

Implementación de NCh3205/of.2011 “Medidores de caudal de Aguas Residuales – Requisitos” en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas pertenecientes a Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos ESSAL S.A.

M. Matus Contreras ¹, G. Bustamante Laissle ², C. Molina Venegas ³

Resumen

En el presente documento, se expone una breve reseña histórica del tratamiento de aguas servidas y el origen del célebre tratamiento del tipo Lodos Activados, desarrollado por Edward Arden y William T. Lockett en Inglaterra. Luego, se presenta una descripción general de las etapas que constituyen un tratamiento moderno de aguas servidas del tipo Lodos Activados y la influencia que tiene sobre ellos el correcto funcionamiento de los elementos de medición de caudales, que ingresan y evacuan las instalaciones de purificación. Además, se presenta una verificación de los elementos de medición de caudal de las 29 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas pertenecientes a la concesión de la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos ESSAL S.A., en base a lo expuesto en la NCh3205/of.2011 “Medidores de caudal de Aguas Servidas – Requisitos”. De acuerdo a los resultados de la verificación, se identifican los elementos o circunstancias que provocan una medición no acertada de caudal, para luego implementar propuestas de corrección según lo estipulado en la norma. Finalmente verifican los elementos de medición de caudal y se evalúa su comportamiento post corrección.

Abstract

In this document, we present a brief historical review of sewage treatment and the origin of the famous activated sludge treatment developed by Edward Arden and William T. Lockett in England. Then, we present a general description of the stages that constitute a modern Activated Sludge sewage treatment and the influence that the correct functioning of the flow measurement elements generate to them. In addition, a verification of the flow measurement elements of the 29 Sewage Treatment Plants belonging to the concession of the Health Services Company of Los Lagos ESSAL SA is presented, based on what is exposed in NCh3205/of.2011 "Sewage flow meters - Requirements". According to the results of the verification, the elements or circumstances that cause an inaccurate flow measurement are identified, to then implement correction proposals as stipulated in the standard. Finally, the flow measurement elements are checked and their post-correction behavior is evaluated.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, mamatus@ing.ucsc.cl.

² Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, gbustamante@ucsc.cl.

³ Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, ccmolina@ing.ucsc.cl.

Introducción

El desarrollo industrial y tecnológico característico de la sociedad ha generado una enorme cantidad de desechos que la naturaleza es incapaz de sintetizar a corto plazo, causando un efecto llamado contaminación. La contaminación es un cambio en las características físicas, químicas y biológicas del aire, suelo y agua, esenciales para la vida. El agua se considera contaminada cuando su composición o su estado natural son afectados. Esta contaminación es en gran parte causada por desechos domésticos llamados aguas residuales. Las aguas residuales contienen desechos sólidos y líquidos de procedencia humana e industrial, que al ser vertidos en ríos o lagos causan la degradación de seres vivos acuáticos y además afloramiento de enfermedades epidémicas. Debido a esto, los Tratamientos de Aguas Servidas tienen un papel fundamental en la conservación del medio ambiente (Adame & Salín, 1997).

El inicio de los Tratamientos de Aguas Residuales data de finales del siglo XIX, en una sociedad cuyo motor económico era la agricultura. Originalmente el tratamiento se realizaba vertiendo el agua residual producida por las urbes en una superficie de suelo, con el fin de ser utilizada como fertilizante debido a su alta composición de sustancias orgánicas tales como proteínas y carbohidratos. Con el transcurso de los años la superficie de los terrenos no fue suficiente para la absorción de los residuos emitidos por una sociedad en plena revolución industrial. Estos sucesos dieron paso al estudio de nuevos métodos de tratamientos de aguas residuales.

Debido a su versatilidad, hoy en día las Plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan comúnmente el proceso de purificación de Lodos Activados, desarrollado por Edward Arden y William T. Lockett en Inglaterra el año 1914, cuyo principio de funcionamiento es una emulación acelerada del proceso de purificación espontáneo que ocurre en aguas naturales, para procesar de forma adecuada y eficiente las aguas residuales con el fin de generar un bajo impacto en las aguas continentales (Jenkins & Wanner, 2014).

Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) tipo Lodos Activados

El proceso de lodos activados ha sido desarrollado para la degradación de materias orgánicas y nutrientes, transformándolos en compuestos más simples como dióxido de carbono y agua. El proceso básico desarrollado consta de un tanque de gran volumen conocido como reactor biológico, donde se mantiene en suspensión un cultivo de microorganismos, capaces de digerir la materia orgánica presente en el agua residual. Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada en el interior del reactor, se envía a un tanque sedimentador, donde los flóculos formados decantan por gravedad formando así dos fases en el interior del estanque. La fase superior corresponde a agua tratada, la cual es dispuesta en un cuerpo receptor. La fase inferior corresponde a fango biológico de alta concentración. La Figura 1 muestra la configuración básica del proceso de lodos activados desarrollado por Arden y Lockett, donde la Recirculación de fangos (RAS) corresponde al lodo decantado y concentrado en el tanque sedimentador, el cual es enviado al reactor biológico y la Purga de fangos (WAS) corresponde al lodo decantado y espesado en exceso, el cual es extraído del sistema. (Winkler, 1999).

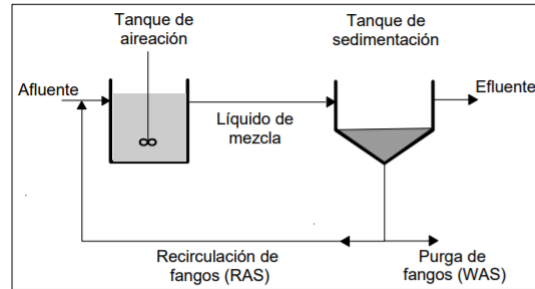


Figura 1. Esquema básico de proceso de Lodos Activados.

Con el fin de adaptarse a las nuevas exigencias para el tratamiento de aguas servidas, el sistema básico ha experimentado notables variaciones a lo largo de los años (Jenkins & Wanner, 2014). Actualmente una planta de tratamiento de aguas residuales convencional, del tipo Lodos Activados, cuenta con las siguientes etapas en su proceso:

1. Pretratamiento

Tratamiento preliminar cuya función es proteger equipos de bombeo y proveer mejores condiciones para procesos de tratamiento subsecuentes de mayor eficiencia, eliminando o separando los sólidos orgánicos e inorgánicos de gran tamaño, grasas y aceites en exceso, etc. En general, el pretratamiento se divide en:

- a) Desbaste: operación en la cual se eliminan sólidos de gran tamaño del agua residual. El flujo circula por rejillas o tamices que tienen como objetivo separar todos aquellos materiales de tamaño grueso (4 – 9 cm) que podría llegar a obstaculizar o dañar los equipos empleados en las siguientes etapas de purificación (Ramalho, 1996).
- b) Tamizado: al igual que el desbaste, es un proceso de separación de sólidos de menor tamaño (inferiores a 5 mm), por medio de rejillas o tamices delgados. El objetivo es separar aquellos materiales que podrían dañar los equipos empleados en las siguientes etapas de purificación. (Ramalho, 1996).
- c) Desarenado: proceso que se utiliza para la separación de arenas arrastradas en suspensión. Se hace circular el flujo a través de canales a una velocidad muy reducida, provocando la sedimentación de aquellos materiales que puedan originar depósitos en canales y tuberías, abrasión y desgaste sobre los elementos mecánicos en movimiento. (Ramalho, 1996).
- d) Desengrasado: el pretratamiento cuenta con una etapa final de aireación, que ayuda a mejorar la separación de aceites y grasas, controlar la emisión de olores y disminuir la

DBO ⁴ (Hilleboe & Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de Tratamiento de Aguas, 2000). Cabe mencionar que la descomposición de aceites y grasas por acción bacteriana no resulta sencilla, y su presencia en el proceso interfiere con la vida biológica, obstruye ductos y rejillas (Metcalf & Eddy, 1995).

2. Tratamiento Primario

En este punto del tratamiento se separan o eliminan entre un 40 y 60 por ciento de los sólidos suspendidos, a través del proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación o decantadores, debido a que el peso específico de las partículas suspendidas es mayor al del agua. Los decantadores son estanques de gran tamaño cuya función es retener el flujo un tiempo suficiente para que el material biológico descienda, para luego ser extraído del sistema. No obstante, en ciertas versiones del proceso de lodos activados no se cuenta con un tratamiento primario (Hilleboe & Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, 2000).

3. Tratamiento Biológico

Luego del tratamiento primario, el flujo libre de arenas, gravas, aceites y grasas se dirige al interior de un reactor biológico, donde la materia orgánica biodegradable es utilizada por microorganismos heterótrofos como fuente de energía para su crecimiento. En este proceso la adición de burbujas de aire será indispensable para la degradación de materia orgánica. Además, se debe mantener una mezcla homogénea constante de la biomasa, debido a que durante la asimilación de materia orgánica los microorganismos forman flóculos macroscópicos con suficiente masa para decantar en un corto periodo de tiempo (Winkler, 1999).

4. Tratamiento Secundario

Luego de realizada la reducción de compuestos orgánicos en el reactor biológico, la materia orgánica es transformada en sólidos sedimentables flocculentos (Lodos) que pueden ser separados por sedimentación en tanques decantadores. Una porción de la biomasa decantada es recirculada nuevamente al reactor biológico (RAS) para mantener una concentración y retención celular de microorganismos adecuada, mientras que el excedente (WAS) se extrae y acondiciona para luego ser desechado (Winkler, 1999).

