



TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR PÚBLICO

PROGRAMA DE SANEAMIENTO UNIVERSAL EN  
LOCALIDADES COSTERAS Y TURÍSTICAS  
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

(DR-L1165)



Documento del Banco Interamericano de Desarrollo

## **REPÚBLICA DOMINICANA**

### **PROGRAMA DE SANEAMIENTO UNIVERSAL EN LOCALIDADES COSTERAS Y TURÍSTICAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

**(DR-L1165)**

TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR PÚBLICO

El presente documento se divulga al público de forma simultánea a su distribución al Directorio Ejecutivo del Banco. El Directorio Ejecutivo podrá aprobar o no el documento o aprobarlo con modificaciones. Si posteriormente fuera objeto de actualizaciones, el documento actualizado se pondrá a disposición del público de acuerdo con la Política de Acceso a Información del Banco.

## 04

### INTRODUCCIÓN

## 07

### PLATAFORMA SANIHUB

- 08\_ SANIHUB REDBASICA
- 12\_ SANIHUB RAMALES
- 16\_ SANIHUB DWATS
- 21\_ SNIHUB EBAR
- 25\_ MÓDULO PRESUPUESTARIO SANIHUB
- 28\_ HERRAMIENTAS DIGITALES COMPLEMENTARIAS
- 28\_ CUENCAS DE CONTRIBUCIÓN
- 31\_ ESTUDIOS POBLACIONALES
- 33\_ PLUG-INS EN DESARROLLO EN LA PLATAFORMA SANIHUB
- 33\_ SANIHUB SUPERVISIÓN
- 34\_ FILOSOFÍA PARA EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE OBRAS
- 37\_ AVANCES DESARROLLO DEL MÓDULO DE SUPERVISIÓN EN SANIHUB
- 40\_ MÓDULO SANIHUB EBAR 2.0
- 41\_ MÓDULO SANIHUB RAMALES 2.0

## 43

### MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE MEDIANTE LA DIGITALIZACIÓN

- 43\_ CONTEXTO
- 44\_ UNOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE OPERADOS A CIEGA
- 44\_ LOS PASOS DE UNA METODOLOGÍA COMPROBADA
- 45\_ LAS ACTIVIDADES
- 50\_ UNA CAJA DE HERRAMIENTAS DIGITALES EFECTIVAS
- 50\_ LA FORMACIÓN DEL PERSONAL
- 53\_ LA ELABORACIÓN DE LOS CATASTROS DE INFRAESTRUCTURAS
- 55\_ SISTEMA INFORMÁTICO DE GESTIÓN COMERCIAL

# 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anexo es presentar los aspectos técnicos de los procesos de digitalización del saneamiento y de agua potable utilizados en la elaboración de los proyectos del Programa DR-L1165, los principales productos resultantes y la presentación de las herramientas de código abierto utilizadas.

La digitalización de proyectos de saneamiento y de agua se está convirtiendo en una tendencia cada vez más dominante en el sector de infraestructura, trayendo consigo una serie de beneficios en términos de eficiencia, precisión y sostenibilidad. La transición de procesos analógicos a digitales permite una gestión más eficaz de los recursos, la mejora de la calidad de los servicios y la facilitación de la toma de decisiones basada en datos. En este contexto, el uso de herramientas de código abierto y software libre desempeña un papel crucial.

Las herramientas de código abierto y el software libre ofrecen varias ventajas significativas para la digitalización de proyectos de saneamiento:

**Coste-efectividad:** La principal ventaja es la reducción de costos, ya que estas herramientas suelen ser gratuitas y evitan la necesidad de licencias caras asociadas al software propietario.

**Flexibilidad y Personalización:** Con acceso al código fuente, los usuarios pueden adaptar y personalizar las herramientas según las necesidades específicas de sus proyectos, promoviendo soluciones más adecuadas y eficientes.

**Colaboración e Innovación:** La comunidad global de desarrolladores contribuye continuamente a la mejora de estas herramientas, introduciendo nuevas funcionalidades y corrigiendo fallos de manera colaborativa. Esto crea un entorno dinámico de innovación constante.

**Transparencia y Seguridad:** El código abierto permite una mayor transparencia, ya que cualquier persona puede revisar y verificar el código para identificar y corregir vulnerabilidades, aumentando la seguridad de las soluciones implementadas.

Existen varios softwares de código abierto que pueden ser utilizados en proyectos de saneamiento y de agua, especialmente para el diseño de sistemas y la gestión de

recursos hídricos. Aquí están algunos de los principales:

### **1. QGIS (Quantum GIS)**

Descripción: QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite la visualización, edición y análisis de datos geoespaciales. Es ampliamente utilizado en proyectos de saneamiento para el mapeo y la planificación de redes de alcantarillado y suministro de agua.

Recursos: Ofrece una amplia gama de plugins, incluidos aquellos desarrollados por SaniHUB, como RedBasica y Ramales, que son específicos para proyectos de redes de alcantarillado condominiales y convencionales.

Enlace: [QGIS](#)

### **2. Plugin de QgisRed para QGIS**

Descripción: QgisRed es un Pluggin para Qgis funcionado con el motor de EPANET. Es un software libre utilizado para modelar el movimiento y la calidad del agua dentro de sistemas de distribución de agua presurizados, desarrollado por La Universidad Politecnica de Valencia, España (UPV).

Recursos: Permite la simulación del flujo de agua, presión, altura del reservorio y concentración de sustancias químicas a lo largo del tiempo.

El BID está apoyando el desarrollo de nuevas funcionalidades de QgisRed por medio de un Convenio con la UPV.

Enlace: [EPANET](#)

### **3. SWMM (Storm Water Management Model)**

Descripción: Desarrollado por la EPA de los Estados Unidos, el SWMM se utiliza para modelar la cantidad y calidad de la escorrentía de aguas pluviales en áreas urbanas.

Recursos: Simula el escurrimiento de superficies, la entrada en sistemas de drenaje y la conducción a través de canales, túneles y alcantarillas.

Enlace: [SWMM](#)

#### **4. Plugins de SaniHUB para QGIS**

Descripción: Desarrollados específicamente para proyectos de saneamiento, los plugins de SaniHUB como RedBasica, Ramales, DWATS y EBAR son herramientas adicionales a QGIS que facilitan el diseño y análisis de redes de alcantarillado.

Recursos: Incluyen funcionalidades para el dimensionamiento y cálculo de redes de alcantarillado condominiales y convencionales.

Enlace: SaniHUB

#### **5. ECAM (Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring Tool)**

Descripción: es una herramienta de código abierto diseñada para evaluar el desempeño energético y las emisiones de carbono en el sector del agua. Desarrollada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y el International Water Association (IWA), ECAM está dirigida a servicios de agua y saneamiento, ayudando a las empresas a identificar y cuantificar oportunidades de ahorro energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Recursos: Soporta Evaluación de Desempeño Energético, Monitoreo de Emisiones de Carbono, Identificación de Oportunidades, Interfaz Amigable y Informes y Análisis.

Enlace: ECAM

Estos programas son ampliamente utilizados por ingenieros y profesionales del saneamiento para la planificación, análisis e implementación de sistemas de agua y alcantarillado, ofreciendo una variedad de herramientas que cubren desde el modelado hidráulico hasta el análisis ambiental.

Además de los programas informáticos mencionados, se utilizan algoritmos de apoyo a la generación de información fundamental para los proyectos. QGIS (Quantum GIS) es una herramienta poderosa de software libre que permite la utilización de algoritmos avanzados para la identificación y análisis de cuencas hidrográficas y analizar la distribución y densidad de la población, así como su relación con la infraestructura de saneamiento.

El presente anexo presenta las herramientas digitales que se están utilizando en el

proyecto financiado por el BID para la ingeniería, la formación del personal, el mejoramiento de la operación de los sistemas de agua y de la gestión comercial del INAPA.

## 2. PLATAFORMA SANIHUB

En los proyectos de saneamiento desarrollados en el marco de este programa, los productos resultantes fueron fruto del uso exclusivo de softwares de código abierto. En todas las fases de elaboración de los proyectos se utilizó ampliamente el concepto de digitalización, lo que proporcionó una elevada productividad en términos de plazos de ejecución, coherencia y calidad técnica.

La digitalización de los proyectos de saneamiento mediante herramientas de código abierto y software libre representa una importante oportunidad para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los servicios de saneamiento. Al adoptar estas tecnologías, las organizaciones pueden beneficiarse de soluciones más flexibles, rentables y colaborativas, contribuyendo a construir infraestructuras más resilientes y adaptables a las necesidades futuras.

Los principales recursos utilizados fueron los plug-ins desarrollados por la plataforma SaniHUB.

SaniHUB.org es una plataforma dedicada a la difusión de conocimientos y tecnologías modernas para el diseño de sistemas de saneamiento, con un enfoque especial en la metodología Condominial de alcantarillado. Desarrollada con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y con la participación de universidades como la Universidad Federal de Bahía (UFBA), SaniHUB ofrece una serie de recursos educativos y herramientas de software de código abierto para profesionales del sector de saneamiento.

La plataforma proporciona videoclases exclusivas sobre sistemas condominiales de alcantarillado, cubriendo tanto aspectos técnicos como sociales. Estos cursos son gratuitos e incluyen tutoriales sobre cómo utilizar los plug-ins QGIS desarrollados por SaniHUB, como RedBasica, Ramales, DWATS (Plantas de tratamiento descentralizadas) y EBAR (Estaciones de bombeo de aguas residuales) que ayudan en el diseño de redes de alcantarillado condominiales y convencionales.

La plataforma tiene como objetivo facilitar el acceso a soluciones de saneamiento sos-

tenibles, especialmente en áreas urbanas informales y en países en desarrollo, donde los recursos técnicos y financieros son limitados.

A continuación, presentamos las principales características y funcionalidades de los plug-ins desarrollados por la plataforma que se utilizaron en el desarrollo de los proyectos.

## 2.1. SaniHUB REDBASICA

El SaniHUB RedBasica es un software libre que tiene como objetivo auxiliar en el trazado y dimensionamiento de redes colectoras de alcantarillado, con herramientas para el diseño de sistemas del tipo condominial. Funciona como un complemento (plugin) para el software libre QGIS, de Sistema de Información Geográfica.

En septiembre de 2021 se lanzó la versión 1.0 del plugin, que es compatible con las versiones de QGIS 3 en adelante, pero se recomienda utilizar siempre la versión estable actual (LTR), que se puede consultar en el sitio web: <https://qgis.org/en/site/>. La versión 1.0 marca el fin de la necesidad de utilizar la hoja de cálculo de dimensionamiento basada en Excel proporcionada anteriormente; todos los cálculos realizados en ella se han incorporado a una aplicación dentro del propio QGIS, lo que convierte el software en 100% libre y de código abierto, además de proporcionar una mayor practicidad durante las etapas del proyecto. Es importante mencionar que las funcionalidades de exportar la red trazada a un archivo .csv continúan en SaniHUB RedBasica, lo que permite que los usuarios que lo prefieran sigan utilizando la hoja de cálculo de dimensionamiento proporcionada o incluso una hoja de cálculo propia.

El software fue desarrollado originalmente para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la Latin America Investment Facility – European Union (LAIF) con fines educativos y para promover el libre acceso a herramientas modernas para el diseño de sistemas de alcantarillado, con funcionalidades adaptadas para el diseño de sistemas de alcantarillado del tipo condominial. El complemento también puede ser utilizado para la elaboración de proyectos de redes convencionales.



Algunas de las ventajas que ofrece SaniHUB RedBasica son:

- Facilidad tanto en el trazado de nuevos colectores como en la edición de colectores existentes, lo que facilita el estudio de alternativas y la optimización del sistema;
- La flexibilidad de alterar parámetros en los cálculos hidráulicos y el dimensionamiento de las redes proyectadas;
- Integración de la herramienta de análisis hidráulico y dimensionamiento con el diseño de la red en QGIS;
- Integración con un sistema GIS, que facilita diversas operaciones como consultas y análisis espaciales, almacenamiento de la información de los colectores en cada tramo;
- Simplifica el proceso de registro de activos (redes) una vez que el proyecto ya está desarrollado en un entorno GIS;

Al ser un software libre y de código abierto, permite el intercambio no solo de las hojas de cálculo de memoria de cálculo y planos, sino del proyecto en su totalidad, lo que facilita auditorías y verificaciones, además de permitir simulaciones, ediciones y actualizaciones del sistema propuesto.

