

## **Detección de conexiones clandestinas de agua potable con métodos acústicos – un nuevo método y su aplicación en campo**

### **Detection of drinking water clandestine connections with acoustic methods - a new method and its application in the field**

Stefan Ziemendorff<sup>1\*</sup>

#### **RESUMEN**

Uno de los principales problemas que enfrentan las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) tanto en el Perú como en otros países es el hurto de agua potable, comúnmente denominado clandestinaje. El clandestinaje de agua se da de muchas formas y por varios motivos, por lo cual las maneras de combatirlo deben ser igual de diversas. Un método totalmente novedoso se ha probado exitosamente en la ciudad de Moquegua, Perú, en 2016: la detección acústica de tuberías enterradas – incluyendo conexiones clandestinas – mediante el sistema COMBIPHON. El artículo describe en forma pormenorizada el proyecto piloto, así como las limitaciones y potencialidades de este novedoso método.

**Palabras clave:** Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, agua potable, conexiones clandestinas, métodos acústicos, COMBIPHON

#### **ABSTRACT.**

One of the main problems facing sanitation providers both in Peru and abroad is the theft of drinking water, commonly called clandestine appropriation. Clandestine appropriation comes in many forms and for various reasons, and methods to combat it must be equal to the circumstances. A completely new method has been successfully tested in the city of Moquegua, Peru, in 2016: the acoustic detection of buried pipes, including illegal connections, by the COMBIPHON system. The article describes the pilot project in detail as well as the limitations and potential of this new method.

**Keywords:** Sanitation Provider Enterprises, drinking water, clandestine connection, acoustic methods, COMBIPHON

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad de Rostock. Rostock, Alemania.

\* Autor de correspondencia. E-mail: [sziemendorff@gmail.com](mailto:sziemendorff@gmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

### *Efectos del claudestinaje*

El hurto del agua potable, en adelante claudestinaje del agua, es un fenómeno que se da en muchos países del mundo. Es particularmente frecuente en países en vías de desarrollo como el Perú. Los efectos del claudestinaje del agua potable son múltiples (Figura 1). Por un lado afecta a la economía de las EPS, por no facturar grandes cantidades de agua potable, y por consiguiente, también de uso del alcantarillado. A la vez incrementa sus costos de producción, además de que los consumos claudestinos, al no ser medidos y luego cobrados, tienden a ser mayores por fugas internas o derroche del agua.

También afecta a otros indicadores de las EPS, como por ejemplo la cobertura del servicio, por no contar con todas las familias eficazmente abastecidas de agua potable. Del mismo modo el claudestinaje incrementa el Agua No Facturada (ANF) de las EPS, no solamente por evitar la facturación de importantes volúmenes consumidos, sino también debido al hecho de que muchas de las instalaciones claudestinas son realizadas de forma antitécnica, de manera que se producen fugas.

Por otro lado, el claudestinaje no solamente tiene efectos negativos para las EPS, sino también para los consumidores de agua potable. Primeramente puede afectar a los mismos usuarios claudestinos, mediante



Figura 1. Efectos del claudestinaje en una EPS.  
Fuente: Elaboración propia

sanciones administrativas y legales así como una baja calidad del servicio. Aún más, repercute en los usuarios formales, los cuales con sus pagos están subsidiando el servicio a los claudestinos, además de que la baja recaudación de las EPS – una de las diversas causas de la deficiencia económico financiera de la cual sufren muchas EPS tanto en el Perú como también en otros países – reduce su capacidad de subsanar deficiencias en el servicio.

Sin embargo, en ciertos casos el claudestinaje puede tener un efecto positivo: el acceso al servicio de agua

potable de familias que no cuentan con título de propiedad o con los recursos suficientes para pagar los costos, en ocasiones muy altos, de una conexión regular.

### *Tipología del claudestinaje de agua potable*

El hurto o claudestinaje del agua potable tiene varias causas y muchísimas formas de manifestarse, por lo cual los métodos de prevenir y combatirlo también deben ser sumamente diversos.

En lo que sigue se trataría de hacer una clasificación del claudestinaje en tres grupos:

**Grupo 1:** El primer grupo de conexiones clandestinas consiste en aquellas realizadas por usuarios que desean acceder al servicio de agua potable, sin que su principal motivación sea robar el agua misma, sino evitar los, a veces, altísimos costos de una conexión, o los derechos municipales conexos, o bien porque no cuentan con los requisitos legales. En este caso tanto la conexión como el uso del servicio son clandestinos. Las formas de conectarse a la red pueden variar técnicamente desde conexiones directas a la red, desviaciones de conexiones o instalaciones internas de vecinos, hasta conexiones a redes provisionales, como por ejemplo las líneas de inducción a piletas públicas. Los motivos de la instalación de una conexión clandestina son varios:

- El costo elevado de la conexión cobrado por la EPS (hasta el cuádruple del costo real)
- Las pocas facilidades de pago (frecuentemente 50% o el total del costo de la conexión)
- Los costosos permisos municipales de rompimiento y reposición de pistas, veredas y jardines
- Los trámites burocráticos largos y costosos
- Problemas con la acreditación de la posesión o propiedad, que muchas veces resulta imposible conseguir

Las formas de prevenir este tipo de clandestinaje ya han sido descritas exhaustivamente por Alva Vives *et al.* (2006b), y consisten principalmente en facilitarles al máximo el acceso al agua a las familias que viven en el ámbito de las EPS.