Es importante mencionar que el subdimensionamiento del sedimentador puede ver alterada la calidad del efluente por la pérdida de materia en suspensión, causada por la mala sedimentación del fango y el sobredimensionamiento podría producir la carencia de oxígeno en el clarificador, lo que se debe evitar para no producir condiciones anaerobias⁵. Sin embargo, la decantación del lodo también está ligada a las condiciones de aireación del reactor biológico, un exceso de aireación produce la refluotación de material biológico debido a la aglomeración de micro burbujas de aire y partículas de fangos o lodos (Russell, 1943).

⁴ La DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) es la cantidad de oxígeno requerido para que los microorganismos puedan descomponer u oxidar biológicamente la materia orgánica presente en el agua (Dostre, 1997).

⁵ Procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxígeno (Metcalf & Eddy, 1995).

5. Desinfección

El proceso de desinfección de aguas residuales, descrito en la NCh3218/of2009 “Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas – Desinfección”, se utiliza para la reducción o inactivación bacterias, virus, hongos y otros organismos que puedan ser perjudiciales para el ser humano. Esto con el fin de reducir el riesgo de focos infecciosos en el ambiente. El proceso de desinfección de aguas residuales se puede realizar mediante dos procesos:

Inactivación de microorganismos: evita la reproducción de los microorganismos patógenos y se puede realizar a través de:

- Cloración.
- Radiación ultravioleta (UV).
- Ozonización.

Eliminación de microorganismos: elimina los microorganismos patógenos sin la necesidad de inactivación y se puede realizar a través de:

- Filtración con membrana.
- Balsas para maduración del efluente.
- Filtración en el terreno.

6. Espesado de lodos

La porción de masa biológica decantada extraída desde el sedimentador secundario (WAS), es impulsada a un tanque espesador que cuenta con un mecanismo de espesado de lodo, con el fin de conseguir una masa de mayor concentración y así reducir los volúmenes de su posterior deshidratación (Ramalho, 1996).

7. Deshidratado de lodos

La porción de masa biológica espesada es impulsada a un sistema mecánico donde es deshidratado y estabilizado, para luego ser dispuesto en predios agrícolas o vertederos autorizados según se indica en el D.S. N°4/2010 “Reglamento para manejo de lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas”. Debido al alto contenido de materia orgánica, un lodo con buena clasificación sanitaria podría contribuir a mejorar las condiciones físicas del suelo como incrementar la porosidad, retención de humedad, la estabilidad de agregados, etc. (D.S N°4/2010).

Variación del proceso Lodos Activados

Si bien el proceso de lodos activados es bastante efectivo para la depuración de aguas residuales, existen una serie de variaciones en cuanto a características hidráulicas de clarificación en los reactores y sistemas de aireación, que permiten adaptarse mejor a las características de los contaminantes a degradar (Correal, 2002).

Cumplimiento normativo de emisión de contaminantes

La operación de una planta de tratamiento dependerá de la calidad y variabilidad de la fuente emisora de residuos, y los objetivos de tratamiento definidos en el D.S. N°90/2000 “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”, donde se establecen los niveles de concentración máximos permitidos para descargas de contaminantes. Además, en él se define una clasificación de cuerpos de agua según su origen:

- Cuerpos de aguas fluviales (Tabla N° 1 y 2, D.S. N° 90/2000).
- Cuerpos de agua lacustres (Tabla N° 3, D.S. N° 90/2000).
- Cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral (Tabla N° 4, D.S. N° 90/2000).
- Cuerpos de agua marinos fuera de la zona de protección litoral (Tabla N° 5, D.S. N° 90/2000).

Parámetros críticos en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Las capacidades de una planta de tratamiento suelen calcularse para un caudal medio diario que viene dado por la variabilidad del mismo y características del agua residual a tratar (concentraciones). También deben considerarse las condiciones puntas, entre las que se incluyen las situaciones de caudal punta y cargas de contaminantes punta, para los diferentes procesos. Estos factores son importantes de cara al dimensionamiento de las unidades de proceso y sus sistemas auxiliares, de modo que la planta de tratamiento pueda cumplir de forma constante y fiable los objetivos del tratamiento planteados. De acuerdo con lo anterior, un aspecto crítico en la operación de una planta es la correcta selección, uso y mantenimiento de los aparatos de medición de caudal en diferentes puntos dentro del proceso (Metcalf & Eddy, 1995), dentro de los cuales están:

- Caudal Afluyente: corresponde al caudal de ingreso al proceso de tratamiento de purificación.
- Caudal Bypass⁶: corresponde al caudal que no puede ser tratado.
- Caudal Efluyente: corresponde al caudal tratado en todas las etapas de purificación, el cual es dispuesto a un cuerpo receptor, debiendo cumplir con la normativa establecida.

NCh3205/of.2011 Medidores de caudal de aguas residuales- Requisitos

La realidad nacional respecto a los sistemas de medición de caudal en plantas de tratamiento de aguas residuales ha dado paso a la constitución de la norma NCh3205/of.2011 “Medidores de caudal de Aguas Residuales – Requisitos”, cuya finalidad es definir los requisitos de instalación; verificación; contrastación; calibración y generalidades de mantenimiento de sistemas de medición fijos y móviles

⁶ La activación de los aliviaderos de emergencia evita el colapso de las líneas frente a un aumento abrupto de caudal, producido por la incorporación de aguas lluvia al sistema recolector de aguas servidas, de modo que no se vean afectados los procesos de purificación. Su uso es admisible solo si se supera la capacidad máxima de diseño de la PTAS y no podrá estar funcionando más allá de 72 horas después de finalizada la lluvia para las regiones del Maule al sur (Ord. SISS 3104/2011).

para aguas servidas (AS) e industriales (RILES), de tal forma que sus mediciones se consideren correctas y cumplan con los niveles de incertidumbre requeridos por la autoridad reguladora competente (SISS).

Medidores de caudal de aguas residuales

Los medidores de caudal son instrumentos destinados a medir una o más variables que determinan el caudal del medio a medir, al disponer sensores de altura de escurrimiento y/o velocidad del flujo. Cada uno de estos instrumentos cuenta con un sistema controlador que registra la información obtenida para posteriormente efectuar el cálculo del caudal de forma interna. Si bien es bastante difícil que un instrumento de caudal realice una medición exacta en aguas servidas debido a la cantidad y tamaño de sólidos suspendidos que esta contiene, dichos equipos de son aceptados por proveer una medida bastante acertada. La NCh3205/of.2011 establece la siguiente clasificación de equipos de medición:

Equipos fijos de medición de caudal

Los equipos fijos de medición de caudal son aquellos medidores instalados de forma permanente en un punto de control y son alimentados mediante una fuente de energía eléctrica estable. Los instrumentos fijos definidos son:

- **Estructura Hidráulica:** Dispositivos estandarizados para la medición de caudal tales como vertederos de tipo triangular, rectangular etc., y canaletas de tipo Parshall, Palmer Browlus, etc., en los cuales se establece una relación matemática entre caudal y la altura de escurrimiento medida por medio de un sensor de nivel instalado en su punto de medición estándar, relativo a cada dispositivo (ASTM D1941/of2001).
- **Sensor área-velocidad:** Dispositivo que cuenta con un sensor de nivel y velocidad de flujo, cuyos valores permiten determinar matemáticamente el caudal circulante.
- **Sensor ultrasónico por efecto Doppler Inserto/Sobrepuesto:** instrumento que utiliza un emisor y receptor ultrasónico instalados en una tubería, alineados de tal manera que al transmitir una onda no se transmita de manera perpendicular a la dirección del flujo. Al comparar las frecuencias de las ondas emitidas y recibidas se logra determinar la velocidad del flujo. Conocida el área y velocidad de escurrimiento, el instrumento logra cuantificar el caudal (Corona, Abarca, & Mares, 2014).

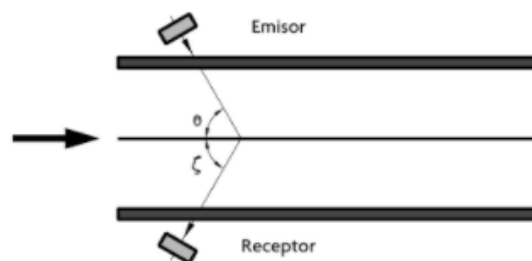


Figura 2. Configuración de un sensor de flujo ultrasónico basado en el efecto Doppler.

- **Sensor ultrasónico de tiempo en tránsito Inserto/Sobrepuesto:** Instrumento que, por medio de un par de transductores ultrasónicos instalados de forma opuesta, envían dos pulsos a través del medio, uno en dirección al flujo y otro en contra. El tiempo en tránsito de la señal ultrasónica que se propaga en la dirección de flujo es menor al tiempo en tránsito de la señal opuesta al flujo, por lo tanto una diferencia entre los tiempos de propagación permite la determinación de la velocidad a la que escurre el flujo. Conocida el área y velocidad de escurrimiento, el instrumento logra cuantificar el caudal (Corona, Abarca, & Mares, 2014).

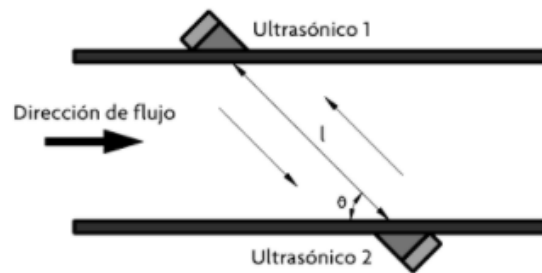


Figura 3. Configuración de un sensor de flujo ultrasónico basado en el tiempo de tránsito.

- **Sensor electromagnético inductivo:** basado en la ley de Faraday, el instrumento cuenta con 2 bobinas instaladas diametralmente opuestas de forma perpendicular al flujo, las que generan un campo magnético constante. Dos electrodos instalados de forma perpendicular al flujo y campo magnético captan la diferencia de potencial (voltaje) inducida a través del agua, la cual es proporcional a la velocidad del flujo. Conocida el área y la velocidad del flujo, el instrumento logra cuantificar el caudal (Corona, Abarca, & Mares, 2014).