El complemento combina funciones básicas ya presentes en QGIS (herramientas de dibujo, georreferenciación, entre otras) con otras funcionalidades creadas con la finalidad de facilitar y automatizar el diseño de una red colectora de alcantarillado.

Las herramientas añadidas a QGIS por el complemento son:

- Creación de capas vectoriales (shapes) preconfiguradas para la elaboración del proyecto;
- Nominación de los colectores;
- Vinculación entre las capas vectoriales y sus atributos;
- Estilos y etiquetas personalizados para cada capa;
- Verificación de posibles inconsistencias del proyecto;
- Ventanas de visualización de los atributos del tramo seleccionado y otras informa-

ciones del proyecto;

- Herramienta de cálculos y dimensionamiento de las redes colectoras de alcantarillado directamente dentro de QGIS, con todos los parámetros de cálculo editables;
- Importación de los resultados del cálculo hidráulico de vuelta al trazado en QGIS;
- Exportación de los resultados de la red dimensionada al software EPA SWMM;
- Visualización del resultado del dimensionamiento en el plano del proyecto;
- Posibilidad de exportar datos del trazado para cálculo hidráulico en otras hojas de cálculo o software externo y posterior importación del resultado.

El vínculo entre los módulos de QGIS y la aplicación de cálculos se realiza de manera simplificada utilizando las herramientas del plugin. Si el usuario desea exportar para uso externo (hoja de cálculo o software), esto se hace a partir de las funciones de exportación e importación de archivo de texto separado por comas (".csv") que contiene información básica para el dimensionamiento, como: nombramiento de los colectores, nombramiento de los tramos, extensión de cada tramo, tipología del trazado, cotas del terreno, anotaciones auxiliares hechas por el usuario durante el proyecto, etc.

Tanto la aplicación de cálculos interna como la hoja de cálculo proporcionada (RedBasica) están basadas en la norma brasileña de "Proyecto de redes colectoras de alcantarillado sanitario" (NBR 9649), incluyendo el cálculo de tensión tractiva. Sin embargo, los parámetros de cálculo pueden ser ajustados libremente por el usuario a las características locales.

Para visualizar la información de los tramos dimensionados en el mapa, el usuario puede alternar el estilo de la capa vectorial de los tramos al estilo de visualización de los resultados. Esto se hace utilizando comandos del plugin y el resultado mostrado debe contener la información según se muestra en la imagen a continuación.

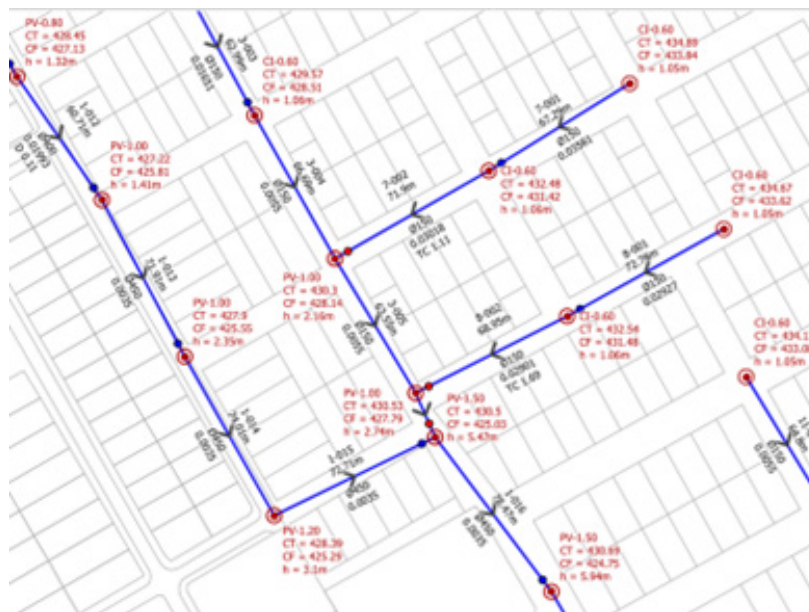


Figura 1. Plan del proyecto con los resultados del diseño.

Figura 2. Hoja de cálculo de dimensionamiento hidráulico.

En la versión actual del plug-in, es posible generar los perfiles de las redes de recolección diseñadas.

La herramienta de perfil funciona buscando la información de la red dimensionada en la aplicación de cálculo de QGIS, no directamente en la capa vectorial de tramos y nodos. Por lo tanto, es necesario que la red haya sido dimensionada utilizando la aplicación de cálculo y no la hoja de cálculo de dimensionamiento. Además, no es posible seleccionar solo un tramo del colector para mostrar el perfil.

Para la creación del perfil de los colectores dimensionados, el usuario debe seleccionar los tramos que desea mostrar en el perfil. Es importante que todos los tramos seleccionados estén conectados y que no se seleccionen dos tramos que contribuyan al mismo nodo.

Una vez seleccionados los tramos, basta con hacer clic en el botón correspondiente

y se mostrará el panel de perfil. El usuario debe seleccionar en el campo Layer cuál es la capa Raster utilizada como MDT del proyecto. En el campo Distance (meters), es posible seleccionar cada cuántos metros se capturará la cota del terreno para la interpolación y creación del perfil. Una vez todo configurado, el usuario debe hacer clic en update para que el perfil sea creado, como se muestra en la imagen a continuación.

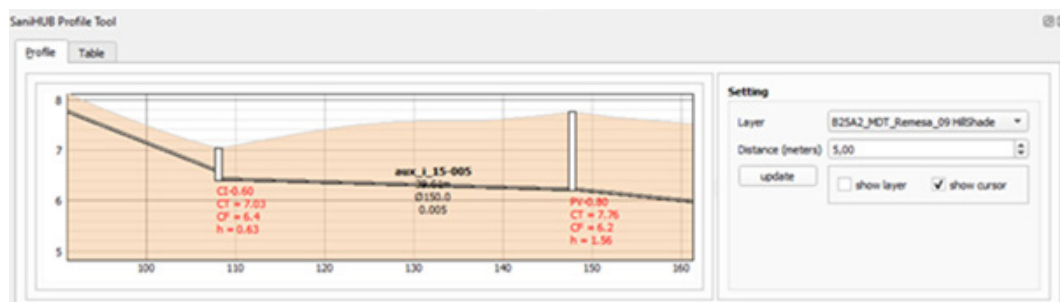


Figura 3. Perfil de la red de recolección.

El manual completo de la versión 1.0, que contiene la aplicación de los cálculos en QGIS, está actualmente en desarrollo, y también hay un curso disponible en el canal de YouTube con traducciones al inglés, español y francés, que también se está actualizando para incluir las nuevas funcionalidades.

## 2.2. SaniHUB RAMALES

El SaniHUB Ramales es un software libre que tiene como objetivo auxiliar en el trazado y en la elaboración de proyectos de ramales domiciliarios de alcantarillado, con herramientas para el diseño de sistemas del tipo condominial o convencionales. El plugin permite la elaboración de proyectos a partir de información recolectada en campo utilizando un formulario desarrollado para el uso de la aplicación Qfield y el procesamiento final en el entorno de QGIS.

El software fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y de la Unión Europea (UE), con la finalidad de promover el libre acceso a herramientas modernas para el diseño de sistemas de alcantarillado y para el desarrollo de estrategias que aseguren servicios de saneamiento en asentamientos informales, con recursos del Fondo Español de Cooperación para Agua y Saneamiento en América Latina y el Caribe (FECASALC).

La instalación del SaniHUB Ramales se realiza, al igual que otros plugins de QGIS, a través del menú Complementos. La elaboración de los proyectos de los ramales se lleva a cabo en tres etapas. La primera consiste en la preparación de las bases de manzanas que serán proyectadas, la segunda se refiere a los levantamientos de datos de campo y finalmente la finalización del proyecto en el entorno de QGIS en la oficina.

### **Creación de proyectos de ramal de alcantarillado en QGIS**

El proyecto de cada manzana se realiza a través del panel de la aplicación, que se abre al acceder al ícono creado durante la instalación. En la pestaña "Inicio", haga clic en "Crear". En el cuadro que se abrirá, el usuario debe elegir el idioma del Geopackage del proyecto, definir el nombre del proyecto y el lugar donde se almacenará, y buscar el Sistema de Referencia de Coordenadas del proyecto. En este momento, las capas Geopackage del idioma seleccionado se cargarán en la pantalla de QGIS y el usuario podrá preparar la base del proyecto para enviarlo al equipo de campo.

El panel principal de la aplicación se presenta en la figura a continuación.



Figura 4. Panel principal de la aplicación.

### **Recolección y envío de datos en la aplicación Qfield**

Los levantamientos de campo serán realizados por los usuarios utilizando dispositivos móviles (smartphones o tablets), que deberán tener previamente instalada la aplica-

ción Qfield.

Qfield es un proyecto paralelo a QGIS, creado para ser utilizado en dispositivos móviles para actividades de campo. Desarrollado por OpenGIS, funciona bajo la misma licencia pública que QGIS, la GNU (General Public License), con código fuente totalmente abierto para su uso, inspección y modificación. Utiliza el sistema operativo Android 4.3 o superior e iOS 14 o superior, y puede ser descargado desde las tiendas de aplicaciones Google Play o App Store.

Qfield funciona con localización GPS, con funcionalidad offline completa, capacidad de sincronización y permite la visualización de todas las capas (raster y vectoriales) previamente cargadas en el proyecto.

Con el archivo del proyecto de cada una de las manzanas a proyectar, el usuario debe abrirlo a través de la aplicación Qfield en su dispositivo móvil e iniciar la recolección de datos.

El resultado de la información levantada en campo y los ramales proyectados pueden ser visualizados en la imagen a continuación.



*Figura 5. Proyecto de campo finalizado.*

## Finalización del proyecto y generación de la hoja de cálculo (Ingeniería de detalle)

El proyecto de la manzana vuelve del campo prácticamente listo para impresión. Corresponde al usuario, en la oficina, verificar la consistencia de los ramales antes de pasar a la etapa de cálculo.

Concluida la etapa de verificación de los cálculos, el usuario debe hacer clic en “Generar” para que se produzca la Orden de Servicio (Ingeniería de detalle). La orden de servicio se generará en formato .xls y cada ramal ocupará una pestaña del archivo. En todas las pestañas constará la identificación del ramal, su extensión y la extensión total de la manzana, además de los datos ingresados y calculados anteriormente, como se ilustra en la Figura.

Para la impresión del proyecto, el usuario puede crear o insertar su plantilla usando la herramienta para crear el compositor de impresión de QGIS. No obstante, SaniHUB Ramales proporciona una plantilla del estándar A3.



Figura 6. Plan definitivo del proyecto.

Para la utilización del plugin se ha elaborado un manual, o guía del usuario, con la descripción de los pasos desde la creación de los proyectos en el entorno QGIS, los procedimientos para la recolección de datos en campo, importación y exportación de la información, elaboración de los proyectos de ramales condominiales, además de la producción de la hoja de cálculo y la orden de servicio para la ejecución de las obras. Se están elaborando video tutoriales para la utilización del plugin que pronto estarán disponibles en la plataforma. El manual está inicialmente disponible en portugués y

posteriormente se elaborará una versión en español e inglés.

## 2.3. SaniHUB DWATS

El SaniHUB DWATS es un software libre que tiene como objetivo la elaboración de proyectos de Plantas de Tratamiento descentralizadas.

El SaniHUB DWATS fue financiado por medio de dos fuentes: la Facilidad de Inversiones para América Latina (LAIF), con recursos de la Comisión Europea a través de un programa de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y el AquaFund, un fondo de múltiples donantes del Banco Interamericano de Desarrollo para agua y saneamiento que es apoyado por: la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID); el Ministerio de Finanzas de Austria; la Cooperación Suiza, a través de la Secretaría de Estado de la Economía (SECO) y la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE); y la Fundación PepsiCo.