Del mismo modo ya se han descrito con detalle las estrategias de regularizar este tipo de conexiones clandestinas (Cubas Rojas *et al.*, 2006). Éstas consisten en visitar al cliente, apoyarlo con los trámites burocráticos necesarios y darle amplias facilidades de pago para su regularización.

Cabe indicar que por las mismas razones arriba expuestas, existe un alto número de conexiones clandestinas en el servicio de alcantarillado, las cuales son de más fácil detección y regularización (Alva Vives *et al.*, 2006a). Tanto las medidas de prevención

como de regularización fueron exitosamente validadas en el marco del “Plan 100 000 Conexiones” en 12 EPS del Perú.

**Grupo 2:** Otro grupo de clandestinos de agua potable son aquellos que poseen una conexión legal que ha sido cortada, bien por falta de pago, o bien a solicitud del usuario (corte temporal). También existe el caso de que la conexión no haya sido activada oficialmente por la EPS y el usuario. En todos estos casos, en cuanto el usuario active el servicio sin conocimiento o autorización de la EPS, también tenemos que hablar de un uso clandestino del servicio de agua, pero esta vez sin que la conexión sea clandestina a la vez. A esta estrategia recurren los usuarios que no quieren o no pueden - a veces temporalmente - pagar el servicio. Técnicamente, podrían utilizar las mismas formas de robar el agua arriba descritas, pero en la realidad predominan otras, como la de sobornar al cortador de la EPS para que no corte o inmediatamente reponga el servicio, o la de autorehabilitar el servicio, sea con un tubo o una manguera, e incluso, en ocasiones, la de realizar un “bypass” debajo o al costado de la conexión cortada. En el Perú muchas veces resulta imposible cortar estas conexiones clandestinas, ya que por ser enterradas no se las logra ubicar. Las maneras de combatir este tipo de clandestinaje ya han sido descritas anteriormente (Alva Vives *et al.*, 2006c), y consisten en un conjunto de medidas para ofrecer mayores facilidades de pago, así como el control de conexiones cortadas y la realización de cortes drásticos, como por ejemplo el corte tras caja con retiro de tubería. En los últimos años, se ha ido difundiendo un sistema proveniente de Colombia llamado “corte intrusivo”, el cual consiste en la colocación de un tapón dentro de la conexión (Alarcón, 2011).

**Grupo 3:** El tercer grupo de usuarios clandestinos, al igual que el segundo, cuenta con una conexión formal. Pero en este caso, las conexiones están equipadas con un medidor de agua que controla el consumo. El clandestinaje en este grupo consiste justamente en evitar que el agua consumida sea correctamente

medida y facturada, es decir se trata de clientes con conexión formal y sus pagos del servicio al día, pero que sin conocimiento de la EPS consumen más agua de lo que logra medir el medidor. Esta forma de hurtar el agua es mucho menos frecuente, pero ocasiona un daño económico importante en las EPS, ya que se trata casi exclusivamente de consumidores principales, como hoteles grandes, colegios privados e industrias. Técnicamente existen muchísimas maneras de evitar que el medidor marque correctamente el consumo realizado. Un primer tipo de acciones consiste en dejar el medidor en pleno funcionamiento, de tal forma que al inspeccionarlo, no es posible detectar la manipulación, lo cual se consigue de las siguientes maneras:

1. **Inversión del medidor:** Consiste en voltear el medidor para que en vez de aumentar, la lectura disminuye conforme siga el consumo. Posteriormente se le regresa a su posición normal para que el lectorista de la EPS no se dé cuenta de la manipulación. En el caso de que el usuario se olvide de regresar el medidor a tiempo, a veces se detecta la manipulación cuando el consumo del mes resulta ser negativo, es decir la lectura del mes actual es más baja que la del mes anterior.
2. **Extracción temporal del medidor:** En épocas de muy alto consumo (como algunos hoteles durante la famosa Semana Santa de Ayacucho), se extrae el medidor y se vuelve a instalarlo pasada el período de consumo alto; si este período no coincide con los días de lectura, la EPS no logra detectar este tipo de manipulación.
3. **Retroceder la lectura del medidor:** Es un método parecido a la inversión del medidor, pero en este caso no se usa el flujo del agua para bajar la lectura del medidor, sino aire a presión (como el que se usa para inflar las llantas de autos). Justamente por ello, este tipo de manipulación se encuentra con cierta frecuencia en lavaderos de carros, siempre consumidores importantes. Luego de retro-

ceder la lectura del medidor, se vuelve a instalarlo. Esta forma es aún más difícil de detectar debido al corto tiempo por el que se extrae el medidor y a la precisión con la cual el cliente puede manipular su consumo.