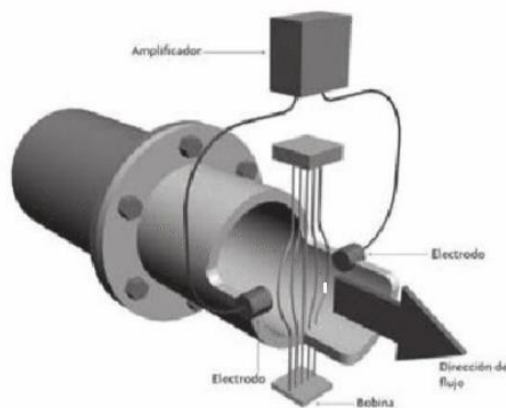


Figura 4. Principio de funcionamiento de un flujómetro magnético inductivo.

Equipos móviles de medición de caudal o patrón de contrastación

Los equipos móviles de medición de caudal son aquellos equipos portátiles de mayor exactitud que se instalan de forma esporádica en un punto de control y su alimentación eléctrica se realiza mediante una fuente de corriente portátil. Los instrumentos definidos por la norma son:

- **Molinete de rodete/hélice:** instrumento que utiliza el empuje dinámico y roce provocado por el flujo para hacer girar una parte móvil del dispositivo (aspas). El número de giros que se transmite mecánicamente se relaciona directamente a la velocidad del flujo (Ruíz, 2001).
- **Sensor área-velocidad:** Dispositivo que cuenta con un sensor de nivel y velocidad del flujo, cuyos valores permiten determinar matemáticamente el caudal circulante.
- **Flujómetro acústico de inmersión:** por medio de un transductor se emite un tren de ondas que rebotan en las micropartículas y micro burbujas suspendidas en el flujo hasta alcanzar de vuelta el transductor. Cuando la señal vuelve al transductor, el instrumento mide la diferencia entre la frecuencia emitida y la recibida, y lo relaciona con la velocidad del flujo (NCh3205/of.2011).
- **Flujómetro ultrasónico por efecto Doppler sobrepuesto:** este instrumento utiliza el mismo principio de funcionamiento que el equipo ultrasónico fijo de efecto Doppler descrito anteriormente, pero su instalación es no invasiva.
- **Flujómetro ultrasónico de tiempo en tránsito sobrepuesto:** este instrumento utiliza el mismo principio de funcionamiento que el equipo ultrasónico fijo de tiempo en tránsito descrito anteriormente, pero su instalación es no invasiva.
- **Flujómetro electromagnético inductivo:** este instrumento utiliza el mismo principio de funcionamiento que el equipo electromagnético inductivo fijo descrito anteriormente, pero su instalación es no invasiva.

Objetivos

Para llevar a cabo la realización del presente trabajo, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivos Generales

- Verificar los instrumentos de medición de caudal de Afluyente Macro⁷, Afluyente, Efluente y Bypass instalados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) pertenecientes a la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos (ESSAL), según lo estipulado en la NCh3205/of.2011.
- Realizar propuestas genéricas para subsanar la disconformidad normativa en aquellos puntos de medición de caudal que generen conflictos operacionales.
- Verificar los instrumentos de medición de caudal de Afluyente Macro, Afluyente, Efluente y Bypass intervenidos, según lo estipulado en la NCh3205/of.2011.
-

⁷ Punto de medición de caudal no exigido por la entidad reguladora, cuya medición cuantifica la suma del caudal de Afluyente y Bypass.

Objetivos Específicos

- Identificar y clasificar los instrumentos de medición de caudal instalados.
- Verificar la instalación de los instrumentos de medición de caudal.
- Determinar la incertidumbre de lectura de cada instrumento de medición de caudal.
- Identificar los instrumentos de medición de caudal que cuenten con un funcionamiento incorrecto.
- Identificar las circunstancias y/o elementos que produzcan un funcionamiento incorrecto de los elementos de medición de caudal.
- Proponer soluciones de mitigación para los elementos de medición de caudal.
- Implementar las propuestas de mitigación en los instrumentos de medición de caudal.
- Realizar una nueva contrastación en aquellos elementos modificados.

Metodología

El estudio se llevará a cabo en las Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas perteneciente a la concesión de la Empresa de Servicios Sanitario de Los Lagos (ESSAL), la cual fue constituida en mayo de 1990 como continuadora legal del Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS). El área geográfica de concesión, de acuerdo con la autorización formal de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, incluye a las regiones de Los Lagos y de Los Ríos. En cuanto al tratamiento de aguas servidas se realiza a través de 27 plantas de tratamiento del tipo Lodos Activados y 2 Emisarios Submarinos, en las que se identificarán los elementos de medición de caudal presentes en los puntos de Afluente; Efluente; Bypass y Afluente Macro según corresponda. Además, se incluirá una recopilación de información que contemple el detalle del equipo; índice de protección; estado actual de funcionamiento; deficiencias en la instalación y observaciones generales, para posteriormente realizar una verificación en la instalación y estado operacional del instrumento. Luego de este diagnóstico inicial, se discriminará el cumplimiento e incumplimiento normativo de la NCh3205/of.2011 en cada punto de medición de caudal según el criterio de aceptación estipulado. Finalmente, se presentarán propuestas de corrección en aquellas plantas que presenten un no cumplimiento normativo en sus puntos de medición, para luego ser nuevamente contrastados.

Emisarios Submarinos de Aguas Servidas	
Zona Llanquihue Emisario Puerto Montt	Zona Huillinco Emisario Achao

Tabla 1. Emisarios Submarinos pertenecientes a la concesión de la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos, ESSAL.



Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	
<p>Zona Ranco PTAS Lanco PTAS San José de La Mariquina PTAS Máfil PTAS Panguipulli PTAS Los Lagos PTAS Paillaco PTAS Corral PTAS Futrono PTAS Lago Ranco PTAS Río Bueno – La Unión</p>	<p>Zona Llanquihue PTAS Frutillar PTAS Fresia PTAS Puerto Varas – Llanquihue PTAS Los Muermos PTAS Maullín PTAS Calbuco PTAS Chaitén PTAS Futaleufú</p>
<p>Zona Puyehue PTAS San Pablo PTAS Osorno PTAS Purranque - Corte Alto PTAS Río Negro</p>	<p>Zona Huillinco PTAS Ancud PTAS Dalcahue PTAS Castro PTAS Chonchi PTAS Quellón</p>

Tabla 2. PTAS pertenecientes a la concesión de la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos, ESSAL.

Verificación de medidores de caudal

Procedimiento de verificación de equipos fijos de medición de caudal

Luego de la instalación de cada equipo fijo de medición de caudal, se debe realizar una verificación en terreno bajo el siguiente procedimiento:

- a) Verificar las dimensiones de la estructura hidráulica con respecto a las dimensiones estandarizadas.
- b) Verificar que aguas arriba de la estructura hidráulica, el canal de aproximación se extienda al menos 10 veces el ancho de su entrada.
- c) Verificar, en caso de que exista, que el resalto hidráulico generado posterior al elemento primario no sea sumergido; en estructuras hidráulicas será causa de rechazo y la estructura debe ser regularizada antes de continuar con el procedimiento.
- d) Verificar que el cero referencial del sensor de nivel concuerde con el nivel del fondo de la estructura hidráulica.
- e) Verificar que la medición del sensor de nivel en condición de flujo corresponda a la altura real, medida con una regleta fijada en la estructura o por medio de un nivel topográfico. En caso de que no se cuente con ninguno se puede emplear una regleta externa, siempre y cuando esta sea de acero inoxidable y graduada en milímetros.

- f) Realizar una “Contrastación” del equipo de medición de caudal de acuerdo al procedimiento descrito más adelante.
- g) Verificar que se cumpla el criterio de aceptación para medidores de caudal, descrito más adelante.

Procedimiento de verificación de equipos móviles de medición de caudal

Luego de la instalación de cada equipo móvil de medición de caudal, se debe realizar una verificación del mismo, bajo el siguiente procedimiento:

- a) Verificar que el equipo móvil se ha instalado de acuerdo con lo especificado en el Anexo A “Fichas técnicas de equipos e instrumentos utilizados en sistemas de medición de caudal en canales abiertos y ductos parcialmente llenos” de la NCh3205/of.2011.
- h) Verificar que el nivel de escurrimiento en condición de flujo corresponda a la altura real, medida con una regleta fijada en la estructura o por medio de un nivel topográfico. En caso de que no se cuente con ninguno se puede emplear una regleta externa, siempre y cuando esta sea de acero inoxidable y graduada en milímetros.
- b) En caso de emplear un equipo de medición de caudal de tipo molinete, se debe aplicar estrictamente a lo especificado en Anexo B “Aforos” de la NCh3205/of.2011 como procedimiento de medición de caudal.
- c) En el caso de canales sin estructura hidráulica, se debe verificar el nivel del flujo con respecto al fondo del canal en 2 puntos, ubicados a una distancia de 1 ancho del canal, los cuales no deben variar entre sí un 2% o 1 cm, cualquiera que sea mayor.
- d) Realizar una “Contrastación” del equipo de medición de caudal de acuerdo con el procedimiento descrito más adelante.
- e) Verificar que se cumpla el criterio de aceptación para medidores de caudal, descrito más adelante.

Contrastación de medidores de caudal

Una contrastación es un proceso para determinar el grado de precisión de un medidor de caudal, por medio de una comparación de caudales medidos entre el instrumento a contrastar y un equipo móvil o patrón. Cabe mencionar que el equipo patrón debe contar con su certificado de calibración vigente, otorgado por el fabricante o por un organismo reconocido por la autorizada competente.

