367952 - (076) 367712
Emergencias: (076) 363660



EPS Sedacaj S.A.

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO
DE CAJAMARCA - SOCIEDAD ANONIMA

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

DATOS DE LA MUESTRA :

PUNTO DE MUESTREO : MANANTIAL DE LADERA
UBICACIÓN : CAPTACION LA QUESERA
DISTRITO : CELENDIN
PROVINCIA : CELENDIN
REGIÓN : CAJAMARCA

FECHA DE ANALISIS : 03 de Mayo 2019

PARAMETRO	UNIDAD	M - 1	LMP
		RESULTADO	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
TURBIEDAD	UNT	5.37	5
pH, a 18.3°C	--	7.81	6.5 - 8.5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	247	1500
DUREZA	mg/L	272	500
CLORUROS	mg/L	22	250
SULFATOS	mg/L	2	250
NITRATOS	mg/L	2	50
CIANURO	mg/L	<0.005	0.07
ALUMINIO	mg/L	0.031	0.2
COBRE	mg/L	0.071	2
CROMO	mg/L	<0.002	0.05
HIERRO	mg/L	0.212	0.3
MANGANESO	mg/L	0.395	0.4
ZINC	mg/L	0.039	3
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO			
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 mL	10	0
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 mL	6	0

LMP = Límites Máximo Permisibles, dados por DS N° 031-2010-SA, para aguas de consumo humano.

UFC = Unidades Formadoras de Colonias

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

M-1: muestra alcanzada al Laboratorio por el usuario.

COMENTARIO :

Los Resultados de la muestra se compara con los LMP dados por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, según D.S. N° 031-2010-SA.

A excepción de la turbiedad, los demás parámetros fisicoquímicos evaluados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles del Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

Se recomienda desinfectar el agua (clorar), para remover los coliformes existentes.



Inge Marco Harro Contreras
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S.A.

Cajamarca, 24 de Mayo del 2019.

E-mail: sedacaj@sedacaj.com.pe Página Web: www.sedacaj.com.pe

Oficina Principal: Jr. Cruz de Piedra N° 150 - Cajamarca - Perú

Sucursal: Jr. Sor Manuela Gil N° 151 Centro Comercial El Quinde - segundo nivel

Teléfonos: (076) 362120 - (076) 367952 - (076) 367712

Emergencias: (076) 363660

ANEXO II: MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA PRESENTE EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO



Toma de muestra en Manantial de Ladera



Medición de temperatura en el agua



Toma de muestra en Manantial de Fondo



Medición del PH en el agua



Muestras de las captaciones a analizar en el laboratorio de SEDACAJ

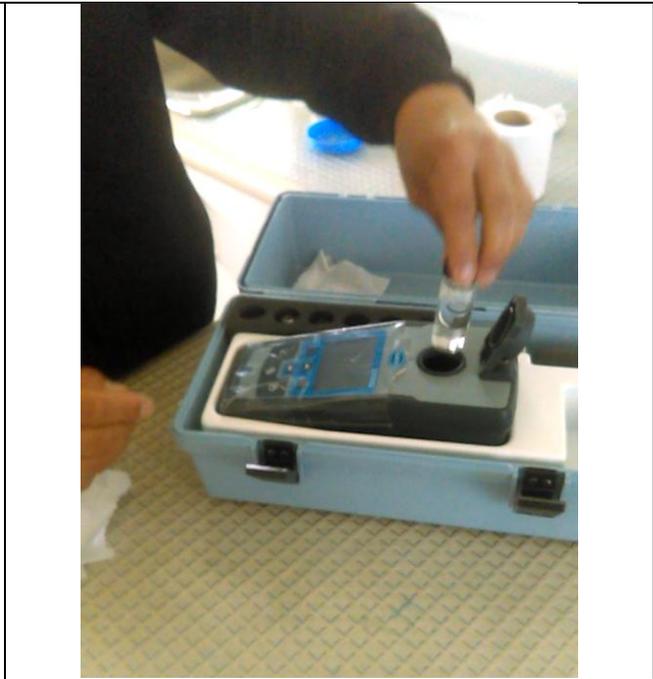


Cooler acondicionado a una temperatura menor de 10°C

ANEXO III: DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN EFLUENTE Y AFLUENTE