Otro tipo de manipulación consiste en evitar que el medidor deje de funcionar parcial o totalmente:

1. **Manipulación del medidor:** El cliente retira o desgasta algunos dientes del engranaje del medidor o desgasta las hélices de la turbina del medidor, de tal modo que el medidor mide mucho menos del consumo real. Debido a que este tipo de manipulación requiere conocimientos técnicos, es realizado en ocasiones por personal de campo de las mismas EPS o por los contratistas a cargo de la instalación de los medidores, a cambio de un soborno por parte del cliente interesado.
2. **Paralización del medidor:** Consiste en destruir el reloj del medidor perforándolo en la parte del engranaje con una aguja caliente. Debido a que puede saltar a la vista de los lectoristas de las EPS, este tipo de manipulación no es muy frecuente. Menos llamativa es la introducción de un alambre u otro objeto largo y rígido por el tubo de agua en la turbina del medidor. Para que la EPS no se dé cuenta de esta manipulación, el cliente retira temporalmente el objeto obturador, de forma que una parte del consumo sí es registrada.
3. **Vandalización (destrucción) del medidor:** Consiste en el uso de fuerza bruta para que el medidor deje de funcionar o ya no pueda ser leído.
4. **Autorrobo del medidor:** El autorrobo es fácil de distinguir de un robo ajeno – por ejemplo para extraer el bronce de la cáscara –, ya que no ocurre de forma masiva, sino aisladamente y en clientes de consumo considerable. A pesar de la facilidad de detección del caso, mayormente no se puede evidenciar que el robo fue cometido por el mismo cliente.

Las formas de hurto de agua hasta aquí expuestas dentro del grupo de clientes clandestinos con conexión legal pueden ser prevenidas con bastante eficiencia mediante el uso de cajas de seguridad para el medidor y/o un dispositivo de seguridad llamado “pulpo”, para anclar el medidor en el piso. Pueden ser detectadas indirectamente vía métodos estadísticos (padrones e historiales de consumo) o directamente mediante controles de lecturas diarias, interdiarias o semanales a los principales consumidores, tal como los efectúa por ejemplo la EPS SEDACUSCO. En este grupo entra una forma de manipulación del consumo que requiere sobornar a trabajadores de las EPS y consiste en, intencionadamente, no cambiar un medidor del cual se conoce que subregistra el consumo, por ya haber superado su tiempo de vida útil.

Completamente diferente e imposible de evitar con las acciones anteriormente expuestas es otra forma de manipulación: dejar el medidor en las condiciones de instalación sin tocarlo, pero evitar que el agua pase por él:

1. **Servidumbre vecinal:** Un cliente con consumo alto y medidor instalado jala el agua de un vecino que no tiene medidor. Ocurre porque las EPS con escasa micromedición sólo colocan medidores a los consumidores importantes, de modo que este tipo de manipulación se previene mediante la universalización de la micromedición.
2. **Derivación:** Consiste en conectarse clandestinamente a la conexión de un vecino, pero delante de la entrada del agua a su respectivo medidor, de tal forma que no afecta al consumo de este vecino; a veces la manipulación es coludida.
3. **Bypass:** Se evita que el medidor registre el total del consumo mediante la instalación de un tramo de tubo que desvía el paso del agua por una U debajo o al costado de la caja del medidor, por el cual ya no pasa el agua o solo de forma parcial. Esta manipulación suele darse de forma masiva en obras de colocación

de pistas y veredas, donde los trabajadores de estas obras se ganan un “adicional” ofreciendo la instalación de un bypass, sumamente difícil de detectar luego de concluir la obra.

4. **Conexión adicional:** Se trata de una segunda conexión adicional a la regular – clandestina y sin medidor.

Estos últimos tipos de clandestinaje son los más difíciles de detectar hasta la fecha, pero como son efectuados mayoritariamente por grandes negocios e industrias, tienen una gran importancia. En cuanto exista una sospecha justificada, teóricamente se podría excavar todo el frente del lote del sospechoso, pero debido al tamaño, a la presencia de pistas y veredas u otros factores, esta medida resulta demasiado costosa. El método expuesto en el presente artículo trata de lidiar justamente con esta dificultad, ya que así se logra ubicar la infraestructura clandestina con precisión y sin necesidad de realizar dichos trabajos.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### *Tecnologías disponibles para la localización de tuberías de agua potable*

Sin tratar de ser exhaustivo, podemos resumir los dos métodos probados en el Perú hasta la fecha para la localización de tuberías así: El primero es el GPR (Ground Penetrating Radar- Radar Penetrante del Suelo) o Georadar, más usado en el campo de la arqueología que en el sector de saneamiento, el cual, a grandes rasgos, consiste en la emisión de ondas electromagnéticas al suelo y la sucesiva captación de las señales de rebote, lo que permite detectar irregularidades, diferencias en la densidad del suelo, cavidades etc. Sin embargo, presenta una seria desventaja al funcionar de manera satisfactoria principalmente en suelo seco arenoso, predominante en la costa del Perú; además, cuando se encuentren irregularidades en el suelo, es muy difícil identificar en qué consisten, lo que se suma a la problemática del alto costo de esta tecnología. A pesar de esto, la EPS SEDAPAL (Lima) usa esta tecnología recientemente

con resultados alentadores. El segundo método que ya se encuentra en uso desde hace algunos años en SEDAPAL y en SEDACUSCO, es la inspección televisiva interna de redes de agua, para la cual se inserta una cámara guiada por fibra óptica dentro de la red. Si bien es un método bastante eficaz para encontrar fugas en la red de agua, tiene varias limitaciones en cuanto a la detección de clandestinos. Por un lado no puede inspeccionar tubos de bajo diámetro, como las mismas conexiones, y por otro lado siempre se requiere acceder a la red de agua directamente, lo que no siempre es posible sin romper las pistas. El costo de este método es también muy alto.