Procedimiento de contrastación de caudal para canales abiertos o ductos parcialmente llenos y ductos a presión.

El procedimiento para verificar los equipos fijos de medición de caudal por contrastación se aplica para el caudal máximo registrado en el período de máxima descarga de los últimos seis meses y bajo el siguiente procedimiento:

- a) Elegir un equipo patrón adecuado para la contrastación.
- b) Una vez elegido el patrón, se deben establecer si se cumplen las condiciones necesarias para su utilización.
- c) Instalar el equipo patrón de medición en la misma sección en que está instalado el equipo fijo a contrastar, con excepción de los siguientes casos:



- No se tiene acceso a la sección para realizar la contrastación.
- La sección es muy pequeña y la instalación del equipo patrón portátil podría alterar el régimen del flujo.
- La aceleración del flujo es muy variable en la sección.

En tales casos, se deben efectuar las mediciones aguas arriba, a una distancia mayor o igual que cinco veces el ancho del canal abierto o del ducto parcialmente lleno.

- d) Determinar el caudal real mediante cinco mediciones de velocidad y nivel realizadas en el mismo punto y en un periodo de tiempo acotado.
- e) Registrar cinco lecturas de caudal realizadas por medio del flujómetro fijo instalado en planta, en el mismo instante en el que se registren las mediciones del equipo patrón.

Procedimiento de contrastación de caudal para ductos a presión

Se procede de igual forma que en canales abiertos o ductos parcialmente llenos, pero en el caso específico de contrastación de un sensor electromagnético o ultrasónico, el equipo patrón se debe instalar en el mismo ducto, cerca del sensor fijo a contrastar y al menos a una extensión de cinco diámetros aguas abajo de cualquier singularidad (codo, curva, válvula, etc.).

Cálculo de error de medición de caudal por contrastación

Para calcular el error de contrastación se debe emplear la fórmula descrita a continuación:

$$\text{Error de medición} = E_c + E_p + 2 * \frac{E_{cm}}{\sqrt{n}} + \frac{E_{pm}}{\sqrt{n}} + D_c$$

Donde:

- E_c = Error del instrumento a contrastar (%). Se obtiene desde el último certificado de calibración del equipo a contrastar, o en su defecto tratándose de equipo nuevo, del % de exactitud documentado por el fabricante.
- E_p = Error del patrón de contrastación (%). Se obtiene desde el último certificado de calibración del equipo patrón, o en su defecto tratándose de equipo nuevo, del porcentaje de exactitud documentado por el fabricante.
- E_{cm} = Error del método de medición del equipo a contrastar. El error se obtiene de la desviación estándar de una serie de mediciones durante el ejercicio de contrastación. Se considera aceptable, para el cálculo de la desviación estándar, cinco mediciones durante una misma condición de flujo.
- E_{pm} = Error del método de medición utilizado para el patrón. El error se obtiene de la desviación estándar de una serie de mediciones durante el ejercicio de contrastación. Se considera aceptable, para el cálculo de la desviación estándar, cinco mediciones durante una misma condición de flujo.
- D_c = Diferencia media entre instrumentos. La serie de mediciones realizada con el equipo fijo se promedian para obtener un valor medio único. Igualmente se procede con las efectuadas con el patrón. La diferencia entre ambos se expresa en % con respecto a la media del patrón.
- n = Numero de mediciones de caudal. Se considera aceptable cinco mediciones.

Criterio de aceptación de medidores de caudal

El medidor de caudal sometido a prueba se considerará como en “correcto funcionamiento”, si el resultado de la contrastación resulta inferior al error máximo admisible, de lo contrario se debe repetir la prueba. Si nuevamente no se cumple el criterio, el equipo debe ser sometido a una calibración, aunque aún no se haya cumplido el período de vigencia de la calibración anterior. Cabe mencionar que en la norma no se establece un plan de acción en el caso que el instrumento no mejore su medición luego de dicha calibración. Por lo tanto, al consultar directamente a la autoridad competente, en aquellos casos se debe replantear el sistema de medición por uno más adecuado (directora de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y ambiental de Chile (AIDIS), E. Echeverría).

En la siguiente tabla se establece el error máximo de medición admisible para cada equipo:

Sistema de medición fijo	Err. Max. Adm.
Estructura hidráulica	10%
Equipos área-velocidad	10%
Sensor ultrasónico por efecto Doppler sumergido	10%
Sensor ultrasónico de tiempo en tránsito	7%
Sensor de tiempo en tránsito sobrepuesto	10%
Sensor electromagnético inductivo	7%
Sistema de medición móvil	Err. Max. Adm.
Molinete de rodete/hélice	5%
Flujómetro acústico de inmersión	5%
Flujómetro electromagnético inductivo	5%
Flujómetro ultrasónico de tiempo en tránsito sobrepuesto	5%
Flujómetro ultrasónico por efecto Doppler en presión sobrepuesto	5%
Equipos área-velocidad	7%

Tabla 3. Error máximo admisible para los equipos de medición de caudal. Fuente NCh3205/of.2011.

Propuestas y/o Recomendaciones

Tras la identificación de las circunstancias e instalaciones deficientes, determinación del error de medición y delimitación del cumplimiento e incumplimiento de los elementos de medición de caudal, según la NCh3205/of.2011, se debe establecer una serie de recomendaciones genéricas, con el fin de adecuarse dentro de lo posible a las recomendaciones presentadas en la norma correspondiente.

Contrastación post materialización de propuestas y/o recomendaciones

Finalmente, luego de llevar a cabo los trabajos de corrección de las instalaciones de los elementos de medición de caudal, se realizará una nueva contrastación de caudal bajo el mismo procedimiento de descrito anteriormente.

Diseño y cálculo de redes sanitarias

Tuberías a flujo libre

Según lo estipulado en la NCh1105/of.1998 “Alcantarillado de Aguas Servidas – Diseño y Cálculo de Redes”, la capacidad máxima de un colector depende fundamentalmente de su pendiente y rugosidad de sus paredes. Esta última asociada al tipo de material que lo constituye y su antigüedad. Además, las velocidades del flujo para el diseño deben oscilar entre 3 y 0.6 (m/s) y el diámetro nominal de las tuberías se debe calcular de modo que la altura del flujo (h) en el interior de la tubería sea:

- Altura de escurrimiento para caudal máximo de diseño: 0.7 x Diámetro de la tubería.
- Altura de escurrimiento para caudal mínimo de diseño: 0.3 x Diámetro de la tubería.

Por otro lado, para que se produzca un auto lavado de las tuberías, se deben adoptar las pendientes mínimas para el diseño de tuberías descritas en la Tabla 2 de la NCh1105/of.1998.

Pendientes (%)				
Diámetro nominal	Tramos no iniciales		Tramos iniciales	
	Mínimas recomendadas	Criticas	Mínimas recomendables	Criticas
175	5%	3%	10%	7%
200	5%	3%	10%	6%
250	4%	3%	-	-
300	3%	2%	-	-
350	3%	2%	-	-
400	3%	2%	-	-
500	3%	2%	-	-

*) Se permite el uso de pendientes menores para diámetros mayores que 500 mm, justificadas en cada caso.

Tabla 4. Pendientes mínimas para tuberías de diámetros nominales 175 mm a 500 mm en tanto por mil.

Fuente NCh1105/of.1998.

Fórmula general de Manning

Para el dimensionamiento hidráulico de tuberías y canales a flujo libre se debe utilizar fórmulas obtenidas experimentalmente o teóricamente, de uso generalizado y aceptadas por la autoridad competente, es por ello que se utilizará la ecuación de Manning, cuya expresión se describe a continuación:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

A = Área escurrimiento (m²).

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente del canal o tubería (m/m).

Además, se utilizarán los siguientes coeficientes de rugosidad:

Material	Coficiente n
Acero soldado	0,012
PVC	0,010
HDPE liso	0,009
Hormigón	0,013

Tabla 5. Coeficiente de Manning para diferentes tuberías. Fuente (Saldarriaga, 1998).

Tuberías a Presión

Para el dimensionamiento hidráulico de tuberías a presión se considerará una velocidad máxima del flujo de 1.5 (m/s).

Ley de Bernoulli

Para el dimensionamiento hidráulico de tuberías a presión, se utilizará la ecuación de Bernoulli cuya expresión se basa en la conservación de la energía de un flujo a través de una tubería:

$$Z1 + \frac{V1^2}{2 * g} + \frac{P1}{\gamma} = Z2 + \frac{V2^2}{2 * g} + \frac{P2}{\gamma} + Hf + Hk$$

Donde:

Z1 = Cota de terreno de punto inicial (m).

Z2 = Cota de terreno de punto final (m).

V1 = Velocidad del flujo en el punto inicial (m/s).

V2 = Velocidad del flujo en el punto final (m/s).

P1 = Presión del flujo en el punto inicial (m).

P2 = Presión del flujo en el punto final (m).

g = Aceleración de gravedad (m/s²).

γ = Peso específico del agua (kg/m³).

Hf = Pérdida de carga friccional (m).

Hk = Pérdida de carga por singularidades (m).

Pérdida de Carga Friccional (Hf)

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, se utilizará la ecuación de Hazen-Williams cuya expresión esa dada por:

$$Hf = \frac{10,665}{D^{4.869}} * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852}} * L$$

Donde:

Hf = Pérdida friccional (m).

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

D = Diámetro de tubería (m).

L = Longitud de tubería (m).

Además, se utilizarán los siguientes coeficientes de Hazen - Williams:

Material	Coficiente C
Acero	110
PVC	140
HDPE liso	150

Tabla 6. Coeficientes de Hazen-Williams. Fuente (Saldarriaga, 1998).