Para este primer módulo de Estaciones de Tratamiento Descentralizadas se seleccionó la tecnología de los Reactores Anaerobios Compartimentados (RAC). En este contexto, se adoptó la idea de que los sistemas simplificados y descentralizados de tratamiento de aguas residuales deben contemplar aspectos como: reducida mecanización, es decir, existencia de pocas o ninguna Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR), procesos de tratamiento que no requieran de aireación forzada o recirculación de efluente, y que la solución respete las particularidades locales, como topografía, tipo de suelo, índice pluviométrico, capacidad técnica y capacidad de pago del usuario, pudiendo esta solución ser individual o colectiva. En cuanto a los estándares de vertido para el efluente tratado, estos deben estar en consonancia con los requisitos legales o normativos de cada localidad del proyecto.

El reactor anaerobio compartimentado (RAC), conocido en inglés como Baffled Septic Tank o Anaerobic Baffled Reactor (ABR), fue desarrollado por McCarty y colaboradores en el año 1980, presentando diversos atractivos frente a otras tecnologías anaerobias, tales como los tanques Imhoff y los filtros anaerobios.

El RAC, también conocido como tanques sépticos secuenciales, consiste en un diseño de unidad de tratamiento, característico de sistemas simplificados, en el cual su con-



figuración estructural condiciona la eficiencia del proceso. Sus compartimentos internos en serie, separados por paredes o deflectores, generalmente verticales, son responsables de aumentar el tiempo de detención hidráulica (TDH) y determinan el camino recorrido por las aguas residuales, de modo descendente y ascendente, lo que hace que el líquido entre en contacto con regiones de elevada concentración de microorganismos activos, ubicados en el fondo de las cámaras, permitiendo así alcanzar mayores eficiencias de degradación de la materia orgánica (SATO, 2013).

La adopción de una unidad de tratamiento primario, mediante un tanque de sedimentación, se utiliza con la finalidad de retener y remover la fracción sedimentable de los sólidos presentes en las aguas residuales, antes de su inserción en la serie de cámaras de flujo ascendente y descendente. Entre las cámaras, el flujo es dirigido hacia el fondo de la siguiente cámara por paredes deflectoras que forman un eje inferior (deflectores) o por tubos que son colocados en las paredes divisorias.

La instalación del SaniHUB DWATS se realiza, al igual que otros plugins de QGIS, a través del menú Complementos.

La rutina de cálculo implementada en el ambiente QGIS prevé la siguiente secuencia:

### **Entrada de datos**

Los datos de entrada para el dimensionamiento pueden ser ingresados manualmente por el usuario o importados de un proyecto elaborado con el plugin SaniHUB Redbasica. En este caso, el proyecto elaborado mediante el uso del plugin SaniHUB RedBasica, necesariamente, debe estar abierto en el ambiente QGIS.

El siguiente paso es la definición del sitio de instalación de la PTAR. Si se desea instalar el DWATS en el punto final de la red colectora, se debe seleccionar el último tramo de la red colectora. Al seleccionar este tramo, la información sobre los caudales de aguas residuales de la cuenca contemplada con el proyecto será importada al SaniHUB DWATS y, automáticamente, el plugin rellenará los valores para los cálculos.

### **Inserción de parámetros**

En esta sección, el usuario debe ingresar valores de parámetros e información sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales que serán tratadas en el DWATS.

### Características de operación y dimensionamiento del tanque de sedimentación

En esta sección, el usuario debe ingresar la siguiente información para el dimensionamiento del tanque de sedimentación: Tiempo de detención hidráulica (TDH), Intervalo de tiempo para la remoción del lodo (meses), Ancho del tanque de sedimentación [m] y la altura útil del tanque de sedimentación [m].

### Características de operación y dimensionamiento del reactor anaerobio compartimentado (RAC)

En esta sección, el usuario debe ingresar la siguiente información para el dimensionamiento del RAC: Altura útil del RAC [m], Número de compartimentos del RAC [unidad], Ancho de los shafts [m] y Temperatura de operación del reactor [°C].

### **Dimensionamiento del DWATS**

Con base en la información ingresada, el plugin realiza el dimensionamiento del tanque de sedimentación (en caso de que el usuario haya elegido esta opción) y del RAC.

Los datos e información de salida del proyecto DWATS pueden ser visualizados de dos maneras distintas: mediante la presentación general de los datos de salida, que contendrá todos los datos generados, o a través de las pestañas individualizadas de los componentes del sistema.

En la pestaña "Datos generales" del Plugin, es posible acceder a algunas informaciones complementarias del proyecto, como las estimaciones de la producción de biogás y la emisión diaria de dióxido de carbono equivalente de la PTAR, así como el área útil y total ocupada por la estación de tratamiento de aguas residuales. El Plugin también muestra dibujos esquemáticos (secciones y plantas bajas) del DWATS con algunas de las principales dimensiones de las unidades (tanque de sedimentación y RAC).



Figura 7. Plano en planta del reactor anaerobio compartimentado.



Figura 8. Sección longitudinal del reactor anaerobio compartimentado.

En caso de haber optado por dimensionar la unidad de tratamiento primario, en la pestaña "Tanque de sedimentación", se muestran el volumen y las dimensiones de esta unidad. Al hacer clic en la pestaña "Reactor anaerobio RAC", se muestran las dimensiones y volúmenes de estos reactores. El Plugin también muestra una estimación de las eficiencias de remoción de materia orgánica medidas como DBO y DQO.

Para que un proceso de tratamiento alcance elevadas eficiencias de remoción de contaminantes, deben respetarse ciertos valores de los parámetros de diseño. El Plugin realiza la verificación de estos valores para el arreglo tecnológico considerado. Se verifican el tiempo de detención hidráulica (TDH), la velocidad ascensional de flujo y la relación longitud/ancho del tanque de sedimentación.

### Emisión del informe en formato PDF

Una vez finalizada la inserción de todos los datos de entrada, es posible emitir un informe en formato .pdf que contenga un resumen de su proyecto de dimensionamiento de la Planta de tratamiento de aguas residuales.

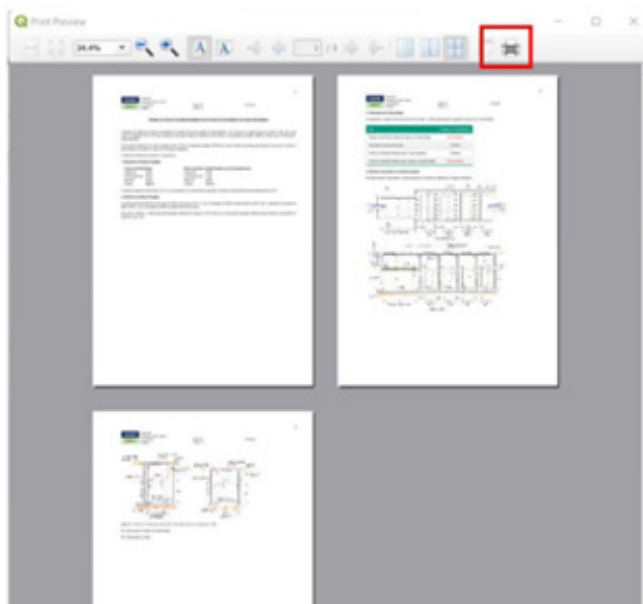


Figura 9. Informe em PDF.

### Estimación de los costos de implementación del DWATS

El Plugin SaniHUB DWATS permite obtener una estimación preliminar de los costos de la Planta de tratamiento de aguas residuales dimensionada. La estimación de costos considera servicios de movimiento de tierras (excavaciones y uso de apuntalamientos), ejecución de cimentaciones y estructuras de concreto y/o mampostería. La colocación de tuberías, instalación de válvulas y accesorios no están considerados.

### Inserción de la poligonal ocupada por el área del DWATS en los planos generados en el ambiente QGIS

El Plugin SaniHUB DWATS permite insertar en un plano que se esté utilizando en el ambiente QGIS, una poligonal que representa la proyección en planta del área ocupada por la Unidad. Después de esta inserción, se habilita el botón "Mover PTAR". Esta función permite mover y posicionar la Unidad sobre el plano y así compatibilizar el área estimada como requerida para el DWATS con las áreas disponibles en la localidad de implantación del sistema de alcantarillado

Para la utilización del plugin se ha elaborado un manual, o guía del usuario, con la descripción de los pasos desde su instalación hasta la exportación de datos e información sobre el proyecto.

## 2.4. SaniHUB EBAR

El SaniHUB EBAR es un software libre que tiene como objetivo la elaboración de proyectos de Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales.

El objetivo del módulo plugin SaniHUB EBAR es permitir la elaboración de un proyecto básico de los principales componentes de estas unidades. Los cálculos de dimensionamiento permiten definir las dimensiones necesarias para garantizar el cumplimiento de las condiciones hidráulicas necesarias para el transporte del efluente, así como las condiciones adecuadas para el funcionamiento de las etapas componentes del tratamiento preliminar y del pozo de succión.

El software fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y de la Unión Europea (UE), con la finalidad de promover el libre acceso a herramientas modernas para el diseño de sistemas de alcantarillado y para el desarrollo de estrategias que aseguren servicios de saneamiento en asentamientos informales, con recursos del Fondo Español de Cooperación para Agua y Saneamiento en América Latina y el Caribe (FECASALC).

La instalación del SaniHUB EBAR se realiza, al igual que otros plugins de QGIS, a través del menú Complementos.

El módulo SaniHUB EBAR contempla el dimensionamiento de 04 unidades, a saber: Tratamiento Preliminar, Pozo de Succión, Colector de Salida y la Línea de Impulsión. Se destaca también que la habilidad adquirida por el equipo técnico durante el desarrollo del SaniHUB DWATS permitió establecer mayor versatilidad para el SaniHUB EBAR, considerando que el usuario final podrá utilizar la etapa de tratamiento preliminar en diversas aplicaciones, sin vínculo inmediato con el dimensionamiento de las otras unidades del sistema de bombeo.

La rutina de cálculo implementada en el ambiente QGIS prevé la definición de las unidades componentes de la EBAR en la siguiente secuencia:

## **Entrada de datos**

En el campo de entrada de datos se ingresan los caudales de dimensionamiento de las EBAR considerando los horizontes de proyecto de inicio, medio y final del plan. Se destaca que estos datos podrán ser proporcionados directamente por el usuario, tras la definición de la ubicación física de la EBAR en el sistema de alcantarillado sanitario.

## **Tratamiento Preliminar**

La unidad de tratamiento preliminar estará constituida por dos partes distintas: las rejillas y los desarenadores. Para las rejillas, que tienen la función de retener sólidos gruesos descartados indebidamente en los sistemas de recolección de aguas residuales, la rutina de cálculo permite definir las dimensiones del canal de entrada y, en consecuencia, de la(s) rejilla(s). Los cálculos también permiten la verificación de importantes parámetros hidráulicos que garantizan el funcionamiento adecuado de estas unidades, como la velocidad del flujo, la altura de la lámina líquida y las pérdidas de carga para las rejillas limpias y parcialmente obstruidas.

La segunda etapa del tratamiento preliminar está compuesta por el desarenador, que tienen la función de garantizar la sedimentación de los granos de arena transportados por las aguas residuales. La rutina de cálculo permite definir las dimensiones físicas del desarenador y también la verificación del cumplimiento de importantes parámetros hidráulicos que aseguran la ocurrencia de la sedimentación discreta y la separación eficiente de la arena del fluido, como las velocidades de flujo, la altura ocupada por la arena acumulada y la tasa de flujo superficial.

Específicamente, en el desarenador, el plugin ofrece al usuario dos opciones de modelo de diseño de estas unidades. El primer modelo es uno desarenador con forma circular, cuya adopción se recomienda para aquellos sistemas de alcantarillado sanitario que atienden a pequeñas y medianas poblaciones, compatibles con los caudales máximos horarios de fin de plan comprendidos entre 5 L/s y 25 L/s. El segundo modelo propuesto es el canal de velocidad constante que incorpora uno canal Parshall, permitiendo la medición de caudales de aguas residuales. La aplicación del segundo modelo se recomienda para el servicio de grandes poblaciones, compatibles con los caudales máximos horarios de fin de plan comprendidos entre 25 L/s y 250 L/s.