Sin embargo, en el contexto del proyecto “Detección de fugas en redes de agua potable”, realizado entre 2010 y 2013 en el Perú, se tuvo conocimiento de otro método potencialmente más eficaz y económicamente más razonable para la ubicación de conexiones clandestinas, ya que hasta cierto punto funciona con los mismos equipos que también se usan para detectar fugas invisibles de agua. Dicho método se ha usado en Alemania para localizar tuberías de agua enterradas (por ejemplo para catastros técnicos), de manera que ciertas particularidades suyas aparentaban ser ideales para adaptarlas a la detección de clandestinos. Por ello se decidió probarlo para este fin en condiciones reales en el Perú.

#### **Descripción de los equipos usados**

Los equipos usados para la localización de tuberías y, más adelante, de clandestinos, fueron proporcionados en calidad de préstamo por la empresa alemana Hermann Sewerin GmbH:

1. **El sistema COMBIPHON:** Está compuesto por la unidad de control central y un generador, así como dos tipos de osciladores, de los cuales solo se usa uno a la vez: el Striker y el Stopper. El Striker somete las tuberías a vibraciones al golpearlas desde afuera, como si se tratara de un martillo eléctrico. El Stopper genera una onda de presión dentro de la tubería al abrir y cerrarse rápidamente. De esta forma, la columna de agua dentro de la

tubería se pone en movimiento, extrayendo el agua desde la acometida, y se frena a intervalos a través del Stopper. Tanto las vibraciones generadas por el Striker como las ondas de presión del Stopper se propagan a través de las tuberías y pueden ser localizadas a grandes distancias con el anteriormente mencionado AQUAPHON. La intensidad de la onda de presión del Stopper y de los golpes del Striker pueden ser reguladas acorde a la distancia de la tubería buscada (CONBIPHON, 2011).

2. **El sistema AQUAPHON 200:** En el AQUAPHON 200 las vibraciones también se transfieren hasta la superficie a través del suelo, si bien de forma fuertemente atenuada. El AQUAPHON ayuda a los usuarios en la detección de fugas, pues convierte las vibraciones en sonidos audibles para el oído humano y, además, registra el volumen y el espectro de frecuencias (AQUAPHON, 2016). Sólo que para el proyecto piloto aquí descrito, en vez de detectar fugas, se registrará el sonido producido por las vibraciones generadas a su vez por el sistema COMBIPHON, ya sea mediante el Striker o el Stopper.
3. **Adaptador para el Stopper:** El Stopper ha sido concebido originalmente para ser conectado a la red de agua vía un hidrante. Debido al hecho de que la densidad de hidrantes en el Perú es muy baja, fue necesario confeccionar un adaptador para que pueda ser conectado vía tubos de polietileno a los puntos de más fácil acceso de la red de agua: las conexiones.

#### **Principio de funcionamiento a ser probado en el proyecto piloto**

Se prevé que la detección de conexiones clandestinas mediante tecnología acústica podrá ser usada para dos tipos de clandestinos. En el primer caso se trata de aquellas conexiones que pertenecen a usuarios morosos de las EPS, pero que no han podido ser



cortados debido a la imposibilidad de ubicar la conexión, normalmente porque está enterrada. El segundo caso comprende a los usuarios con consumos sospechosamente bajos en los cuales ya se ha comprobado el perfecto funcionamiento de su medidor. Para averiguar si un consumo está sospechosamente bajo, se puede recurrir a dos métodos estadísticos. El primero es el análisis de historiales de consumo, mediante el cual se identifica a clientes con caídas sustanciales y permanentes de su consumo. El segundo consiste en el análisis de padrones de consumo, comparando negocios del mismo tipo - como hoteles, restaurantes o colegios privados - entre ellos para poder determinar, por ejemplo, si un hotel muy grande tiene menor o igual consumo que un hotel mucho más pequeño (Alva Vives, 2009).

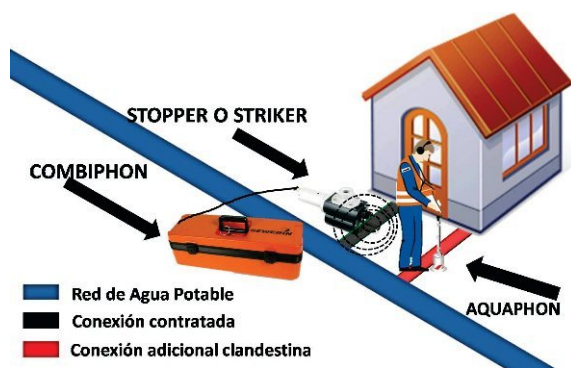


Figura 2. Esquema de la búsqueda de clandestinos con tecnología acústica.