Pérdidas de Carga por Singularidades (Hk)

Para el cálculo de las pérdidas de carga por singularidades se utilizará la ecuación de coeficiente de resistencia, cuya expresión es la siguiente:

$$Hk = \Sigma K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

Hk = Pérdidas Singulares (m).

K = Coeficiente de pérdida de carga.

V = Velocidad del flujo (m/s).

g = Aceleración de gravedad (m/s²).

La siguiente tabla muestra un resumen de coeficientes de pérdidas singulares para accesorios de uso frecuente en sistemas de tuberías:

Accesorio	K
Válvula de ángulo completamente abierta	5
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.0-1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24
Codo de radio corto (r/d>1)	0.9
Codo de radio mediano	0.75
Codo de radio largo (r/d>1.5)	0.6
Codo de 45°	0.4
Retorno (curva en U)	2.2
Tee sentido recto	0.3
Tee salida lateral	1.8
Unión	0.3
Yee sentido recto	0.3
Yee salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Salida	1

Tabla 7. Coeficientes de Singularidades. Fuente (Saldarriaga, 1998).

Resultados

Levantamiento de información

En la totalidad de plantas de tratamiento de agua servidas pertenecientes a ESSAL, se emplean dos de los cuatro métodos de medición de caudal descritos en la NCh3205/of.2011, los cuales son:

- **El método de la estructura hidráulica:** cuya medición se realiza por medio de elementos de medición tales como Vertederos y Canaletas Parshall.
- **Método de área-velocidad:** cuya medición se realiza por medio de elementos de medición tales como Flujómetros magnéticos inductivos y sensores de área-velocidad.

Los métodos de medición de caudal no utilizados son:

- **Método volumétrico:** Consiste en recolectar un volumen de fluido a través de un envase previamente calibrado, durante un período de tiempo definido, se recomienda para caudales muy bajos (inferiores a 1 l/s).
- **Método de pendiente y radio hidráulico:** método el cual utiliza la pendiente y perímetro mojado de una sección de canal o tubería para la determinación de caudal, por medio de la ecuación de Manning.

De acuerdo con el levantamiento de información realizado, se desprende la siguiente tabla resumen, la cual indica el tipo y número de elementos de medición de caudal instalados en las plantas de tratamiento:

Método de medición	Tipo de elemento de medición	Unidades
Estructura Hidráulica	Canaleta Parshall	43
	Vertedero triangular	12
Área-velocidad	Sensor área-velocidad	4
	Flujómetro electromagnético inductivo	45

Tabla 8. Elementos de medición de caudal por tipo.

Verificación de medidores de caudal

Se verificó la instalación de los equipos de medición de caudal en las plantas de tratamiento, exceptuando el ítem de Contrastación el cual se analizará más adelante, con el fin de identificar deficiencias en las condiciones de instalación. En la tabla 9, se indica un resumen los instrumentos que no cuentan con las condiciones de instalación de acuerdo con lo recomendado en la norma:

Tipo de elemento de medición	Equipos con instalaciones no adecuadas
Canaleta Parshall	98%
Vertedero triangular	100%
Sensor área-velocidad	100%
Flujómetro electromagnético inductivo	76%

Tabla 9. Porcentaje de equipos de medición de caudal que no cumplen con las recomendaciones de instalación adecuada.

Llama la atención que la mayoría de los instrumentos cuenta con al menos una disconformidad en su instalación, lo cual es justificable debido a que el 100% de las PTAS fueron construidas antes de la concepción de la norma. Las disconformidades más recurrentes identificadas en la verificación de los instrumentos de medición son:

Canaletas Parshall:

- Longitud de canal de acercamiento insuficiente. Debe existir un canal de acercamiento aguas arriba de al menos 10 veces el ancho de entrada del dispositivo de medición, con el fin de proveer una distribución de velocidades regulares a través de su eje transversal.
- Sensores de nivel instalados fuera del punto de medición estándar. Si bien la norma no especifica en qué punto debe ser instalado el sensor de nivel, la norma ASTM1941/of2001 “Open Chanel Flow Measurement of Water with Parshall Flume” establece que la medición se debe realizar a una distancia de $2/3C$ desde la garganta hasta la entrada del dispositivo, tal como se muestra en la Figura 5, debido a que las ecuaciones que determinan el caudal fueron concebidas con respecto a dicho punto.

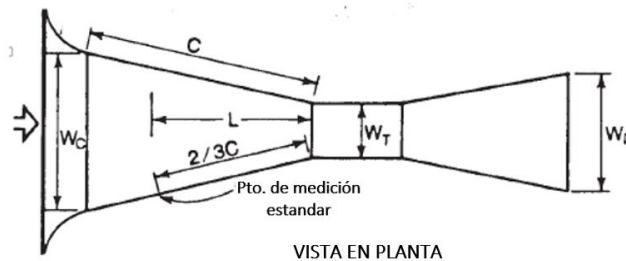


Figura 5. Punto de medición estándar de Canaleta Parshall. Fuente ASTM1941/of2001

- Diferencia entre la medición del sensor ultrasónico de nivel y altura real de escurrimiento debido a una descalibración del cero de referencia del equipo, lo que provoca una sobre o sub estimación de caudal al realizar una medida incorrecta.
- Existencia de singularidades en la entrada de la canaleta Parshall, tales como medidores de pH, tuberías, etc. El canal de acercamiento al dispositivo hidráulico debe estar libre de elementos que produzcan singularidades, con el fin de proveer una distribución de velocidades regulares a través de su eje transversal.
- Canaletas Parshall sub dimensionadas. Debido a que las estructuras hidráulicas están diseñadas para la medición de ciertos rangos de caudal, una subestimación en la estructura de medición provocaría un incremento de altura hidráulica aguas arriba del elemento de medición, debido a que esta no sería capaz de portear el caudal, sobreestimando la medición.

Vertederos triangulares:

- Longitud de canal de acercamiento insuficiente. Debe existir un canal de acercamiento aguas arriba de al menos 10 veces el ancho de entrada del dispositivo de medición, libre de



elementos ajenos (tuberías, bombas, mangueras, etc.) con el fin de proveer una distribución de velocidades regular a través de su eje transversal.

- Presencia de espuma superficial en canales cuya medición se realiza con sensores ultrasónicos de nivel. La presencia de espuma superficial produce una falsa lectura en el sensor de nivel, sobredimensionando la medición.
- Diferencia entre la medición del sensor ultrasónico de nivel y altura real de escurrimiento debido a una descalibración del cero de referencia del equipo, lo que provoca una sub o sobre estimación de caudal al realizar una medida incorrecta.

Sensores área-velocidad:

- Presencia de singularidades en la aproximación del equipo de medición. Para la medición de caudal deben existir longitudes libres de singularidades aguas arriba y abajo del instrumento de al menos 5 veces el ancho de canal o diámetro de tubería, debido a que estas provocarían que las velocidades del flujo en el interior del instrumento de medición no se distribuyan uniformemente a lo largo de su sección transversal. Por ejemplo, en una curva la velocidad se incrementa de forma sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo.

Flujómetro electromagnético inductivo:

- Presencia de burbujas de aire en el interior del equipo. Debido al principio de funcionamiento de estos equipos de medición, se debe asegurar que el medio a medir sea lineal.
- Longitud de tubería libre de singularidades insuficiente. La norma recomienda que existan longitudes libres aguas arriba y abajo del instrumento de al menos 5 veces el diámetro de tubería, debido a que estas provocarían que las velocidades del flujo no se distribuyan uniformemente a lo largo de su sección transversal, lo que generaría un aumento en la incertidumbre de medición.
- Formación de depósitos de sólidos y grasas en el interior de las tuberías. La formación de depósitos y acumulación de grasas disminuiría el diámetro interior en tuberías e instrumentos y de acuerdo con la ecuación de continuidad de caudal, una disminución en el diámetro provocaría un aumento de la velocidad en el flujo y consecuentemente en la medición de caudal.
- Ausencia de espacio adecuado para la instalación de equipos patrones en la tubería. Al no existir con condiciones físicas adecuadas, no se puede realizar la contrastación del equipo de medición de caudal.

Contrastación de medidores de caudal

Tras la identificación de cada uno de los puntos de medición de caudal y sus condiciones de instalación, se determinó el error de medición o incertidumbre existente por medio de contrastaciones realizadas por la empresa externa "LiquidFlow" y la "Unidad de Fugas", esta última perteneciente al Departamento de Producción y Redes de ESSAL. De acuerdo con los resultados obtenidos, se discriminó el "correcto funcionamiento" de cada punto de medición, según el criterio de aceptación de medidores de caudal establecido en la norma. A continuación, se puede apreciar un resumen del incumplimiento normativo de cada tipo de instrumento de medición, a través de los años:

	Incumplimiento NCh3205/of.2011			
	2014 -2016	2015	2016	2017
Canaleta Parshall	74%	53%	47%	35%
Flujómetro magnético inductivo	51%	47%	44%	24%
Sensor área-velocidad	100%	100%	100%	100%
Vertedero triangular	42%	75%	83%	75%

Tabla 10. Porcentaje de incumplimiento anual por tipo de elemento de medición.

Para las canaletas Parshall y flujómetros magnéticos inductivos se puede apreciar que el porcentaje de equipos que no han cumplido con el criterio de aceptación han ido disminuyendo a través de los años y por el contrario los vertederos triangulares han ido en aumento. Además, se puede apreciar que el número de sensores de área-velocidad que no han cumplido con el criterio de aceptación se han mantenido en el tiempo.