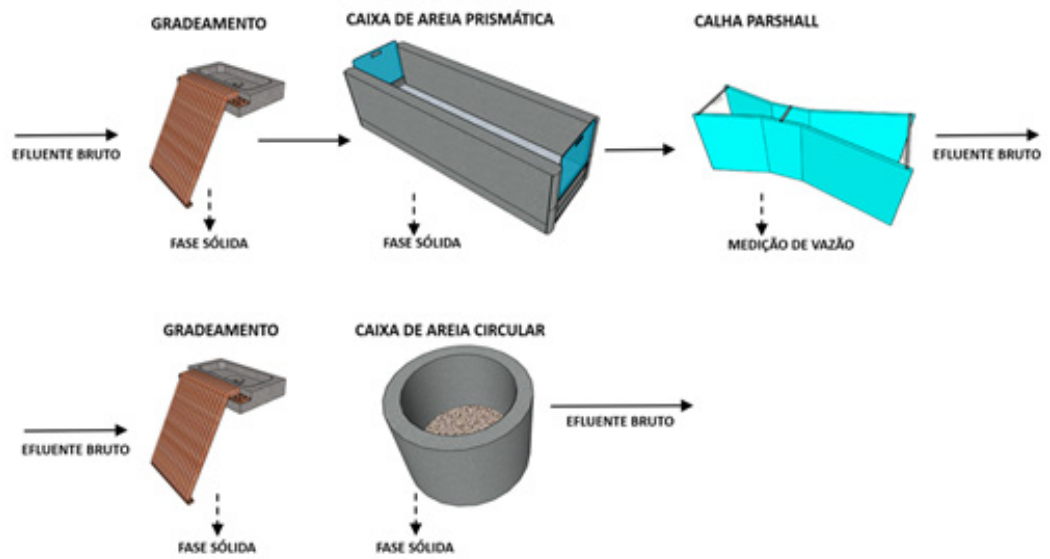


Figura 10. Esquemas de tratamento preliminar.

### Pozo de succión

El pozo de succión es la unidad responsable de la acumulación provisional de las aguas residuales que serán transportadas mediante bombeo por los equipos electromecánicos (bombas) a través de las líneas de impulsión. El modelo a adoptar para el bombeo de los efluentes será el uso de bombas sumergibles, ampliamente utilizadas en EBAR.

La rutina de cálculo permite la definición de las dimensiones físicas del pozo de succión, como el diámetro y los niveles mínimos y máximos del pozo en función de la lógica operacional definida por el proyectista. También se verifica el cumplimiento de los parámetros hidráulicos como el tiempo de detención hidráulica y la definición del ciclo de funcionamiento de la bomba, es decir, el tiempo de llenado del pozo y el funcionamiento de las bombas, para los caudales de inicio, medio y fin de plan.

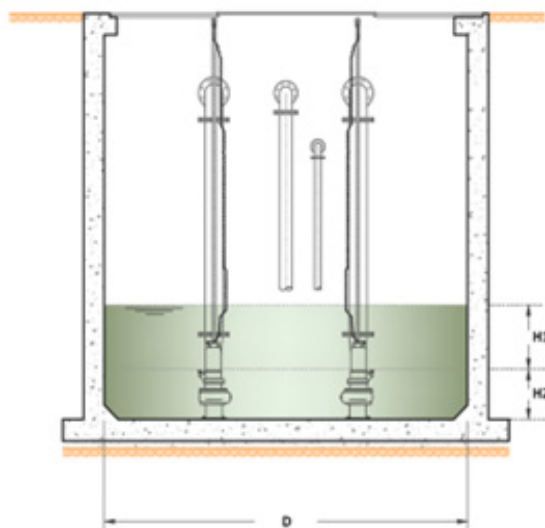


Figura 11. Pozo de succión.

## Colector de salida y línea de impulsión

El colector de salida y la línea de impulsión componen un conjunto de piezas y tuberías responsables del transporte de los efluentes bombeados. La rutina de cálculo permite definir, a partir del diámetro y el material constituyente de la línea de impulsión y la extensión total de la tubería, y la verificación de parámetros de diseño importantes como rugosidad media, número de Reynolds y factor de fricción, la definición de las pérdidas de carga unitarias y totales. Con base en el cálculo de la pérdida de carga total y la información sobre los desniveles geométricos a ser superados, se calculará la altura manométrica de diseño. A partir de esta información, se definen los datos básicos para la selección de los equipos de bombeo, es decir, el caudal nominal de la bomba y la potencia del conjunto motobomba, en función de los criterios de rendimiento preestablecidos por el proyectista.

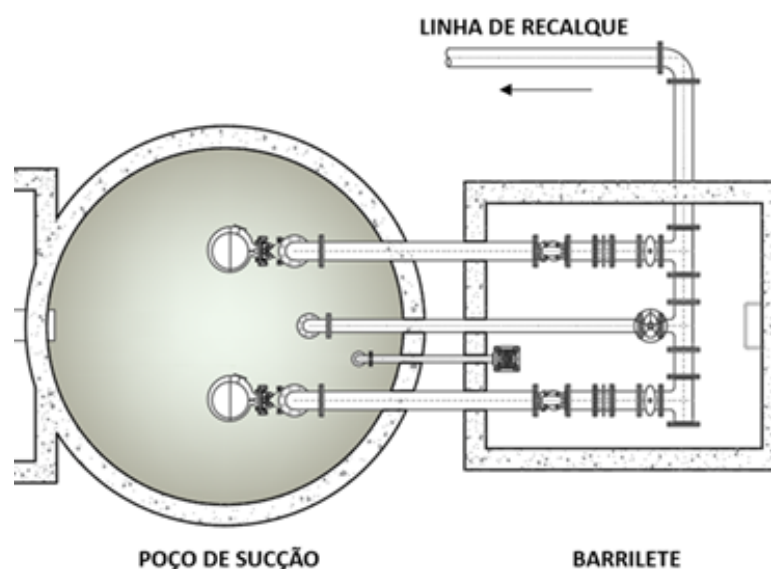


Figura 12. Colector de salida.

Después de la conclusión de la rutina de cálculo, el plugin proporciona un informe en formato PDF que contiene la información del dimensionamiento hidráulico de cada una de las unidades componentes de la EBAR, es decir, un resumen de la memoria descriptiva del proyecto. Adicionalmente, el informe mostrará un dibujo esquemático básico de cada una de las unidades, en planta y sección, con la indicación de las principales dimensiones físicas, que pueden ser utilizadas para la elaboración del proyecto ejecutivo de las EBAR.

La visualización de la Estación Elevadora proyectada deberá generarse a partir del ícono estándar adoptado en su representación gráfica en proyectos, es decir, mediante



un triángulo para la representación del lugar en el que la EBAR será implantada. Esta imagen podrá ser insertada en el entorno gráfico de QGIS en el lugar seleccionado para la implantación de la unidad, permitiendo la definición y evaluación final del usuario.

En esta primera versión del plugin, será posible realizar una estimación de costos para la ejecución de las obras civiles de los diversos componentes proyectados, a partir de criterios preestablecidos y de los datos obtenidos de las dimensiones físicas generadas por el dimensionamiento de la EBAR. Los costos relativos a los equipos de bombeo no están incluidos en esta estimación, pues los costos de estos equipos están vinculados a una gran variedad y disponibilidad de modelos en cada uno de los mercados locales, que cumplen con los parámetros definidos para la selección de dichos equipos, no siendo posible parametrizar estos costos con esa cantidad de variables. Con base en los costos estimados para las obras civiles, será posible establecer parámetros de costo por habitante o por caudal de bombeo.

Para la utilización del plugin se ha elaborado un manual, o guía del usuario, con la descripción de los pasos desde su instalación hasta la exportación de datos e información sobre el proyecto de la estación de bombeo de aguas residuales.

## **2.5.** MÓDULO PRESUPUESTARIO SaniHUB

El módulo presupuestario desarrollado será el primero de una serie de actividades para la creación de herramientas que permita el seguimiento y la supervisión de obras integrada en la plataforma SaniHUB.

Para la elaboración de la rutina de cálculo para la generación del presupuesto básico de los sistemas de recolección de aguas residuales, se ha tenido en cuenta la información proporcionada por el dimensionamiento hidráulico del plug-in SaniHUB RedBásica y, utilizando los parámetros habituales para la construcción de obras de ingeniería civil.

En este sentido, se identificó qué información proporcionada por la hoja de cálculo de dimensionamiento hidráulico debe utilizarse para elaborar los presupuestos, considerando que la información relevante está relacionada con la geometría de las zanjas, los diámetros de las tuberías y los tipos de dispositivos de inspección.

A partir del conjunto de información disponible en la hoja de cálculo de dimensionamiento hidráulico, se utilizó la siguiente información:

- Identificación de los colectores y tramos;
- Profundidad punto aguas arriba e aguas abajo;
- Diámetro de las tuberías;
- Extensión del tramo;
- Dispositivos de inspección y limpieza;
- Tubos de caída.

A partir de esta información básica, se prepararon hojas de cálculo para calcular las cantidades de los principales servicios y materiales utilizados en la mayoría de los presupuestos elaborados para los sistemas de recolección de aguas residuales.

En este sentido, se preparó una hoja de cálculo donde se calculan automáticamente las cantidades reales para la ejecución de las obras, sobre la base de parámetros pre-establecidos por el responsable de la elaboración del presupuesto.

De este modo, los datos iniciales que se utilizarán para calcular las cantidades son la información seleccionada de la hoja de cálculo de diseño hidráulico y la definición de todos los parámetros que se utilizarán. Con estas definiciones, el cálculo de las cantidades se produce automáticamente.

Uno de los principales aspectos considerados fue que la aplicación de la herramienta se puede utilizar incluyendo proyectos desarrollados con software de diseño distinto a SaniHUB.

Para la aplicación práctica/adecuación del módulo presupuestario, se analizarán las siguientes etapas del proceso:

- Definición de las principales cantidades de servicios y materiales a considerar en los presupuestos, que se obtendrán de las hojas de cálculo de dimensionamiento hidráulico de SaniHUB RedBasica y de la información sobre la realidad local;
- Categorización de estas cantidades según los criterios y estructuras utilizados por las empresas para presupuestar;

- Compatibilidad con la base de datos de precios unitarios;
- Definición de los parámetros de costes;
- Formación de los equipos locales para utilizar el módulo presupuestario en casos prácticos.

La siguiente figura muestra el resultado de la hoja de cálculo del presupuesto con las principales rúbricas de servicios y materiales para la red de alcantarillado.