Fuente: Elaboración propia a base de imágenes de la Hermann Sewerin GmbH

A estos dos grupo de usuarios se les puede intervenir de la forma mostrada en la figura 2, donde se ilustra el principio de funcionamiento de la búsqueda que se ha tratado de validar en el proyecto piloto, siguiendo los pasos siguientes:

**Primer paso:** Se conecta el Striker o Stopper, por un lado a la unidad central del COMBIPHON, y por el otro lado de una conexión domiciliar cercana (en el esquema en color negro) al lugar donde se sospecha de la existencia de una conexión clandestina invisible o enterrada (Figura 3).

**Segundo paso:** Se enciende el COMBIPHON, de forma que el Stopper o Striker genera vibraciones que

se propagan a través de la tubería.

**Tercer paso:** Se camina lentamente con el AQUAPHON frente al lote donde se sospecha que existe una conexión clandestina; cuanto más se acerca el AQUAPHON a una tubería, más fuerte se percibe el ruido de los golpes que el agua da al mismo ritmo que la fuente emisora.

**Cuarto paso:** En el lugar donde las vibraciones (golpes) se perciben mejor y no debería existir ninguna tubería enterrada, se encuentra la tubería clandestina.

**Quinto paso:** Se excava el lugar identificado hasta dar con las instalaciones de tubería clandestina (en el esquema en color rojo).

En consecuencia, los objetivos del proyecto piloto fueron los siguientes:

1. Averiguar si el COMBIPHON con Striker genera vibraciones suficientes y distinguibles para que se puedan ubicar conexiones clandestinas enterradas con precisión mediante el AQUAPHON.
2. Responder la misma pregunta en cuanto al Stopper en lugar del Striker.
3. Averiguar bajo qué condiciones se puede recomendar el uso de cada uno de los equipos.
4. Precisar las condiciones mínimas, el alcance y las limitaciones de esta tecnología.



Figura 3. COMBIPHON con Striker conectado a una conexión domiciliar. (Foto: Autor)

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Desarrollo del proyecto piloto – Fase 1: Pruebas en red experimental

El proyecto piloto “Detección de clandestinos con métodos acústicos” se inició en 2014 en la EPS

SEMAPACH en Chincha (Departamento Ica), donde, si bien se llegó a algunas conclusiones interesantes en cuanto a la viabilidad de la tecnología, no se logró concluir el proyecto debido a problemas técnicos en la implementación.

Por ello se decidió llevar a cabo un segundo intento en la EPS Moquegua, el cual fue preparado por PROAGUA II – el Programa de Modernización y Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento de la Cooperación Alemana implementado por la GIZ a partir de 2015, y finalmente realizado en febrero de 2016. Las pruebas comenzaron en una pequeña red experimental de agua potable de ½ pulgada y un total de 35 metros de largo, ubicada en la planta de agua potable de Chen Chen, Moquegua. Para tal fin se instaló el COMBIPHON con Striker, tal como se observa en figura 3, antes de determinar por dónde se propagaba el sonido. Posteriormente se realizaron exactamente las mismas pruebas con el Stopper en vez del Striker, el cual, junto con su adaptador, fue colocado encima de la conexión en un banco de madera especialmente confeccionado para este fin (Figura 4).



Figura 4. Banco para el Stopper. (Foto: Autor)

Los resultados en la red de prueba fueron los siguientes:

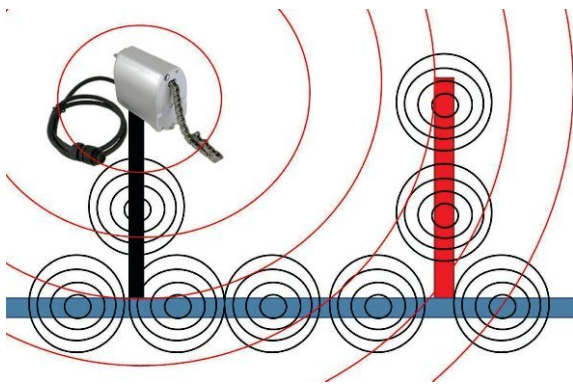
1. Ambos dispositivos de generación de vibraciones funcionan bien, son fáciles de colocar en la conexión y la fuerza de sus golpes es regulable.
2. Los participantes de la GIZ y de la EPS Moquegua se familiarizaron rápidamente con el uso de los equipos.
3. Los golpes del Stopper que transmite el banco al suelo son tan fuertes que posteriormente resulta imposible distinguir las vibraciones propagadas a través de la red de las propagadas por el suelo. Por ello, se decidió descartar el banco y envolver el Stopper en frazadas y colocarlo en la maletera de un carro para amortiguar el golpe hacia el suelo lo máximo posible.
4. Aparentemente el equipo Striker ocasiona menos problemas en este sentido; sin embargo se notó que la compactación de la tierra encima de la red de prueba era tan poca que se distorsionó el resultado; por tanto, se decidió validar la tecnología directamente en campo.