Protocolos de Inversión para correcciones en elementos de medición de caudal

Bajo los protocolos de inversión de la empresa de servicios sanitarios ESSAL, todo aquel trabajo o proyecto cuyo costo monetario sea inferior a 300 U.F., debe ser aprobado por la jefatura directa del departamento correspondiente. En caso contrario, se debe realizar una ficha de inversión, la cual será evaluada por un comité de inversión, quienes decidirán su aprobación o rechazo en un plazo máximo de 30 días. Es por ello que se dará prioridad a propuestas de baja inversión.

Propuestas de corrección sin Ficha de Inversión

Instalación de chimeneas de purga

Los Flujómetros magnéticos inductivos deben ser instalados estrictamente en condiciones de tubo lleno, con el fin de evitar que la presencia de aire interrumpa el medio a medir. En las PTAS de la concesión ESSAL, la configuración de la línea de Bypass en la mayoría de las plantas brinda condiciones propicias para la formación en exceso de burbujas de aire en el interior de la tubería, debido a que existe una caída libre importante del flujo, aguas arriba de la medición. Es por ello por lo que se recomienda la instalación chimeneas, aguas arriba del instrumento de medición, con el fin de expulsar las burbujas aire en exceso de aquellas tuberías que estén propensas a su formación.

Instalación de sensor de presión sumergido

Debido a la composición fisicoquímica y orgánica de las aguas residuales tratadas, en algunas PTAS se ha observado una constante presencia de espuma superficial en los puntos de medición de caudal de vertederos triangulares, la cual causa una lectura falsa por parte del sensor de nivel ultrasónico. Para evitar que la espuma influya en la medición, se propone reemplazar de sensor de nivel ultrasónico por un sensor de presión sumergido, a una distancia aguas arriba de 3 a 5 veces la altura de escurrimiento a través del vertedero o vena de agua.

Exposición de tubería para realizar contrastación

Debido a que, en su mayoría los flujómetros magnéticos inductivos se encuentran alojados en cámaras de inspección bajo el nivel de terreno, existen instrumentos en los cuales no existe una longitud de tubería expuesta para realizar una contrastación, lo que es una disconformidad de la norma. Se ha recomendado la construcción de cámaras de inspección contiguas a las que alojan los equipos de medición de caudal, con el fin de exponer un tramo de tubería adecuado para la realización de contrastaciones.

Extensión y/o angostamiento de canal de acercamiento

Para aquellos instrumentos de medición del tipo estructura hidráulica y en los cuales existan las condiciones adecuadas, tanto logísticas como estructurales, para realizar una extensión y/o estrechamiento de su canal de acercamiento, se realizará un replanteamiento de la estructura, según sea el caso.

Despeje de canal de acercamiento

Debido a que la presencia de elementos ajenos a los canales de acercamiento de estructuras hidráulicas causa una interferencia en el flujo y consecuentemente en la medición de caudal, se recomienda despejar los elementos que podrían producir una mayor influencia en la medición del flujo.

Plan de calibración de cero referencial

Es de suma importancia mantener un control en la calibración del cero de referencia para los sensores de nivel, debido a la sensibilidad que estos mantienen y las consecuencias que podría producir en la cuantificación de caudal y posterior operación. Debido a esto se conformó un plan de calibración semestral del cero referencial para sensores de nivel, el cual debe ser realizado por el Departamento de Mantenimiento de la empresa y comenzará el primer semestre del año 2018.

Propuestas de corrección sin Ficha de Inversión realizadas

Instalación de chimeneas de purga

En las siguientes plantas, se instalaron chimeneas de purga de aire a una distancia de 2 diámetros de tubería aguas arriba de los equipos de medición de la línea de Bypass:

- PTAS Ancud
- PTAS Castro
- PTAS Chaitén
- PTAS Futrono
- PTAS Lago Ranco
- PTAS Los Lagos
- PTAS Maullín

Instalación de sensor de presión sumergido

En los vertederos triangulares encargados de la medición de caudal de Efluente de las PTAS Castro y Ancud, se reemplazaron los sensores de nivel ultrasónicos por 2 sensores de nivel hidrostáticos sumergibles de membrana cerámica, debido a la agresividad química del medio a medir.



Fotografía 1. Canal de Efluente, PTAS Ancud.



Fotografía 2. Canal de Efluente, PTAS Castro.

Exposición de tubería para realizar contrastación

Desde el comienzo del Plan interno de Contrastación de Medidores de Caudal conformado el año 2014, no se ha podido realizar una medición de caudal de Afluente de la PTAS Osorno, debido a que no se cuenta con el espacio físico adecuado para la instalación de un equipo patrón. Actualmente la medición de Afluente se realiza por medio de un flujómetro electromagnético inductivo, instalado el año 2001 en una tubería de acero DN900 a 2 (m) bajo la cota de terreno.

Se expuso un tramo de tubería de Afluente por medio de la construcción de una cámara de hormigón de tamaño suficiente para realizar la instalación de un equipo patrón de contrastación de caudal.

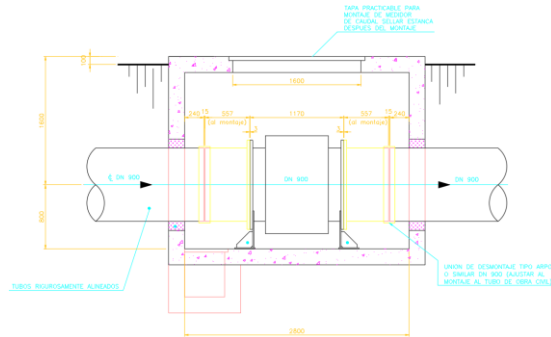


Figura 6. Cámara de equipo de medición de caudal de Afluente, PTAS Osorno.

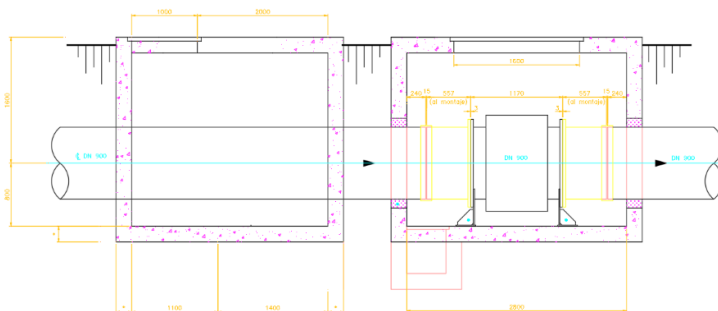


Figura 7. Configuración cámara de contrastación y cámara de equipo de medición de caudal de Afluente, PTAS Osorno.



Fotografía 3. Proceso de construcción cámara de contrastación, PTAS Osorno.

Extensión y/o angostamiento de canal de acercamiento

Se realizó la extensión del canal de acercamiento de la canal Parshall de Afluente, en la PTAS Río Negro, la cual implica la reubicación aguas arriba del aliviadero de tormenta y el reemplazo su sistema de rebalse por uno maniobrable. Esto debido a que el sistema tradicional de Bypass funciona por rebalse cuando el caudal de ingreso es mayor al máximo de diseño. Es común en la zona sur del país que en periodo seco (ByPass no permitido) el caudal que ingresa a la PTAS se mayor al caudal máximo de diseño por unos instantes, por lo tanto, el sistema tradicional genera Bypass, lo que trae consigo sanciones. El nuevo sistema permite el cierre total del Bypass en periodo seco debido a que consiste en una compuerta con una placa fija y una móvil maniobrable. Además, se realizó un angostamiento de mismo canal, con el fin de proveer una velocidad de flujo adecuada para contrastar y evitar embancamientos de arena. Cabe mencionar que ambos trabajos fueron realizados por medio de planchas de 30 (mm) de plástico de alta densidad como prueba piloto.

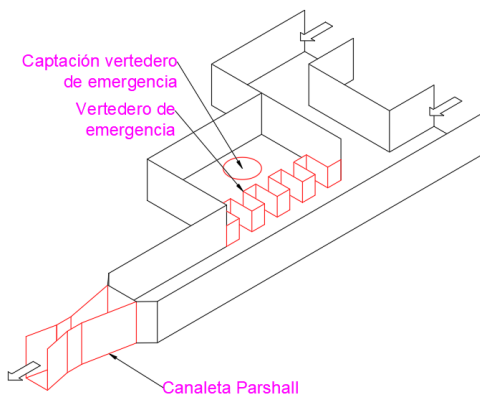


Figura 8. Configuración de Afluente, PTAS Río Negro.

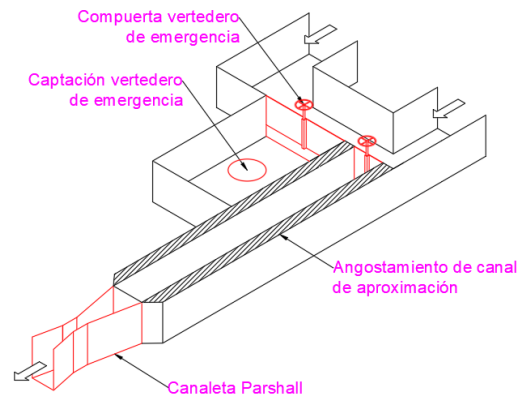


Figura 9. Configuración propuesta de Afluente, PTAS Río Negro.



Fotografía 4. Canal acercamiento Parshall de Afluente, PTAS Río Negro.



Fotografía 5. Canal acercamiento Parshall de Afluente post extensión y angostamiento, PTAS Río Negro.



Fotografía 6. Canal acercamiento Parshall de Afluente post extensión y angostamiento, PTAS Río Negro.