PRESUPUESTO						
SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO						
REFERENCIA DE COSTO: 2022						
COSTOS INDIRECTOS - SERVICIOS: 0,0%						
COSTOS INDIRECTOS - MATERIALES: 0,0%						
IDICHA: 15						
MONEDA: USD						
CÁMBIO DEF. (BRL/USD): 5,68						
FECHA: 17/08/2022						
COD	DESCRIPCIÓN	UN	CTD	COSTO UN USD/UN	COSTO TOTAL USD	
<b>500000000</b>	<b>SERVICIOS</b>				<b>673.392,73</b>	
<b>501000000</b>	<b>OFICINA DE CONSTRUCCIÓN</b>				<b>6.663,86</b>	
501000001	Campanario	mese	0,00	581,40	3.957,42	
501000002	Letrero de obra (Inclusivo Obra)	m 2	10,00	67,64	676,44	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
<b>502000000</b>	<b>SERVICIOS TÉCNICOS</b>				<b>19.621,74</b>	
502000001	Reportes y control topográfico para redes de alcantarillado	m	7.228,26	1,32	9.552,87	
502000002	Reportes y control topográfico para otros condicionados	m		1,32	0,00	
502000003	Calceos de la red de alcantarillado	m	7.228,26	1,32	9.552,87	
502000004	Calceos de los otros condicionados	m		1,32	0,00	
502000005	Calceos de conexiones	un		0,96	0,00	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
<b>503000000</b>	<b>SEÑALIZACIÓN, SEGURIDAD Y MOVILIDAD</b>				<b>37.450,72</b>	
503000001	Orde pública señalizador para límite de seguridad de obra	m	14.496,51	0,00	487,61	
503000002	Cinta de male rojo para límite de seguridad de obra	m	2.899,30	1,89	4.879,28	
503000003	Plancha	m	1.449,65	15,09	21.851,59	
503000004	Letrero de señalización y advertencia 1,00 x 1,00 m	m 2	17,81	15,98	950,01	
503000005	Placote metálico para vehículos	m 2	520,41	11,18	5.808,38	
503000006	Placote de madera para vehículos	m 2	289,11	12,32	3.561,51	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
<b>504000000</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>162.434,98</b>	
<b>504010000</b>	<b>EXCAVACIÓN</b>					
<b>504010100</b>	<b>EXCAVACIÓN MANUAL EN ZARZAS</b>					
504010101	Excavación a mano de obra	m 3	0,00	5,76	0,00	
<b>504010200</b>	<b>EXCAVACIÓN MECÁNICA DEL SUELO EN ZARZA</b>					
504010201	Excavación con equipo de suelo en zarza - profundidad de hasta 2 m	m 3	5.812,47	2,71	15.766,88	
504010202	Excavación con equipo del suelo en zarza - profundidad > 2 m a 4 m	m 3	1.569,81	2,71	4.251,61	
504010203	Excavación con equipo del suelo en zarza - profundidad > 4 m	m 3	366,24	2,71	1.013,01	
<b>504010300</b>	<b>EXCAVACIÓN EN LODO</b>					
504010301	Excavación en fodo con excavadora hidráulica, incluyendo la carga y descarga	m 3	0,00	2,76	0,00	
<b>504010400</b>	<b>EXTRACCIÓN DE ROCA EN ZARZA</b>					
504010401	Excavación con equipo mecánico de la zarza en roca - profundidad de hasta 2 m	m 3	0,00	4,20	0,00	
504010402	Excavación con equipo mecánico de la zarza en roca - profundidad > 2 m a 4 m	m 3	286,21	4,20	823,58	
504010403	Excavación con equipo mecánico de la zarza en roca - profundidad > 4 m	m 3	381,34	4,20	1.601,51	
504010404	Excavación de zarzas en roca dura - profundidad de hasta 2 m	m 3	0,00	21,00	0,00	
504010405	Excavación de zarzas en roca dura - profundidad > 2 m a 4 m	m 3	246,21	21,00	5.172,81	
504010406	Excavación de zarzas en roca dura - profundidad > 4 m	m 3	361,20	21,00	7.594,20	
<b>504020000</b>	<b>RELLENO</b>					
<b>504020100</b>	<b>RELLENO Y COMPACTACIÓN DE ZARZAS</b>					
504020101	Relevo de zarza con compactación (suministro de suelo no incluido)	m 3	6.720,34	3,20	21.505,08	
504020102	Suministro de suelo para el relleno de las zarzas	m 3	1.177,41	10,30	12.030,58	
<b>504020200</b>	<b>ASIENTOS DE ÁBERA Y RELLENO</b>					
504020201	Excusión de asientos o relleno en zarzas con suministro de arena	m 3	1.771,81	1,90	3.387,80	
504020202	Excusión de asientos o relleno en zarzas con suministro de grava	m 3	406,00	18,81	11.817,61	
<b>504020300</b>	<b>SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE MATERIAL</b>					
504020301	Suministro de arena	m 3		17,74	0,00	
504020302	Suministro de grava	m 3		11,84	0,00	
<b>504020400</b>	<b>CARGA, TRANSPORTE Y DESCARGA</b>					
504020401	Carga y descarga - roca	m 3	821,68	0,50	410,84	
504020402	Carga y descarga - suelo	m 3	3.140,07	0,26	816,06	
504020403	Carga y descarga - Escarabajo	m 3	3.181,36	0,21	668,41	
504020404	Transporte de roca en un camión volquete	m 3/mes	11.389,11	0,74	8.423,84	
504020405	Transporte del suelo en un camión volquete	m 3/mes	47.211,00	0,74	34.950,00	
504020406	Transporte de escarabos en un camión volquete	m 3/mes	46.553,57	0,74	34.329,21	
504020407	Transporte de todo en un camión volquete (incluye la carga y la descarga)	m 3/mes	0,00	0,74	0,00	
504020408	Regeneración de fondo de zarza	m 2	5.671,01	0,28	21.179,61	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
<b>505000000</b>	<b>PROTECCIÓN O SOPORTE DE TUBERÍAS</b>				<b>5.270,80</b>	
505000001	Excusión de la protección a la tubería con suministro de ferrugón anclaje	m 3	61,61	80,30	5.020,80	
505000002	Suministro y aplicación del ferrugón 10 20 tipo	m 3		168,30	0,00	
505000003	Suministro y aplicación de arena (a 30 cm del diámetro y aplicación)	kg		2,48	0,00	
505000004	Excusión para estructuras	m 2		7,70	0,00	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
<b>506000000</b>	<b>ERTIBADO</b>				<b>62.712,67</b>	
<b>506010000</b>	<b>ERTIBADO DE MADERA</b>					
506010001	Ertibado abierto en madera	m 2	7.091,81	9,08	64.286,51	
506010002	Ertibado cerrado en madera	m 2	0,00	18,12	0,00	
<b>506020000</b>	<b>ERTIBADO MIXTO</b>					
506020001	Ertibado mixto (metálico y madera)	m 2	0,00	23,87	0,00	
<b>506030000</b>	<b>ERTIBADO METÁLICO</b>					
506030001	Ertibado con chapa metálica	m 2	5.411,51	5,28	28.481,81	
506030002	Ertibado con perfil metálico	m 2	0,00	22,88	0,00	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	
<b>507000000</b>	<b>VACIADO, DESCANSO Y DRENAN</b>				<b>3.429,18</b>	
507000001	Vaciado con máquinas auxiliares de superficie	h	611,88	0,30	204,79	
507000002	Descenso del nivel freático con picos de filtración	m 2/d	498,21	4,62	3.024,31	
	<i>(Fuente de grupo, en abierto, para utilización libre a criterio de usuario)</i>				0,00	

Figura 13. Hoja de cálculo del presupuesto.

## 2.6. HERRAMIENTAS DIGITALES COMPLEMENTARIAS

En la era de la información, el uso de herramientas digitales ha revolucionado la manera en que se abordan los estudios ambientales y demográficos. Este capítulo explora el uso de algoritmos específicos y plug-ins complementarios, para la definición de cuencas hidrográficas (o áreas de contribución) y estudios poblacionales.

El software Qgis se destaca por su capacidad de integrar diversas tecnologías y metodologías avanzadas, facilitando la obtención de datos precisos y relevantes para el desarrollo de proyectos. A través de su variado conjunto de plug-ins, los usuarios pueden aplicar algoritmos especializados que permiten una identificación precisa de las cuencas hidrográficas y para los estudios poblacionales.

En este capítulo, se detallarán las principales funcionalidades de estos plug-ins, los algoritmos subyacentes que potencian su eficacia y se presentarán casos de estudio que ilustran su aplicación práctica.

### 2.6.1 CUENCAS DE CONTRIBUCIÓN

La delimitación de las cuencas hidrográficas del área de interés es un paso fundamental en este estudio, ya que permite la modelización asertiva de la distribución de la población y la determinación de las aguas residuales.

Especialmente en regiones con topografía muy plana y a la proximidad del mar, la elección de un buen Modelo Digital de Elevación (MDE) tiene un gran impacto en los pasos posteriores, como el diseño de las redes de recolección de alcantarillado, Estaciones de Bombeo y líneas de impulsión.

Por lo tanto, es de suma importancia evaluar los diferentes MDE disponibles y compararlos para utilizar el que mejor represente la zona de estudio en su totalidad. Para los proyectos se obtuvieron 4 MDEs disponibles con licencia de código abierto, siendo ellos: SRTM, ALOS-PALSAR, NASADEM y COPERNICUSDEM y con ellos se delimitaron las cuencas hidrográficas, según ejemplo del Municipio de Boca Chica que se muestra en la siguiente imagen.

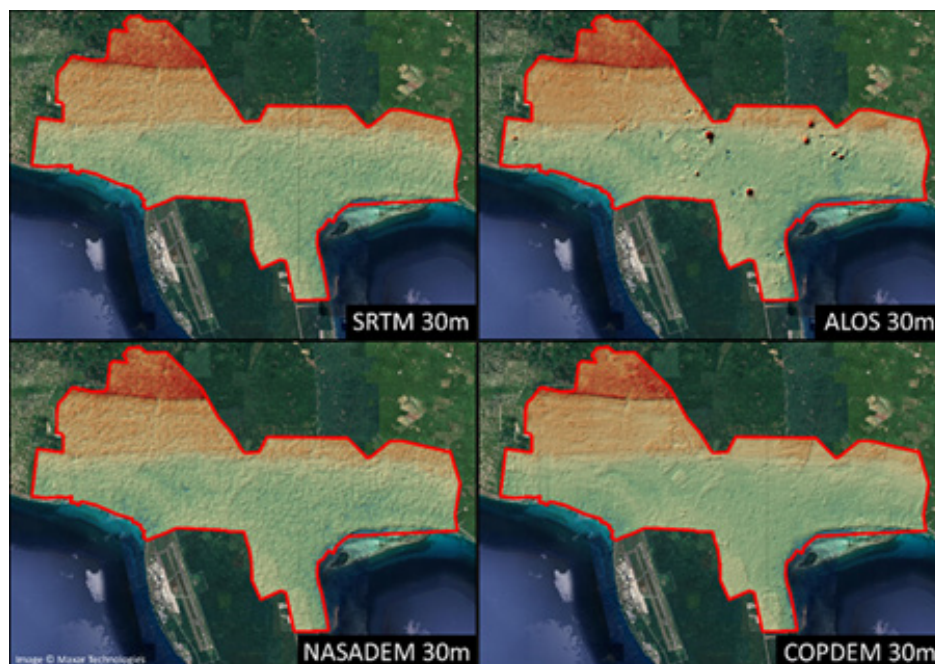


Figura 14. Visión general de los MDEs comparados para el estudio.

Se puede observar en la imagen anterior que los modelos SRTM y NASADEM son bastante similares, caracterizando una imagen con más ruido. Los modelos Alos y Copernicus son más suaves, sin embargo, en Alos es posible notar algunos picos resultantes de un probable error de interpolación. Para seleccionar el mejor modelo se realizó un análisis en algunos puntos específicos de la zona de interés,

Cuando se trata de proyectos de sistemas de alcantarillado, siempre es preferible utilizar Modelos Digitales que representen las cuotas del terreno, eliminando las posibles interferencias de las construcciones y la vegetación. Para ello, se adoptó un MDT (modelo digital del terreno) denominado FABDEM<sup>1</sup>, que se generó mediante algoritmos de inteligencia artificial sobre los datos del COPDEM.

El proceso de delimitación de cuencas hidrográficas sigue ciertas etapas, como:

Importación de los datos: Carga de los datos del FABDEM en el software SIG elegido.

Análisis hidrológico: Uso de herramientas específicas dentro del software para realizar análisis como la determinación del flujo de agua, identificación de áreas de acumulación y definición de líneas de drenaje.

1 <https://www.fathom.global/product/fabdem/>

Creación del mapa de cuencas hidrográficas: A partir de los análisis, se genera el mapa que muestra las cuencas hidrográficas delimitadas, donde cada cuenca está separada basada en las direcciones de flujo y acumulaciones de agua a una escala definida.

Durante este proceso se utilizan diversos algoritmos para la realización de las siguientes etapas:

### **Procesamiento de los datos**

Corrección de Errores en el Modelo de Elevación: Se utiliza la herramienta Fill Sinks (Wang & Liu, 2006) para identificar y rellenar depresiones en el terreno. Las depresiones son áreas donde el modelo de elevación muestra una cavidad que puede impedir el flujo correcto del agua. Estas áreas deben ser corregidas para que el flujo de agua pueda simularse de manera continua y realista. Este es un paso crucial para asegurar que el modelo de elevación no tenga depresiones internas que puedan afectar el flujo de agua.

### **Cálculo del Flujo de Agua**

Dirección del Flujo: Uso del algoritmo de dirección de flujo (como "D8 Flow Direction") para determinar la dirección del flujo de agua en cada celda del raster. Esto indica hacia dónde se dirige el agua en cada punto del relieve.

Acumulación de Flujo: Después de definir las direcciones de flujo, se ejecuta el algoritmo de acumulación de flujo (como "D8 Flow Accumulation") para determinar el volumen de agua que pasa a través de cada celda. Este paso ayuda en la identificación de los principales ríos y cursos de agua dentro de la cuenca.

### **Definición de los Límites de las Cuencas Hidrográficas**

Identificación de los Puntos de Salida: Se definen manualmente los puntos donde los ríos dejan la cuenca, que servirán como puntos de referencia para la delimitación de las cuencas hidrográficas.