Muestras a analizar



Turbidímetro Marca HACH – 2100Q



Resultado de efluente de filtro



Resultado de afluente de filtro

ANEXO IV: DETERMINACIÓN DE CAUDAL Y EVALUACIÓN DEL SEDIMENTADOR MEDIANTE TRAZADOR



Cámara de derivación



Solución a verter en la cámara de derivación, para determinar el caudal



Materiales para evaluación de Sedimentador



La unidad a evaluar corresponde al reactor que se ilustra a la izquierda



Medidor Multiparámetro marca APERA



Toma de datos de la práctica

ANEXO V: DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE FILTRACIÓN



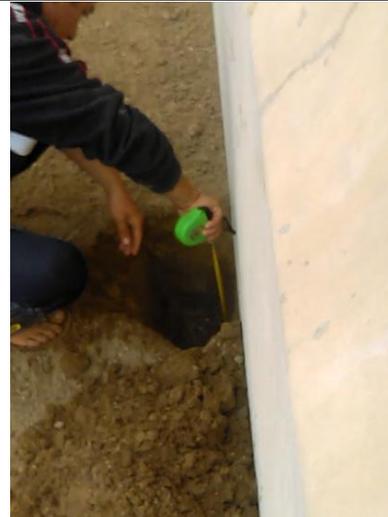
Medición de la sección a la salida del filtro



Medición del tiempo que tarda en llenar



Toma de muestra de lecho filtrante



Medición de espesor de lecho



Filtro lento listo para operar



Medición de temperatura del agua filtrada

ANEXO VI: CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DEL MATERIAL FILTRANTE



Secado de la muestra a 105°C en estufa



Tamizado del material filtrante

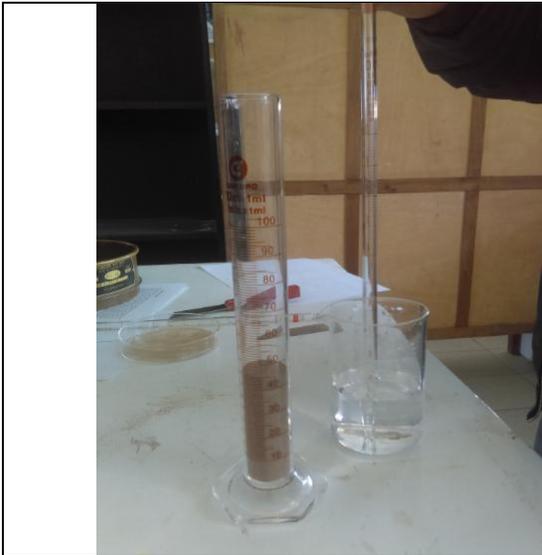


Peso de material tamizado



Balanza (Precisión 0.000 g)

ANEXO VII: POROSIDAD DEL MATERIAL QUE CONSTITUYE EL LECHO FILTRANTE



Volumen de muestra seca



Saturación de muestra

ANEXO VIII: MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CLORO



Muestra de conexión domiciliaria



Muestra con reactivo – MEDIDOR CLORO LIBRE HI 701



Medición en el reservorio (turno mañana)



Medición del reservorio (turno tarde)

ANEXO IX: INCREMENTO DE USUARIOS DEL SERVICIO DE AGUA

CONSOLIDADO DE SOLICITUDES ANUAL ATENDIDAS DE AGUA Y/O DESAGUE Y OTROS AÑO - 2016

Nº ORD	MESES	Nº DE EXP.	AGUA	DESAGUE	CORTE TEMP.	REAPER.	C/AMB RAZ S SOC.	CAH/CATEG	TOTAL MENSUAL	OBSERV
1	ENERO		0	0	0		0	0	0	
2	FEBRERO		0	0	0		0	0	0	
3	MARZO		54	54	0		0	0	108	
4	ABRIL		29	29	0		0	0	58	
5	MAYO		28	28	0		0	0	56	
6	JUNIO		17	16	0		0	0	33	
7	JULIO		4	4	0		0	0	8	
8	AGOSTO		9	10	0		0	0	19	
9	SEPTIEMBRE		30	31	0		0	0	61	
10	OCTUBRE		17	16	0		0	0	33	
11	NOVIEMBRE		13	13	0		1	0	27	
12	DICIEMBRE		15	15	0		0	0	30	
			216	216	0		1	0	433	