#### *Desarrollo del proyecto piloto – Fase 2: Pruebas en campo*

Primeramente se realizaron pruebas en el centro de la ciudad con la finalidad de determinar si se lograba ubicar las conexiones vecinas de una conexión aleatoriamente seleccionada, mediante el Striker.

Nuevamente el resultado fue muy dudoso, por un lado debido a las diversas interferencias causadas por obras públicas y particulares, por otro lado porque el sonido generado por el Striker se propagaba no solamente a través de la red de agua sino también a través de las veredas y pistas, como se muestra en la figura 5: El sonido generado por el golpe del Striker y propagado a través del subsuelo (círculos rojos) se superpone al sonido transmitido a través de la red (círculos negros), haciéndolo aparentemente indistinguible.





**Figura 5.** Esquema de propagación del sonido (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, se decidió realizar una prueba a larga distancia en un parque tranquilo (Figura 6). Se sondeó el sonido desde el mismo punto de agua en el cual se había conectado el Striker en dos direcciones: en una dirección seguía la tubería (enterrada), mientras que en la otra no había tubo alguno, con la finalidad de excluir que el impacto generado por los golpes en el mismo punto de ubicación del Striker fuera demasiado fuerte para poder ser distinguido del impacto en el mismo tubo. En esta prueba se obtuvieron resultados positivos, y es que las cinco personas participantes lograron ubicar el ducto del tubo. Sin embargo, se constató que la propagación del sonido a través del subsuelo llegó a una distancia considerable (medimos unos 12 metros).



**Figura 6.** Búsqueda de tubería de agua en un parque. (Foto: Autor)

Con este resultado alentador decidimos pasar a la siguiente fase: la búsqueda de conexiones enterradas.

### ***Desarrollo del proyecto piloto – Fase 3: Detección de conexiones enterradas en campo***

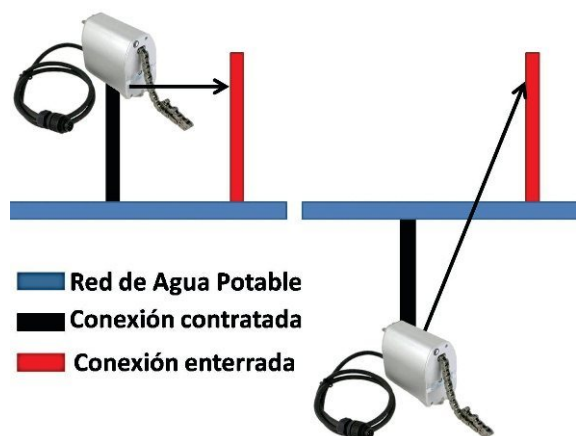
Para aumentar las posibilidades de éxito en esta fase de

prueba se seleccionaron aquellas conexiones cuya existencia se conocía, sin tener datos sobre su ubicación exacta, es decir conexiones enterradas de clientes formales. Entre ellos había casi 200 que no habían podido ser cortadas por deuda debido a la imposibilidad de ubicar la conexión respectiva; de estos últimos, se seleccionaron algunas en el AA.HH. San Antonio. En esta prueba piloto no se iba a buscar conexiones adicionales a la regular, ya que en estos casos no se contaba con más de una sospecha, aunque bien fundamentada, de que existían.

En primer lugar, se halló que, usando el COMBIPHON con el Stopper envuelto en frazadas y ubicado en la maletera del carro, el sonido generado por las vibraciones del equipo propiamente dicho había disminuido, pero seguía siendo más fuerte que el sonido propagado a través de la tubería, imposibilitando la ubicación de conexiones enterradas con esta tecnología. Se intentó aislar el sonido propio del equipo colgándolo en unos resortes, pero este experimento tampoco resultó exitoso. También se pensó en la fabricación de una caja de madera llena de espuma, estrategia que ya no se logró implementar por falta de tiempo. La caja sería colocada nuevamente en un carro para reforzar los efectos de amortiguamiento lo que ya podría dar solución al problema de propagación del sonido a través del suelo.

Vistos los inconvenientes ocasionados en las pruebas con el Stopper, el tiempo restante del proyecto piloto se enfocó en el Striker. En su caso sí se encontró una solución en cuanto a la sobreposición del sonido de las vibraciones a las de las tuberías en el suelo, debido al hecho de que efectivamente el golpe propio del equipo transmitido a través del suelo a partir de la fuente emisora (el Striker) es menor. Además se conectó el Striker en el lado opuesto de la calle del lugar sondeado con el AQUAPHON a una conexión. Esta medida resultó muy eficaz gracias a que la distancia recorrida por las vibraciones a través de la tubería de agua, de esta manera, es prácticamente la misma, ya que la mayoría de redes de agua pasan por el medio de las calles. Pero el recorrido de las vibraciones por el

suelo, es decir, aquellas que se superponen al sonido buscado, así se alarga de manera importante (Figura 7). Cabe indicar que dicha medida es asimismo viable para ser usada con el equipo Stopper.