Extracción de las Cuencas Hidrográficas: Con la información de acumulación de flujo y definición de los puntos de salida, se utiliza el algoritmo "Watershed basins" para la delimitación de las cuencas. Esta herramienta utiliza los datos de elevación, de acumulación y dirección de flujo para determinar los límites de las cuencas hidrográficas.

### Refinamiento y verificación de los resultados

Chequeo de los límites de las cuencas: Se analizan visualmente los límites de las cuencas generados para verificar su precisión y realismo. Ajustes pueden ser necesarios si hay áreas que no parezcan correctas.

**Exportación de los Datos:** Una vez realizada el análisis, los límites de las cuencas pueden ser guardados y exportados como bases para uso posterior, en formatos como Shapefile o GeoJSON.

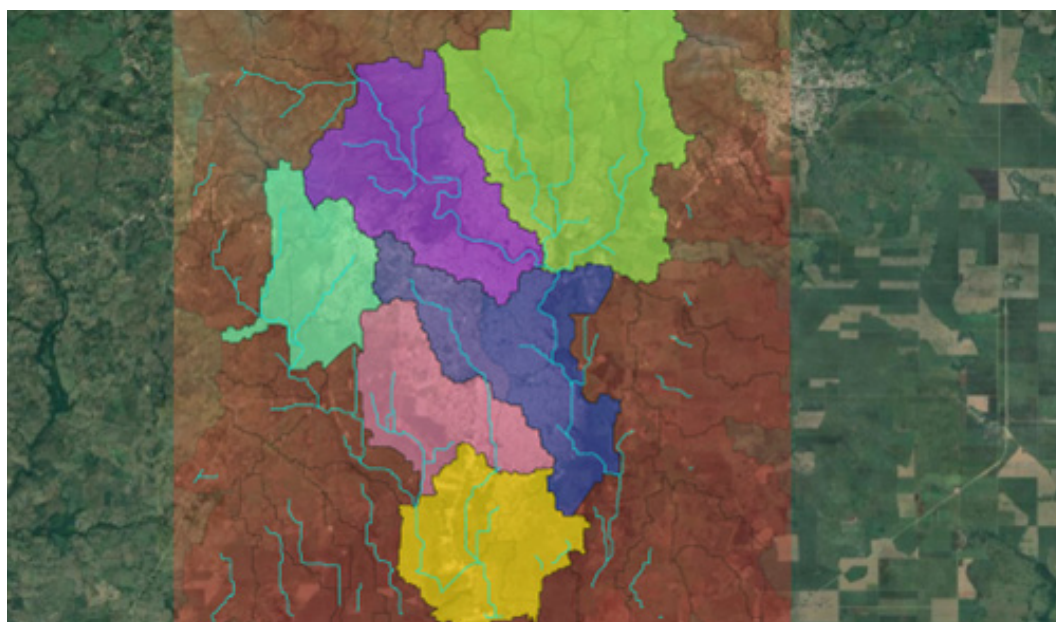


Figura 15. Análisis Hidrológico en el Modelo Digital.

## 2.6.2 ESTUDIOS POBLACIONALES

La distribución de la población es otro dato esencial para el éxito del proyecto. Para ello, cuanto más pequeña sea la cuadrícula de distribución de la población, más preciso será el modelo, ya que esto permite un ajuste más preciso durante la intersección entre la cuadrícula de la población y el límite de la cuenca.

La Oficina Nacional de Estadística de la República Dominicana (ONE) es la que tiene los datos oficiales y realiza los censos de la República Dominicana (los últimos censos datan de 2002, 2010 y 2022) y proporciona estos datos de estudios poblacionales y demográficos de todo el país.

Recientemente se han puesto a disposición del público los datos de la iniciativa *Data*

*for Good*<sup>2</sup>, liderada por la empresa META (antigua Facebook), que tiene por objetivo distribuir a la población mundial en cuadrículas de aproximadamente 30x30 metros. Estos datos se generan a partir de diversas fuentes de datos demográficos (censos, conteo de población, etc.) disponibles en cada país y el cruce de esta información con imágenes aéreas de alta definición, distribuyendo la población de cada lugar con mayor precisión con la ayuda de la Inteligencia Artificial.

Usando técnicas avanzadas de machine learning y procesamiento de imágenes, Meta genera mapas de densidad poblacional que muestran la distribución de personas en diferentes áreas. Esto es particularmente útil en áreas donde los datos censales son limitados o están desactualizados. Las estimaciones se calibran con datos reales de censos y otras encuestas demográficas para garantizar que las previsiones sean precisas y confiables. La herramienta se actualiza continuamente con nuevos datos de usuarios y fuentes externas, lo que permite que las estimaciones poblacionales reflejen cambios en tiempo real. Meta garantiza que el uso de los datos cumpla con las normativas de privacidad y protección de datos, como el GDPR en Europa y otras legislaciones locales.

La herramienta “Data for Good” de Meta representa un enfoque innovador para determinar la población de un área utilizando datos de redes sociales, combinados con fuentes externas y técnicas avanzadas de análisis. Esta metodología permite la creación de estimaciones poblacionales precisas y actualizadas, que pueden ser utilizadas para una amplia gama de aplicaciones sociales y humanitarias, desde la planificación urbana hasta la respuesta a desastres, siempre garantizando la privacidad y la seguridad de los datos de los usuarios.

Los datos de Data for Good están disponibles para toda la República Dominicana, conteniendo las poblaciones de 2015 y 2020 basadas en el Censo nacional. Para la validación preliminar de los datos se compararon las proyecciones basadas en los datos de la ONE del municipio de Boca con las cuadrículas de 30 metros de *Data for Good* (representadas por un punto situado en el centro de la cuadrícula), ambas utilizando una ecuación de crecimiento lineal hasta 2040.

Así, tras la evaluación se concluyó que los datos de Data for Good son suficientemente fiables y se decidió utilizarlos para la distribución de la población en las cuencas hidrográficas definidas en el presente estudio.

---

2

<https://dataforgood.facebook.com/dfg/tools/high-resolution-population-density-maps>



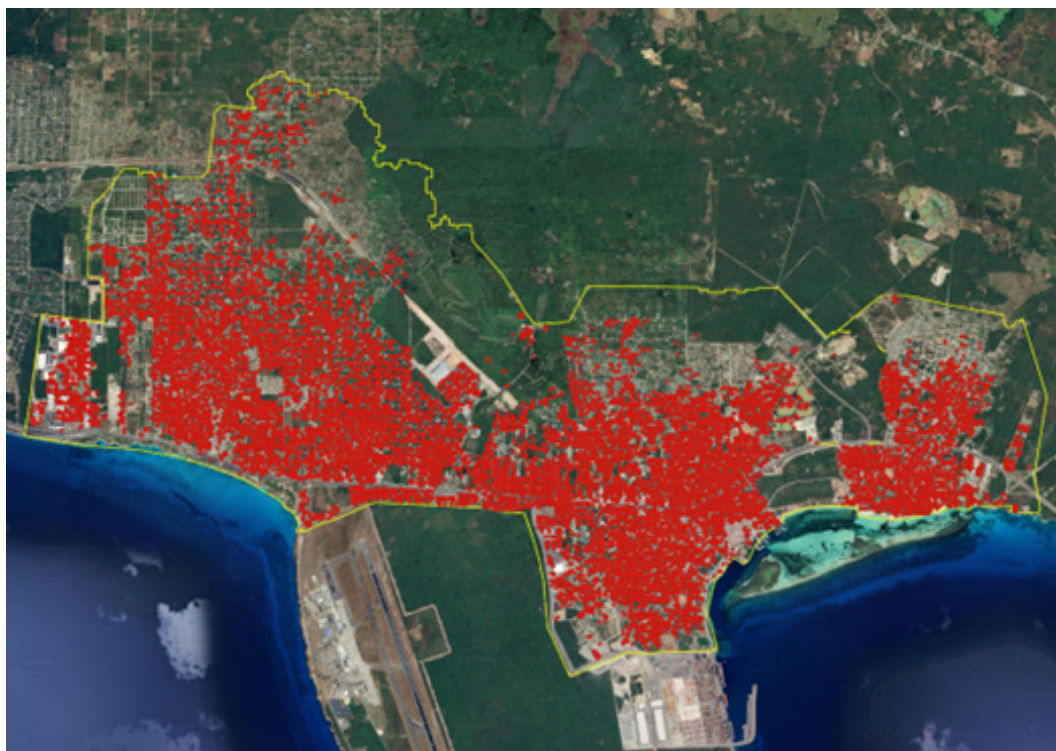


Figura 16. Información sobre la distribución de la población de Data for good.

## 2.7. PLUG-INS EN DESARROLLO EN LA PLATAFORMA SaniHUB

Actualmente se están desarrollando nuevos plug-ins (o complementos) para la plataforma SaniHUB, siempre en el ambiente QGIS, que tienen como objetivo ampliar los recursos tecnológicos y contribuir a una integración entre la información y los productos producidos por los complementos ya disponibles.

### 2.7.1 SaniHUB SUPERVISIÓN

Debido a las bondades que presenta SaniHUB, como herramienta que permite desarrollar un proyecto de redes de saneamiento desde su concepción y diseño hasta obtener un presupuesto optimizado del proyecto, el equipo desarrollador considera que puede ser también una herramienta de soporte para la supervisión de la construcción de sistemas de saneamiento, por lo cual, se ha recopilado toda las actividades que implica el rol de la supervisión en una obra, los documentos necesarios y que se generan para realizar el seguimiento y control de calidad de una obra, para que ésta, se pueda desarrollar para cumplir los objetivos propuestos, dentro de los tiempos y costos estimados. Buscando un software que pueda gestionar esta documentación,

que pueda enlazarse y brindarse un soporte mutuo con SaniHUB, para convertirse en una herramienta de gestión y comunicación de la supervisión y de quienes estén involucrados en el desarrollo de un proyecto.

## 2.7.1.1 FILOSOFÍA PARA EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE GESTIÓN DE OBRAS

### Diseño

El software debe concebirse, en su versión Web, como una herramienta de asimilación, salvaguarda y difusión de información, aplicada según las necesidades del proyecto, el número de equipos en sus diferentes niveles técnicos administrativos y gerenciales requieran. Desde este punto de vista es imprescindible que el administrador del sistema encuentre el punto de equilibrio en la configuración más adecuada para la fragmentación de la obra, para el ingreso y búsqueda de la información en función del proyecto que se requiera gestionar.

La configuración debe ser sencilla para el manejo por parte del usuario final, quizá poco familiarizado con ideas tales como la fragmentación de obra u otras, debe proveer un mayor despliegue de campos configurables, lo cual proporciona búsquedas más ajustadas, -con menor número de documentos localizados-. En efecto, en ocasiones -casi siempre- es preferible que tras realizar una consulta nos aparezca un número limitado de documentos, entre los cuales habrá que elegir el que realmente se está buscando, que no tener que realizar un número de elecciones elevado para finalmente llegar a un único documento. Lo ideal será disponer de un nutrido grupo de campos por los cuales buscar la información, consiguiendo detectar la información requerida con dos o tres selecciones.

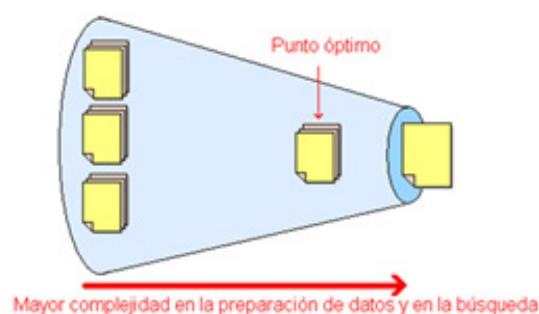


Figura 17. Configuración más adecuada Fuente. GIO TYPASA.

## Recolección y almacenamiento de datos

Dada la magnitud de la información, que puede ser recolectada en una obra y la multiplicidad de sus formas se hace preciso crear una serie de “estándares de intercambio de información”. Por un lado, se describen determinados tipos de documentos, tales como fotos, planos, cartas, etc., intentando no ampliar en exceso la cantidad de tipos distintos pues esto, puede llegar a crear confusión en el usuario, -tanto en el que sólo pretende encontrar información, como en el que tiene que alimentar el sistema-. Por ello se tiende a asimilar al mismo “tipo de documento” aquellas informaciones de características semejantes, siempre que es posible, -por ejemplo: estudios y memorias o los informes en sus diversas formas-.