Despeje de canal de acercamiento

Debido a que las PTAS se encuentran alejadas de la zona urbana, no todas cuentan con agua potable en el interior de sus instalaciones, por lo cual éstas cuentan con una captación de agua de servicio en los canales de Efluente. Es por ello que se despejó el canal de acercamiento al vertedero triangular de medición de Efluente de las PTAS Frutillar, Castro y Los Lagos, reubicando dicha la captación aguas arriba del mismo canal.



Fotografía 7. Efluente, PTAS Castro.



Fotografía 8. Efluente, PTAS Frutillar.



Fotografía 9. Efluente, PTAS Los Lagos.



Fotografía 10. Efluente post reubicación de captación de agua de servicio, PTAS Castro.



Fotografía 11. Efluente post reubicación de captación de agua de servicio, Frutillar.



Fotografía 12. Efluente post reubicación de captación de agua de servicio, PTAS Los Lagos.

Plan de calibración de cero referencial

Mediante el plan de calibración, se constató una configuración errónea del cero de referencial en 2 de los 10 equipos de medición del tipo estructura hidráulica, verificados hasta la fecha, siendo el vertedero triangular de Efluente de la PTAS Río Bueno – La Unión el caso más crítico, con 71 (mm) de diferencia en la lectura, lo que implica una sobre estimación de 76 (l/s) aproximadamente en condición de caudal medio.

Propuestas de corrección con Ficha de Inversión

PTAS Llanquihue

Construida el año 2002, la PTAS Llanquihue recibe y trata las aguas residuales de las localidades de Llanquihue y Puerto Varas. El historial de funcionamiento de dicha planta deja en evidencia las constantes problemáticas que presentan sus procesos biológicos, las cuales son atribuibles a una mala cuantificación de caudal y el ingreso ilegal de residuos industriales. Por lo tanto, la convierten en prioridad de inversión debido al caudal diario tratado y sensibilidad de sus procesos biológicos.

Verificación de medidores de caudal PTAS Llanquihue

Por medio de los procedimientos de verificación de medidores de caudal establecidos en la NCh3205/of.2011 se constató que las condiciones de instalación de los instrumentos de medición instalados en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Llanquihue se encuentran seriamente deteriorados y no cumplen con los requisitos estipulados en la norma, debido a:

- Las longitudes del canal de aproximación en los 3 puntos de medición son inferiores al mínimo requerido por la norma.
- Los sensores de nivel ultrasónicos se encuentran desplazados del punto estándar de medición y/o desnivelado con respecto a la vertical.
- Existe un resalto hidráulico⁸ en la entrada de los elementos de medición de Afluente y Efluente (Canaletas Parshall). Si bien la norma no especifica recomendaciones sobre la presencia de resaltos hidráulicos, la ASTM D1941/of2001 indica que en caso de que exista, éste debe estar ubicado a una distancia de al menos 30 veces la altura de escurrimiento del punto de medición estándar.

Contrastación de medidores de caudal PTAS Llanquihue

En base a las contrastaciones de los elementos de medición de Afluente, Efluente y Bypass, se verificó que desde el 2014 no se ha podido realizar una contrastación confiable debido a que no existe el espacio físico adecuado para ello.

Pto. De Medición	2014	2015	2016	2017
Afluente	●	●	●	●
Efluente	●	●	●	●
Bypass	●	●	●	●
●	Incumplimiento normativo			
●	Cumplimiento normativo			

Tabla 11. Resultado de contrastaciones en los equipos de medición de caudal pertenecientes a la PTAS Llanquihue.

Ficha de Inversión

Con fecha de 17/01/2018, se ingresó a comité de evaluación una ficha de inversión por un monto de \$50.000.000- cuya finalidad es obtener los recursos necesarios para la construcción de un nuevo canal de Afluente instalado a un costado del canal actual existente, la extensión y nivelación del canal se acercamiento a la Parshall de Efluente y un mejoramiento en la línea de captación de caudal de Bypass. Para la concepción del diseño, se tomaron todas las pertinencias necesarias según NCh1105/of2008 y las recomendaciones establecidas en la NCh3205/of.2011.

⁸ Cambio rápido en la profundidad de un flujo desde un nivel bajo a un nivel alto, que involucra una pérdida de energía relativamente grande, mediante la generación de un exceso de ondas turbulentas (Chow, 1994).

PTAS Panguipulli

Construida el año 2002, la PTAS Panguipulli recibe y trata las aguas residuales de la localidad de Panguipulli. Debido a la constante activación del aliviadero de emergencia en periodo seco (Bypass no permitido), la PTAS ha recibido contantemente procesos de sanción desde la entidad reguladora correspondiente.

Verificación de medidores de caudal PTAS Panguipulli

Por medio de los procedimientos de verificación de medidores de caudal establecidos en la NCh3205/of.2011, se constató que las condiciones de instalación de los instrumentos de medición instalados en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Panguipulli no cumplen con los requisitos estipulados en la norma, debido a:

- Existe un grave error de diseño en la Parshall de Afluente, debido a que está diseñada para portear un caudal máximo de 34.8 (l/s) cuando el caudal medio y máximo de diseño es de 45 y 70 (l/s) respectivamente. Por lo tanto, el canal no es capaz de portear el caudal circulante bajo condiciones de escurrimiento normal.
- El canal de acercamiento de la Canaleta Parshall de afluente y Bypass inferior a lo recomendado.
- El sensor ultrasónico de nivel de la Canaleta Parshall de Afluente y bypass se encuentran desplazados del punto estándar de medición.
- Si bien el flujómetro magnético inductivo instalado en el punto de Efluente se encuentra correctamente instalado, éste no cuenta con un tramo de tubería expuesta lo suficientemente largo para instalar un equipo patrón de contrastación.
- La Canaleta Parshall instalada en el punto de medición de Bypass se encuentra severamente deformada y desnivelada, lo que produce una lectura de caudal en periodo seco, debido a que el tren de ondas emitidas por el sensor ultrasónico revota en la superficie irregular.

Contrastación de medidores de caudal PTAS Panguipulli

En base a las contrastaciones realizadas en los elementos de medición de Afluente, Efluente y Bypass, pertenecientes a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, se verificó que la incertidumbre en la medición de caudal ha ido disminuyendo con el pasar de los años. No obstante, dichas contrastaciones se han realizado bajo condiciones ideales de flujo y no consideran las fallas recurrentes de los equipos de medición de Afluente y Bypass.

Pto. De Medición	2014	2015	2016	2017
Afluente	●	●	●	●
Efluente	●	●	●	●
Bypass	●	●	●	●
●	Incumplimiento normativo			
●	Cumplimiento normativo			

Tabla 12. Resultado de contrataciones en los equipos de medición de caudal pertenecientes a la PTAS Panguipulli.

Ficha de Inversión

Con fecha de 17/01/2018, se ingresó a comité de evaluación una ficha de inversión por un monto de \$20.000.000- cuya finalidad es obtener los recursos necesarios para la construcción de un nuevo canal de Afluente, instalado a un costado del canal actual, cuya medición de caudal de realizará por medio de una canal Parshall adecuada. Además, se contempla la construcción de una nueva línea de Bypass, cuya medición se realizará por medio de un flujómetro electromagnético inductivo. Para la concepción del diseño, se tomaron todas las pertinencias necesarias según las recomendaciones establecidas en la NCh3205/of.2011.

Resultados de contrastaciones

PTAS	Punto de medición de caudal	Error Contrastación LiquidFlow (%)	Error Contrastación 2015 (%)	Error Contrastación 2016 (%)	Error Contrastación 2017 (%)	Error Contrastación 2018 (%)
Ancud	Bypass	-	-	3,77	3,23	8,95
Castro	Bypass	3,83	-	-	3,14	28,71
Chaitén	Bypass	-	-	3,54	6,75	4,11
Futrono	Bypass	-	-	-	-	14,33
Lago Ranco	Bypass	-	-	22,58	5,74	6,13
Los Lagos	Bypass	-	-	7,72	2,93	5,58
Mauilín	Bypass	-	-	-	4,31	4,90
Ancud	Efluente	-	44,26	-	-	8,01
Castro	Efluente	-	3,36	-	-	6,89
Frutillar	Efluente	17,99	3,09	-	-	11,36
Los Lagos	Efluente	-	5,00	3,00	4,12	29,75
Río Bueno - La Unión	Efluente	28,88	2,97	-	-	7,74
Osorno	Afluente	-	-	4,53	4,70	42,83
Río Negro	Afluente	7,85	-	-	2,18	4,97

Tabla 13. Resultados contrastaciones en puntos de medición intervenidos.

Conclusiones

En cuanto a las contrastaciones, al realizar una comparación entre las contrastaciones realizadas el presente año y las anteriores se puede apreciar que ha existido una constante variación en los resultados, a través de los años, esto debido a que al realizar una contrastación solo se está evaluando de forma puntual el funcionamiento del equipo de medición fijo, por lo tanto, solo refleja el funcionamiento de medición bajo las condiciones de flujo del momento, las cuales podrían variar llegando a favorecer o no al error de medición dependiendo de las circunstancias, las cuales no pueden ser manipuladas por el encargado de realizar la contrastación. Por otro lado, la calidad de las contrastaciones son cuestionables debido a que el personal encargado de realizar dichas mediciones no cuenta con un entrenamiento y/o certificación que respalde su experiencia en el correcto uso de los instrumentos de contrastación y desarrollo del procedimiento de contrastación. Finalmente, en cuanto al cálculo del error de medición, las variables Ecm (error del método de medición del equipo a contrastar) y Epm (Error del método de medición utilizado para el patrón) consideran factores como: variabilidad asociados a la medición de caudal tales como turbulencias; desnivelaciones superficiales en el caso de sensores de nivel; error por invasión⁹ y variaciones del flujo. Con el fin de evitar lo expuesto anteriormente, se debe capacitar y entregar las herramientas adecuadas al personal encargado de realizar contrastaciones con el fin de desarrollar la tarea de forma consiente adecuada y responsable. De lo contrario, externalizar el trabajo a una empresa competente en la materia.