**Figura 7.** Comparación de distancias en forma esquemática (Fuente: Elaboración propia)

De esta forma, se obtuvo un sonido mucho más limpio, de modo que las personas participantes del proyecto lograron ubicar dos conexiones enterradas con un margen de error mínimo entre las diferentes ubicaciones determinadas por cada participante (50 centímetros en un caso en el que la frente del lote medía 15 metros, y 20 centímetros en el otro donde la frente del lote era de 5 metros). Para confirmar los hallazgos se procedió a excavar en los lugares detectados, donde efectivamente se hallaron las conexiones buscadas (Figura 8).



**Figura 8.** Integrantes del equipo peruano-alemán celebrando las primeras conexiones enterradas halladas con métodos acústicos. (Fotos: M. Kersting)

De esta manera, por primera vez, se logró demostrar bajo condiciones reales que el método acústico es viable para el fin previsto: la detección de clandestinos.

Gracias a ello, se convierte en una alternativa real, especialmente tomando en cuenta que el costo de los equipos no supera los US\$ 5,000 (sin contar el AQUAPHON, ya que las EPS normalmente ya disponen de equipos como éste para la detección de fugas invisibles de agua potable), aunque, por supuesto, persiste la necesidad de estudiar la tecnología y metodología más a fondo.

**Desarrollos post-piloto**

En base a las experiencias del proyecto piloto en la EPS MOQUEGUA, se desarrolló otra experiencia piloto entre los meses de abril y julio 2016, en la EPS EMAPA SAN MARTIN, en la ciudad de Tarapoto (Departamento San Martín). Esta EPS ya disponía de los equipos, además de contar con recursos humanos altamente capacitados en el tema de detección de fugas con métodos acústicos.



**Figura 9.** Caja para amortiguar las vibraciones del Stopper. (Foto: G. Vitt)

Retomando los conocimientos generados en Moquegua, se fabricó una caja para amortiguar las vibraciones causadas por los golpes del Stopper. Dicha caja cuenta con tres orificios: uno para la entrada del agua, otro para la salida, y, finalmente, uno más pequeño para el cable que conecta el Stopper con la unidad central del COMBIPHON. Fue revestida de una capa de tecnopor y luego rellena de espuma (figura 9). La caja fue montada en la tolva de una camioneta,

logrando neutralizar de esta forma las vibraciones del golpe propio del Stopper.

En las pruebas realizadas con ambos osciladores se logró la detección de ocho conexiones enterradas, hallando algunos datos interesantes adicionales a los obtenidos en Moquegua. En primer lugar, el equipo Striker funciona mejor en tubería vacía, probablemente porque los tubos vacíos brindan mejores condiciones para la propagación del sonido. En segundo lugar, se constató que la distancia hasta la

cual se propaga el sonido a través de las tuberías es mayor con el Stopper, pero que disminuye considerablemente en cuanto la presión del agua baja.

### ***Alcances y límites de la aplicación del COMBIPHON***

De acuerdo a la clasificación expuesta líneas arriba, el sistema COMBIPHON, con Striker o Stopper, podrá ser usado para la detección de diferentes tipos de clandestinaje, sin ser aplicable para todos los tipos; la tabla 1 resume tanto sus alcances como sus límites.

**Tabla 1.** Alcances y límites de la aplicación del COMBIPHON

<b>GRUPO DE CLANDESTINOS</b>	<b>COMBIPHON APLICABLE</b>	<b>COMBIPHON NO APLICABLE</b>
<b>Conexión clandestina sin otra conexión</b>	(1) Conexión directa (2) Derivación de otra conexión	(1) Servidumbre vecinal
<b>Usuario en corte con uso clandestino</b>	(1) Conexión adicional (2) Derivación de otra conexión (3) Conexión enterrada no cortada (pero en corte en sistema) por ser inubicable	(1) Sobornos a cortadores (no se corta, pero si figura como cortado en sistema) (2) Autorehabilitación (3) Bypass (4) Servidumbre vecinal
<b>Usuario con medidor - uso parcialmente clandestino</b>	(1) Conexión adicional (2) Derivación de otra conexión	(1) Manipulación del medidor (2) Paralización del medidor (3) Destrucción del medidor (4) Autorrobo del medidor (5) Inversión del medidor (6) Extracción temporal del medidor (7) Retroceder la lectura del medidor (8) Servidumbre vecinal (9) Bypass

**Fuente:** Elaboración Propia

Cabe indicar que, si bien el COMBIPHON se puede usar en los casos indicados en el primer grupo, se sigue recomendando la priorización de estrategias que lleven a la formalización de este tipo de conexiones clandestinas.

## **VI. CONCLUSIONES**

### ***Conclusiones para el equipo Striker***

- (1) La búsqueda de clandestinas con el equipo Striker funciona.
- (2) Sin embargo se debe de indicar claramente que resulta más complicada que la detección de fugas invisibles con el mismo equipo, por lo que se requiere mucho más práctica de campo para usarlo de manera correcta.
- (3) La distancia máxima para sondear los soni-

dos es mayor con la tubería vacía, es decir, fuera del horario de abastecimiento.