Por otra parte, esa información puede hacer referencia al conjunto de la obra o a una parte de ella. Se hace preciso, por tanto, diseñar un sistema de localización dentro de la obra mediante el cual se pueda ubicar los distintos documentos. Este apartado, de gran trascendencia, condiciona posteriormente la actividad a desempeñar por los equipos a pie de obra, la distribución de la información y desde luego la capacidad de los usuarios para disponer de la misma.

Así pues, y a modo de resumen, podemos decir que la filosofía del programa en cuanto a la recolección y almacenamiento de información tiene dos principios, que son:

Primero: Toda información es recogida y almacenada mediante “documentos”;

Segundo: Todo documento “se localiza” dentro de la obra.

Esto es, todo documento debe tener al menos una localización, sobreentendiéndose que, de no ser así, tiene un carácter genérico, y su contenido afecta al conjunto de la obra.

## Características generales

El sistema, de acuerdo a los requisitos generales de calidad de la empresa, permite asegurar que:

- Cada documento dispone de un código único de identificación
- Se conoce el estado y calificación del documento
- Se registra el origen o destino y medio de envío de los documentos

- Las versiones actualizadas y aprobadas de los documentos están disponibles en todos los puntos en donde sean necesarios
- Se dispone de índices de los archivos y se encuentran permanentemente actualizados

El software debe ser desarrollado de forma tal que no requiera de ningún elemento de software o hardware específico, pero por el gran volumen de información que puede llegar a manejar se recomienda realizar la instalación sobre un ordenador suficientemente potente que realizará la función de servidor. Los distintos usuarios pueden acceder a través de la red y/o internet al mismo tiempo al programa.

La aplicación debe disponer de distintos sistemas de seguridad:

- Al ejecutarlo por primera vez, éste solicita una contraseña que será configurada por el Departamento de Desarrollo del Software.
- Cada vez que se ejecute el programa, éste solicita un nombre y una contraseña de usuario, que tendrán asociados unos permisos para poder acceder a un módulo u otro del programa, permitiendo así, entre otras cosas, mantener la confidencialidad de datos.
- Debido a estos sistemas de seguridad, sólo podrá ser utilizado por las partes implicadas que hayan sido autorizadas por la Propiedad y por la Asistencia Técnica.

Al ser una aplicación de elaboración propia, tiene la ventaja de su versatilidad y flexibilidad, siendo por tanto adaptable a los más variados requerimientos que puedan resultar de interés a la Dirección de obra.

Cabe destacar el papel decisivo que para el buen desarrollo de los trabajos supone la existencia de una buena gestión de la documentación de obra, en la que se predefinan los diferentes ciclos de documentación. Por lo tanto el buen funcionamiento del programa, está condicionado en ofrecer, desde el mismo inicio de los trabajos, un completo Sistema Informatizado de Gestión de la Documentación, que se haya implantado con éxito en importantes Direcciones de obra y Asistencias Técnicas a lo largo de los últimos años.

## 2.7.1.2 AVANCES DESARROLLO DEL MÓDULO DE SUPERVISIÓN EN SaniHUB

En una primera fase para relacionar documentos en los diferentes elementos de un proyecto, se han recopilado todos los elementos de diseño y documentación generados por SaniHub. A continuación, se detallan los componentes del sistema de saneamiento identificados en SaniHub:

**Instalaciones domiciliarias:** Incluye la unidad domiciliaria beneficiada con nuevas instalaciones o mejoras, control de etapas de implementación (diseño, obra, catastro, ejecución financiera), indicadores básicos y anexos como diseños, fotos, y documentos.

**Ramal:** Se refiere a tramos y cámaras con numeración, control de etapas de implementación (diseño ejecutivo, obra, catastro, comisionamiento, ejecución financiera), indicadores básicos y anexos.

**Red básica:** Similar a los ramales, con numeración de tramos y cámaras, control de etapas y anexos.

**Colectores maestros:** Incluye tramos y cámaras con numeración, etapas de implementación similares a los anteriores y anexos.

**Emisarios:** Tramos con extensión, control de etapas de implementación y anexos.

**Bombeos:** Plantas con numeración, control de etapas detallado desde el diseño básico hasta la ejecución financiera, indicadores y anexos.

**Planta de tratamiento:** Similar a los bombeos, con control de etapas desde el diseño hasta la ejecución financiera y anexos.

Otros elementos identificados en SaniHub incluyen polígonos auxiliares del sistema de saneamiento, como manzana/condominio, subcuenca/microsistema, área de intervención (proyecto) y polígono de libre dibujo, con consultas de elementos circunscritos y anexos correspondientes.

## Flujo de documentación básico

Se ha realizado un esquema preliminar del flujo de documentación básico de los documentos que deben ser gestionados en la Supervisión de una obra, con los responsables de administrar, aprobar y cargar la documentación al sistema de gestión del proyecto.

Se ha efectuado también una primera asignación de atributos de documentos, con su estado de situación, fecha y responsables, para poder correlacionarlos con el sistema que maneja SaniHub, para el archivo de documentos.

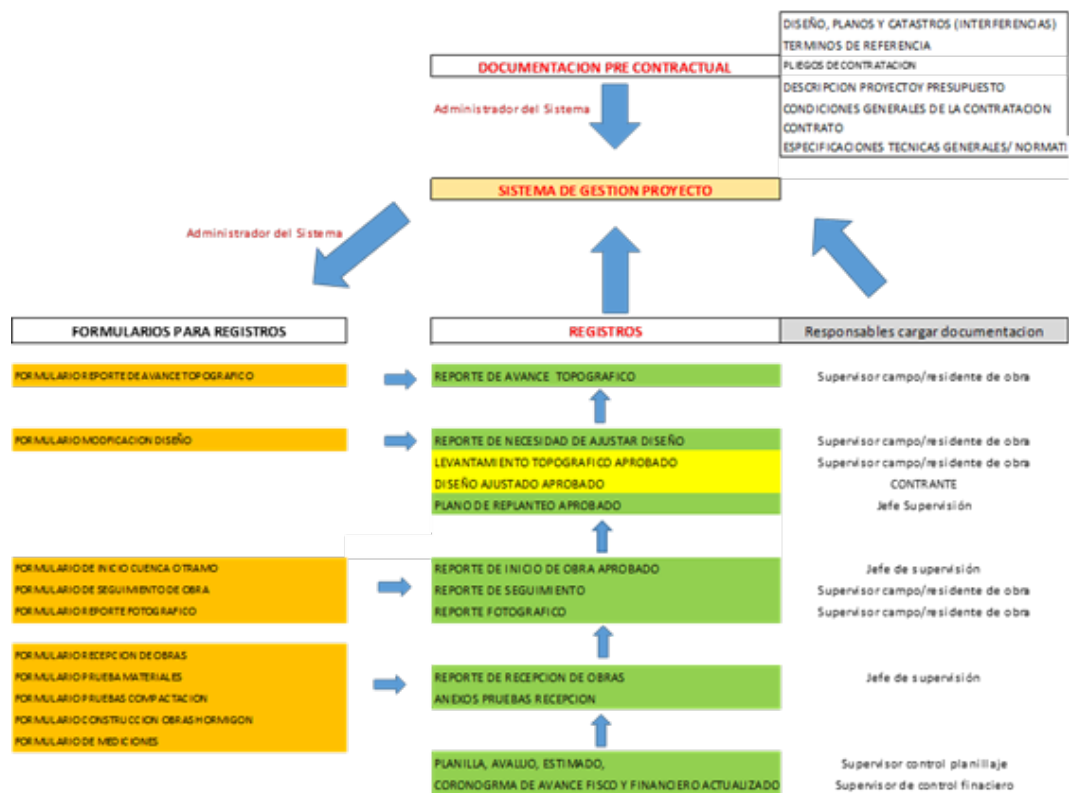


Figura 18. Flujo de documentación básica.

Se ha recopilado algunos formatos básicos de documentos para el control de obras y se ha realizado un primer análisis de como se puede vincular esta documentación en la codificación y fragmentación de la obra en base a los elementos de diseño de SaniHub.

saniBID – Modulo de Gestión de Implantación de Proyectos de Saneamiento

- CAPAS** (RB)
- DISEÑO
  - IMPLANTACIÓN
  - CATASTRO

**ATRIBUTOS** (além dos demais atributos)

**INFRAESTRUCTURA**

**RED BÁSICA**

ETAPAS	ATRIBUTOS DE CONTROL		
	SITUACIÓN	FECHA	RESPONSABLE
• Diseño Basico	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
• Detalle Ejecutivo (Replanteo o implantación) por cuencas o proyecto completo			
Topografía	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Interferencias/Catastro redes (agua, alcantarillado, telecomunicaciones)			
OS (Reporte replanteo)/Diseño final			
Aprobado	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Plano de replanteo aprobado			
• Obra			
Autorización de inicio /plano de replanteo	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Ejecutado	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
línea tubería/pozo			
pendencia (no=0, si y tipo = 1,2,3...)	0, 1, 2, 3, ...	dd/mm/aaaa	... cod/nome
pozo revision			
Prueba de conformidad	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
línea/pozo			
pendencia (no=0, si y tipo = 1,2,3...)	0, 1, 2, 3, ...	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Reporte de ejecución (Bitacora/libro de obra) y aprobación de cantidades de obra			
• Catastro / As built			
Ejecutado (Reporte de ejecución aprobado)	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
pendencia (no=0, si y tipo = 1,2,3...)	0, 1, 2, 3, ...	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Aprobado	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
• Comisionamiento (planilla de obra/factura)			
Ejecutado (Reporte de ejecución aprobado)	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
pendencia (no=0, si y tipo = 1,2,3...)	0, 1, 2, 3, ...	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Aprobado	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
• Ejecución financiera			
Presupuesto referencial/índice de reajustes			
Planilla de obra			
Facturado	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Pagado	0/1	dd/mm/aaaa	... cod/nome
Reporte de ejecución financiera/avances/penalizaciones/multas			

**RED BÁSICA**

INDICADORES Y CANTIDADES BASICAS	unidad	origen
Tubería instalada por diametro	m	Informado
Extensión	m	Calculado
Ancho de zanja	m	Informado
Profundidad média	m	Calculado
Volumenes de excavación	m3	Calculado
Entibado	m	Informado
Presencia de Roca	m	Informado
Presencia de Agua	m	Informado
Pavimentación		
tipo (asfalto/concreto/...)		Informado
cantidad por tipo	m o m2	Calculado

Figura 19. Ejemplo de formulario de gestión de la Red Básica.

## 2.7.2 MÓDULO SaniHUB EBAR 2.0

La versión 2.0 del módulo EBAR de SaniHUB tiene como objetivos principales agregar nuevas funcionalidades al complemento, principalmente aquellas relativas a información detallada para la selección de equipos de bombeo y las características de las líneas de impulsión. Este módulo está siendo desarrollado por el equipo técnico de la Universidad Federal de Bahía (UFBA), que fue responsable del desarrollo del primer módulo.

Las nuevas funcionalidades del complemento incluirán los siguientes productos:

### **Perfil de la línea de impulsión**

Generación en el ambiente QGIS del plano general del trazado de la línea de impulsión y su perfil, con identificación de elementos complementarios (ventosas y descargas).

### **Conexión con plataformas de dimensionamiento de los fabricantes de bombas.**

Provisión de datos y gráficos con curvas del sistema para proporcionar una integración con los catálogos técnicos de los fabricantes de bombas.

### **Cálculo del diámetro económico.**

El objetivo de definir el diámetro económico de una línea de impulsión es optimizar los costos operativos y de instalación del sistema de bombeo. La definición del diámetro económico toma en cuenta una serie de factores, tales como:

**Reducción de Costos Operativos:** Un diámetro adecuado minimiza las pérdidas de carga a lo largo de la tubería, reduciendo la potencia necesaria de las bombas y, por consiguiente, el consumo de energía eléctrica.

**Costo de Instalación:** El diámetro económico busca un equilibrio entre el costo de instalación de la tubería y los costos operativos. Tuberías de mayor diámetro tienen un costo inicial más alto, pero pueden reducir los costos operativos a largo plazo debido a la menor resistencia al flujo.