En cuanto a los instrumentos de medición de caudal, debido a que en general son instrumentos diseñados en condiciones ideales de flujo y ambientes poco agresivos, al ser instalados en terreno, estos sufren una degradación acelerada de sus partes y/o una acumulación de sarro, debido a que la procedencia química de las aguas residuales genera un ambiente extremadamente agresivo. Con el fin de evitar estas circunstancias se debe crear un plan de mantenimiento progresivo y seguimiento de los instrumentos de medición.

Finalmente, si bien se esperaban mejores resultados tras las intervenciones realizadas, la implementación de la NCh3205/of.2011 ha tenido una buena recepción por parte de la organización, generando conciencia de la importancia que conlleva, en los procesos de purificación de aguas residuales, mantener un seguimiento y funcionamiento correcto de los medidores de caudal. Es por ello que el Departamento de Saneamiento se ha planteado objetivos anuales para la regularización de los medidores de caudal en un plazo de 3 años y en base a las contrastaciones realizadas por la empresa LiquidFlow.

⁹ Interrupción en las condiciones de escurrimiento natural del medio a medir debido al efecto de invasión producido por el equipo de medición de caudal inmerso.

	Incumplimiento NCh3205/of.2011			
	Contrastaciones LiquidFlow	Contrastaciones 2018	Contrastaciones 2019	Contrastaciones 2020
Canaleta Parshall	74%	49%	25%	≥10%
Flujómetro magnético inductivo	51%	34%	17%	≥10%
Sensor área-velocidad	100%	67%	33%	≥10%
Vertedero triangular	42%	34%	14%	≥10%

Tabla 14. Plan de regularización de medidores de caudales.

**Anexo****Contrastaciones**

Contrastación: Bypass PTAS Ancud

Fecha de contrastación: 16/01/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
12:30	4,4	4,5
12:31	3	3,2
12:32	2,3	3,1
12:33	3	2,9
12:34	3,3	3,2

Varianza	0,468	0,3256
Desviación Estándar	0,68410526	0,5706137

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro ultrasónico	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	6,45	%
Error total (NCh3205)	8,95	%



Contrastación: Bypass PTAS Castro

Fecha de contrastación: 27/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
13:30	34	33,9
13:31	38	38,5
13:32	41	42,1
13:33	43	43,5
13:34	74	73,8

Varianza	205,2	199,2624
Desviación Estándar	14,3248037	14,1160334

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro ultrasónico	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	26,21	%
Error total (NCh3205)	28,71	%



Contrastación: Bypass PTAS Chaitén

Fecha de contrastación: 12/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
18:40	4,1	4,1
18:41	4	3,9
18:42	4,2	4,1
18:43	4,1	4
18:44	4,1	4,1

Varianza	0,004	0,0064
Desviación Estándar	0,06324555	0,08

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro ultrasónico	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	1,61	%
Error total (NCh3205)	4,11	%



Contrastación: Bypass PTAS Futrono

Fecha de contrastación: 06/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
15:10	3,7	3,5
15:11	3,5	3,4
15:12	3,7	3,5
15:13	7,9	8,2
15:14	20,1	20,4

Varianza	40,6816	43,052
Desviación Estándar	6,37821292	6,56140229

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro ultrasónico	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	11,83	%
Error total (NCh3205)	14,33	%



Contrastación: Bypass PTAS Lago Ranco

Fecha de contrastación: 06/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
13:00	4,8	4,6
13:01	4,8	4,7
13:02	4,6	4,5
13:03	4,8	4,7
13:04	4,8	4,5

Varianza	0,0064	0,008
Desviación Estándar	0,08	0,08944272

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro ultrasónico	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	3,63	%
Error total (NCh3205)	6,13	%



Contrastación: Bypass PTAS Los Lagos

Fecha de contrastación: 28/12/2017

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
12:30	3,5	3,4
12:35	3,6	3,5
12:40	3,5	3,5
12:45	3,5	3,5
12:50	3,5	3,4

Varianza	0,0016	0,0024
Desviación Estándar	0,04	0,04898979

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro ultrasónico	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	1,81	%
Error total (NCh3205)	4,31	%



Contrastación: Efluente PTAS Ancud

Fecha de contrastación: 16/01/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
12:37	84,20	86,90
12:38	84,50	87,80
12:39	84,20	87,40
12:40	83,50	85,80
12:41	82,20	84,40

Varianza	0,6856	1,5104
Desviación Estándar	0,82800966	1,2289833

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Vertedero triangular 90°	1	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	3	%
Error de mediciones	5,01	%
Error total (NCh3205)	8,01	%



Contrastación: Efluente PTAS Castro

Fecha de contrastación: 27/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
13:15	34,2	33,9
13:16	36,1	34,5
13:17	36,4	35,1
13:18	35	34,5
13:19	35,7	33,8

Varianza	0,6296	0,2224
Desviación Estándar	0,79347338	0,47159304

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro Área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Vertedero triangular 90°	1	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	4,39	%
Error total (NCh3205)	6,89	%



Contrastación: Efluente PTAS Frutillar

Fecha de contrastación: 05/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
11:45	33,38	32,25
11:50	34,35	33,14
11:55	37,34	32,53
12:00	33,37	32,61
12:05	33,38	31,02

Varianza	2,356264	0,499
Desviación Estándar	1,535012704	0,70639932

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Vertedero triangular 90°	1,0	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	3	%
Error de mediciones	8,36	%
Error total (NCh3205)	11,36	%



Contrastación: Efluente PTAS Los Lagos

Fecha de contrastación: 28/12/2017

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
15:10	12,7	10,8
15:11	11,9	9,5
15:12	10,6	8,1
15:13	10,7	8,5
15:14	10,5	8,2

Varianza	0,7616	1,0376
Desviación Estándar	0,872696969	1,018626526

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Vertedero triangular 90°	1,0	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	3,0	%
Error de mediciones	26,75	%
Error total (NCh3205)	29,75	%



Contrastación: Efluente PTAS Río Bueno – La Unión

Fecha de contrastación: 28/01/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
15:25	172,4	173,1
15:26	177,8	177,4
15:27	175,6	174,3
15:28	177,2	175,9
15:29	180,5	179,2

Varianza	7,12	4,7016
Desviación Estándar	2,66833281	2,16831732

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Vertedero triangular 90°	1,0	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	3,0	%
Error de mediciones	4,74	%
Error total (NCh3205)	7,74	%



Contrastación: Afluente PTAS Osorno

Fecha de contrastación: 27/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
13:25	524,72	674,78
13:26	520	695,63
13:27	519,17	686,89
13:28	519,17	649,88
13:29	519,17	692,94

Varianza	4,670104	278,734504
Desviación Estándar	2,16104234	16,6953438

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Flujómetro inductivo	0,5	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	2,5	%
Error de mediciones	40,33	%
Error total (NCh3205)	42,83	%



Contrastación: Afluente PTAS Río Negro

Fecha de contrastación: 07/02/2018

Hora	Medidor Existente (L/s)	Medidor Portátil (L/s)
11:00	35,70	36,50
11:05	35,70	36,30
11:10	35,50	36,10
11:15	35,30	35,60
11:20	35,10	35,20

Varianza	0,0544	0,2264
Desviación Estándar	0,23323808	0,47581509

Equipo para contrastación	Error	Unidad
Flujómetro área-velocidad	2,0	%

Equipo en planta	Error	Unidad
Canaleta Parshall	1,0	%

Calculo de contrastación	Error	Unidad
Error base (instrumentos)	3,0	%
Error de mediciones	1,97	%
Error total (NCh3205)	4,97	%

Bibliografía

- Adame, A., & Salín, D. (1997). *Contaminación Ambiental*. Mexico: Editorial Trillas.
- ADTM1941 Open Channel Flow Measurement of Water with Parshall Flume*. (2001).
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Editorial McGRAW-HILL.
- Corona, L., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y Actuadores*. Azcapotzalco: Editorial Patria.
- Correal, R. (2002). *Tratamiento y Postratamiento de aguas residuales*. Boyacá: Editorial UNIBOYACA.
- Decreto Supremo 04 Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas*. (2010).
- Decreto Supremo 90 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales*. (2001).
- Dostre, R. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. New York: Editorial John Wiley and Sons.
- Hilleboe, & Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, D. d. (2000). *Manual de Tratamiento de Aguas*. Albany: Editorial Limusa.
- Hilleboe, & Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, D. d. (2000). *Manual de Tratamiento de Aguas Negras*. Albany: Editorial Limusa.
- Jenkins, D., & Wanner, J. (2014). *Activated Sludge - 100 Years and Counting*. London: Editorial IWA.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales* (Vol. 1). Madrid: Editorial McGRAW-HILL.
- NCh1105 Ingeniería Sanitaria - Alcantarillado de Aguas Residuales - Diseño y Cálculo de Redes*. (2008).
- NCh3205 Medidores de caudal de aguas servidas - Requisitos*. (2011).
- NCh3218 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas - Desinfección*. (2009).
- Ord.3104 SISS Uso de aliviaderos de tormenta o emergencia en sistema de alcantarillado*. (2011).
- Ramallo, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Servidas*. Quebec, Canadá: Editorial Reverté.
- Ruíz, A. (2001). *Medidores de velocidad*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Russell, D. (1943). *Tratamiento de Aguas Residuales - Un enfoque Práctico*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Sandarriaga, J. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá: Editorial McGRAW-HILL .
- Winkler, M. (1999). *Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho*. Mexico: Editorial Limusa.