- (4) El margen de error aumenta con la profundidad del tubo porque el sonido generado no se propaga de forma lineal hacia arriba, sino de forma circular.

### ***Conclusiones para el equipo Stopper***

- (1) La búsqueda de conexiones clandestinas con el equipo Stopper funciona en cuanto se usa una caja aisladora de vibraciones como la descrita en el texto, la cual debe ser montada en un vehículo para aumentar el aislamiento.
- (2) El Stopper puede propagar el sonido todavía más lejos a través de las tuberías que el Striker.
- (3) Para el uso del Stopper se requiere menos

entrenamiento del oído porque, al contrario del Striker, es posible absorber completamente las vibraciones del piso causado por el golpe del equipo mismo, obteniendo un sonido mucho más fácil de ubicar.

- (4) El equipo Stopper sólo puede ser utilizado con tubería llena, es decir dentro del horario de abastecimiento. La fuerza de los golpes aumenta paralelamente con la presión, lo cual tiene dos implicaciones:
  - a. La distancia a la cual se puede sondear los sonidos es mayor a mayor presión.
  - b. Existe cierto peligro de que, en caso de presiones muy altas, se generen fisuras en la tubería, sobre todo si ésta es de mayor antigüedad.

#### **Conclusiones para ambos equipos**

- (1) No será posible encontrar “bypasses” con este método, debido a que este tipo de ductos se ubica demasiado cercano a la conexión domiciliar regular.
- (2) Aún queda por averiguar qué influencia tiene la presencia de pistas y veredas sobre la transmisión de sonidos.

#### **Recomendaciones**

- (1) Se recomienda implementar equipos de detección de clandestinos con métodos acústicos en las EPS que ya cuentan con experiencias en la detección acústica de fugas invisibles.
- (2) Se plantea deseable la implementación de otro proyecto más amplio, con características demostrativas en vez de experimentales, y con la finalidad de difundir el método.
- (3) Igualmente se recomienda comparar las ventajas y desventajas, alcances y limitaciones, así como el costo-eficiencia de las tecnologías para detección de clandestinos, es decir el Georadar, la inspección televisiva interna y la detección acústica.

#### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi gratitud a Michael Kersting y

Gregor Vitt, ingenieros de la empresa SEWERIN, por su apoyo decisivo en la realización del proyecto piloto, así como por el préstamo de los equipos necesarios para ello. Asimismo a Eloy Alarcón, experto comercial de la empresa AKUT PARTNER, co-responsable directo del proyecto piloto descrito. A la Cooperación Alemana, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través de PROAGUA II.

A Elvis Llanos, Gerente General de la EPS Moquegua, Martín Soto, Gerente Comercial de dicha entidad, y Candy Pisfil, Jefa del Departamento de Catastro y Medición, por el apoyo logístico brindado en la realización del proyecto. Asimismo a Marco Antonio Ydme y Oswaldo Ticona por su apoyo en el trabajo de campo. De la EPS EMAPA SAN MARTÍN quiero resaltar la participación de los técnicos de campo Reynaldo Gómez y Augusto Arana. Finalmente también a la Asociación Nacional de Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento del Perú (ANEPSSA PERÚ) por difundir la experiencia piloto.

#### **V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alarcón, E. *EMAPA HUARAL S.A. - Corte intrusivo para corte drástico*. Programa de Agua Potable y Alcantarillado PROAGUA / GTZ, Lima (Perú), 2011.
- Alva Vives, T., J.A. Puellas Barturén y S. Ziemendorff. *Serie Gestión Comercial de las EPS. Módulo 01: Actualización dinámica catastral*. Programa de Agua Potable y Alcantarillado PROAGUA / GTZ, Lima (Perú), 2006 a.
- Alva Vives, T., J.A. Puellas Barturén y S. Ziemendorff. *Serie Gestión Comercial de las EPS. Módulo 03: Venta de nuevas conexiones*. Programa de Agua Potable y Alcantarillado PROAGUA / GTZ, Lima (Perú), 2006 b.
- Alva Vives, T., J.A. Puellas Barturén y S. Ziemendorff. *Serie Gestión Comercial de las EPS. Módulo 04: Gestión de cobranza morosa y cortes efectivos*. Programa de Agua Potable y Alcan-



- tarillado PROAGUA / GTZ, Lima (Perú), 2006 c.
- Alva Vives, T. *Serie Gestión Comercial de las EPS. Módulo 05: Herramientas para la optimización del consumo medido*. Programa de Agua Potable y Alcantarillado PROAGUA / GTZ, Lima (Perú), 2009.
- AQUAPHON. *Detección electroacústica de fugas de agua, profesional – flexible – inteligente*. Hermann Sewerin GmbH, Gütersloh (Alemania), 2016.
- COMBIPHON. *Manual de instrucciones*. Hermann Sewerin GmbH, Gütersloh (Alemania), 2011.
- Cubas Rojas, J.E., J.A. Puelles Barturén y S. Ziemendorff. *Serie Gestión Comercial de las EPS. Módulo 02: Regularización masiva de clandestinos*. Programa de Agua Potable y Alcantarillado PROAGUA / GTZ, Lima (Perú), 2006.