Ing. Luis Carlos Briones Velásquez
 GERENTE DE SERVICIOS
 CIP. N.º 6413

CONSOLIDADO DE SOLICITUDES ANUAL ATENDIDAS DE AGUA Y/O DESAGUE Y OTROS AÑO - 2017

Nº ORD	MESES	Nº DE EXP.	AGUA	DESAGUE	CORTE TEMP.	REAPER.	CAMB RAZ S SOC.	CAM CATEG	TOTAL MENSUAL	OBSERV.
1	ENERO		1	1	0	0	0	0	2	
2	FEBRERO		5	5	0	0	0	0	10	
3	MARZO		3	3	0	0	0	0	6	
4	ABRIL		8	4	0	0	0	0	12	
5	MAYO		13	12	0	0	0	0	25	
6	JUNIO		12	10	0	0	0	0	22	
7	JULIO		6	2	0	0	0	0	8	
8	AGOSTO		43	42	0	0	0	0	85	
9	SEPTIEMBRE		27	27	0	0	0	0	54	
10	OCTUBRE		10	8	0	0	0	0	18	
11	NOVIEMBRE		18	16	0	0	0	0	34	
12	DICIEMBRE		15	12	0	0	0	0	27	
			161	142	0	0	0	0	303	


 MUNICIPIO MUNICIPALIDAD DE CELEDÓN
 Ing. Luis Caños Brotes Velásquez
 GERENTE DE SERVICIOS
 C.I.P. N. 6412

CONSOLIDADO DE SOLICITUDES ANUAL ATENDIDAS DE AGUA Y/O DESAGUE Y OTROS AÑO - 2018

Nº ORD	MESES	Nº DE EXP	AGUA	DESAGUE	CORTE TEMP.	REAPER	CAMB RAZ S SOC.	CAM CATEG	TOTAL MENSUAL	OBSERV
1	ENERO		19	18	0	0	0	0	37	
2	FEBRERO		11	11	0	0	0	0	22	
3	MARZO		19	18	0	0	0	0	37	
4	ABRIL		7	7	0	0	0	0	14	
5	MAYO		6	4	0	0	0	0	10	
6	JUNIO		5	4	0	0	0	0	9	
7	JULIO		5	5	0	0	0	0	10	
8	AGOSTO		9	5	0	0	0	0	14	
9	SEPTIEMBRE		13	10	0	0	0	0	23	
10	OCTUBRE		13	11	0	0	0	0	24	
11	NOVIEMBRE		0	9	7	0	0	0	16	
12	DICIEMBRE		4	2	0	0	0	0	6	
			111	104	7	0	0	0	222	


 MUNICIPALIDAD MUNICIPAL DE CELENDIN
 Ing. Luis Carlos Rodríguez Velásquez
 GERENTE DE SERVICIOS
 CTR. N° 5-117

CONSOLIDADO DE SOLICITUDES ANUAL ATENDIDAS DE AGUA Y/O DESAGUE Y OTROS AÑO - 2019

Nº ORD	MESES	Nº DE EXP.	AGUA	DESAGUE	CORTE TEMP.	REAPER.	CAMB. RAZ.S SOC.	CAM. CATEG.	TOTAL MENSUAL	OBSERV
1	ENERO		18	16	0	0	0	0	34	
2	FEBRERO		25	13	0	0	0	0	38	
3	MARZO		11	9	0	0	0	0	20	
4	ABRIL		21	16	0	0	0	0	37	
5	MAYO		10	10	0	0	0	0	20	
6	JUNIO		12	6	0	0	0	0	18	
7	JULIO		0	0	0	0	0	0	0	
8	AGOSTO		0	0	0	0	0	0	0	
9	SEPTIEMBRE		0	0	0	0	0	0	0	
10	OCTUBRE		0	0	0	0	0	0	0	
11	NOVIEMBRE		0	0	0	0	0	0	0	
12	DICIEMBRE		0	0	0	0	0	0	0	
			97	70	0	0	0	0	167	


 MUNICIPALIDAD MUNICIPAL DE TELENUM
 Ing. Luis Carlos Torres Velásquez
 GERENTE DE SERVICIOS
 CIP. Nº 84.127