**Durabilidad y Mantenimiento:** Dimensionar correctamente la línea de impulsión puede reducir la frecuencia de mantenimiento y aumentar la vida útil de los equipos, ya que operan en condiciones ideales.



Eficiencia Hidráulica: Un diámetro económico garantiza que el sistema opere de manera eficiente, evitando tanto el subdimensionamiento como el sobredimensionamiento de la línea, lo que puede causar problemas operativos y de rendimiento.

### **Costos Operativos**

Provisión de los costos de operación de las estaciones de bombeo en función de las condiciones de funcionamiento de los equipos de bombeo.

### **Diagnóstico/Estudio de integración con Allievi (posible colaboración con la Universidad de Valencia).**

Elaboración de una nota técnica resultante de la interacción técnica entre los grupos de Valencia y UFBA con el objetivo de estipular los requisitos necesarios que favorezcan la integración de los resultados de SaniHUB 2.0 como datos de entrada para Allievi.

Allievi es un software especializado en la simulación y análisis de transitorios hidráulicos, también conocidos como golpes de ariete, en sistemas de tuberías. Este programa permite a los ingenieros diseñar y evaluar sistemas de tuberías bajo condiciones de operación dinámica, ayudando a identificar y mitigar los efectos negativos de los transitorios hidráulicos, asegurando la integridad y eficiencia del sistema de conducción de fluidos.

## **2.7.3** MÓDULO SaniHUB RAMALES 2.0

La versión 2.0 del módulo Ramales de SaniHUB tiene como objetivos principales agregar nuevas funcionalidades al complemento, principalmente aquellas relativas a la mejora en la usabilidad, elaboración de cuantitativos y estimación de costos, cálculo de los caudales de las manzanas y la creación integral de la versión en español del complemento. Este módulo está siendo desarrollado por el mismo equipo técnico que fue responsable del desarrollo del primer módulo.

Las nuevas funcionalidades del complemento incluirán los siguientes productos:

### **Mejora en la usabilidad**

Se introducirán nuevas funcionalidades como la posibilidad de diseñar tuberías aére-

as, inserción de información en el plano y en la hoja de cálculo sobre tubos de caída, inserción de nuevas cajas y tramos en ramales que ya han sido diseñados y finalizados durante los levantamientos en campo o en la oficina, creación de nuevas simbologías para franjas de servidumbre, inmuebles conectados al sistema y otros elementos.

### **Elaboración de cuantitativos y estimación de costos**

Con base en el cálculo de los ramales y en la orden de servicio (ingeniería de detalle) donde se definen las profundidades, extensiones y tipos de cajas de inspección, se elaborarán cuantitativos para la ejecución de las obras. Los cuantitativos también se alimentarán con la información contenida en las tablas de atributos, como el tipo de pavimento y la protección de tuberías. Realizados los cálculos de los cuantitativos (por ramal y total de la manzana), se proporcionarán estimaciones de costos que podrán ser utilizadas para la contratación y/o seguimiento de las obras.

### **Cálculo de los caudales de las manzanas**

Después del levantamiento de información sobre los inmuebles realizado durante los trabajos de campo, donde se identifican la cantidad de pisos de cada casa, la cantidad de familias residentes y la cantidad de lotes vacíos y ocupados, esta información se utilizará para la determinación de los caudales de inicio y fin de plan para cada manzana. Esta información podrá alimentar los plug-ins SaniHUB RedBasica para la revisión del dimensionamiento hidráulico de las redes colectoras y el SaniHub DWATS para el diseño de Plantas de Tratamiento Descentralizadas.

### **Versión en español del complemento**

Actualmente, los formularios utilizados para los levantamientos de datos en campo con la aplicación Qfield ya están disponibles en dos idiomas (portugués y español). Para la elaboración de las bases del proyecto, los planos finales y los comandos para la elaboración de la orden de servicio (ingeniería de detalle), la interfaz gráfica solo opera en portugués. En esta versión 2.0, el complemento tendrá una versión integral en español, incluyendo el manual del usuario.

## 3. MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE MEDIANTE LA DIGITALIZACIÓN

### 3.1. CONTEXTO

Las importantes inversiones en saneamiento, en las ciudades costeras de la República Dominicana se justifican porque la población consume a diario volúmenes importantes de agua inicialmente potable que son posteriormente vertidos en medios receptores vulnerables.

La prioridad para la población ha siempre sido el abastecimiento en agua potable. La preocupación por el saneamiento nace cuando se realiza que su ausencia está al origen de impactos muy negativos para la población, el medio ambiente y por ende para las actividades económicas de las zonas de influencia.

Al realizar un diagnóstico de como las empresas de agua CORAABO, COAAROM, INAPA Higüey e INAPA San Pedro de Macorís operan su respectivo sistema de agua, resaltó que las empresas no operan sus redes. Lo que llaman operar consisten en inyectar volúmenes de agua en las tuberías sin un control hidráulico de cómo el agua fluye, (caudales, volúmenes y presiones); en consecuencia, la distribución es intermitente.

La comercialización del agua distribuida no había sido hasta recientemente una prioridad, los gastos de funcionamiento de las empresas siendo subsidiado por el Estado.

INAPA, gestor del proyecto y principal prestatario del servicio de agua potable en la Republica Dominicana tomó consciencia que las inversiones en saneamiento requerían de un fortalecimiento de su gestión del agua potable para mejorar el servicio y para garantizar la sostenibilidad de las inversiones por realizar.

Es en este contexto que el Banco Interamericano de Desarrollo propuso al INAPA implementar una metodología de transformación de su gestión de los sistemas de agua operados en las ciudades intervenidas con la posibilidad de replicarla al nivel nacional.

## 3.2.

### UNOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE OPERADOS A CIEGA

Un sistema de agua está constituido de kilómetros de redes de diámetros y materiales diferentes aterrados, de reservorios, pozos con equipos de bombeos etc. O sea un sistema muy complejo relativamente difícil a operar. La calidad del servicio prestado dependerá del conocimiento de las instalaciones existentes y del monitoreo hidráulico de las mismas.

Dicho esto, resulta bastante obvio entender los problemas técnicos que enfrentan los operadores en las 4 ciudades antes mencionadas y de manera general en muchos sistemas de la Republica Dominicana por las siguientes razones:

- No se dispone de un catastro de las infraestructuras existentes;
- No hay equipos instalados de medición de los parámetros hidráulicos (Volúmenes, caudales, presiones, etc.);
- No hay mapas de ubicación de las conexiones de agua existentes;
- La mayoría del personal opera los sistemas sin conocimiento básicos de la hidráulica;
- El importante turn-over del personal en las empresas borra de la memoria de la empresa los conocimientos colectivos de las instalaciones existentes aterradas;
- La facturación de los volúmenes distribuidos no había sido una prioridad por las empresas.

## 3.3.

### LOS PASOS DE UNA METODOLOGÍA COMPROBADA

Los pasos de una metodología comprobada

El mejoramiento del servicio de distribución de agua requiere primero entender el funcionamiento hidráulico de las instalaciones existentes.

Entender el funcionamiento significa:

- Conocer las instalaciones existentes;

- Manejar conocimientos básicos de hidráulica;
- Disponer de un registro de todas las actividades realizadas por los operadores de un sistema de agua;
- Implementar y monitorear puntos de mediciones para la recolección de informaciones hidráulicas (volúmenes, caudales y presiones);
- Modelizar hidráulicamente el funcionamiento del sistema.

Para eso, es imprescindible que los empleados de los prestatarios no solamente sean parte del proceso, sino que lo lideran con apoyos externos. Son ellos que conocen mejor las instalaciones existentes y son ellos quienes deberán operar los sistemas mejorados.

Mejorar la operación de las instalaciones requiere la implementación de nuevas rutinas que consisten en registrar las acciones de operación (encendido/apagado de los equipos de producción, la manipulación de válvulas, etc.) y en coleccionar datos hidráulicos básicos (volúmenes producidos, caudales, presiones, niveles de tanques, etc.). Para eso, con fondos del proyecto se procede a la adquisición de equipos de medición.

### 3.3.1 LAS ACTIVIDADES

Se detallan a continuación las diferentes actividades a desarrollar. Algunas de estas puedan realizarse simultáneamente en función de las informaciones disponibles.

#### **Actividad 0:** Conocimientos en Hidráulica

A lo largo de la implementación de la metodología, es imprescindible que los profesionales que acompañan a los empleados de las empresas de agua, vayan explicando nociones de hidráulica vinculadas a las tareas que se ejecutan. El personal debe entender lo que se hace y porque se hace. El BID está elaborando videos cortos para enseñar nociones básicas de hidráulica al personal de las empresas de agua, tomando en cuenta que muchos de ellos cuentan con un currículo escolar muy corto.

#### **Actividad 1:** Perfil Hidráulico

El operador ubica en Google Earth los componentes más importantes de su sistema:

producción, conducción, tratamiento, almacenamiento y límites de las redes. Esta información se puede compartir por medio de un archivo con una extensión kmz.

A partir de ese archivo y utilizando las altitudes disponibles en Google Earth (se estima una imprecisión de +/- 5 metros), se puede elaborar un Perfil Hidráulico en AutoCad permitiendo así entender de manera general el funcionamiento del sistema, en particular de las presiones máximas en las aducciones y en las redes.

**Actividad 2:** Diagnóstico preliminar del funcionamiento/disfuncionamiento de las instalaciones

El diagnóstico preliminar se realiza a partir de las informaciones que suministra el operador, las cuales incluyen cifras estimadas o medidas:

- *Producción – Servicio:* Volúmenes disponibles en las fuentes, volúmenes producidos, continuidad del servicio, calidad del agua, presiones de servicio.
- *Catastro de redes:* Revisión de la documentación disponible
- *Comercial:* En ese caso se requiere un análisis de la base de datos comercial para entender los consumos reales (usuarios con micromedición) y consumos estimados. A esa base de datos comercial, el operador debe entregar el pliego tarifario. En efecto, los hábitos de consumo pueden ser relacionados a la estructura tarifaria (ejemplo: en caso de una facturación mínima fija asociada a una dotación de x m<sup>3</sup>).
- *Problemas de conducción y distribución:* frecuencia y ubicación de rupturas de tubería, zona de baja o de alta presión.

A partir de esas informaciones, de una visita in situ y de un balance hidráulico básico (producción – conexiones – consumos – población) se logra generalmente identificar la mayor parte de los problemas y desafíos que enfrenta la empresa.

**Actividad 3:** Producción – Perfil de la demanda de la red

Dos casos se pueden presentar:

Caso 1: La empresa dispone de una medición fija de su producción.

Muchas empresas no consideran de mucho interés monitorear los volúmenes inyec-

tados a la red. A partir del perfil se elabora un cuadro de seguimiento de la producción implementado procesos internos de lectura diaria de los macromedidores.

Caso 2: La empresa no dispone de 100% de macromedición

En caso de que la empresa no realice aforos periódicos (se requiere de un caudalímetro ultrasónico), se debe implementar una rutina de medición hasta que la empresa pueda instalar una macromedición fija. Tomando en cuenta que los caudales de las fuentes varían en el año, es muy importante que los aforos puedan permitir conocer la variabilidad de dichos caudales.

Los volúmenes producidos son obviamente datos claves para monitorear un sistema. Pero hay un dato asociado clave que los operadores desconocen, el perfil de demanda del sistema.

El Perfil de demanda de la red es el gráfico de los caudales durante un periodo mínimo de 24 horas. Los caudales corresponden a la demanda de los usuarios (conexiones) + las fugas en la red + consumos excepcionales eventuales (incendio, etc). Obviamente, ese perfil varía sensiblemente según el clima a lo largo del año.

Para conocer el perfil se requiere de un monitoreo de los volúmenes solicitados por la red (por lo menos cada 15 a 30mn) durante 24 horas (mediante lecturas de los macromedidores o de un caudalímetro ultrasónico).

#### **Actividad 4:** Planos de redes

Caso 1: La empresa dispone de unos planos de la red

Considerando que la finalidad es que los planos puedan ser aprovechados para hacer modelizaciones hidráulicas, manuales fueron elaborados para poder convertir planos de AutoCad en un formato Shape (formato de los Sistemas de Información Geográfica). Sin embargo, se observó que, en la mayoría de los casos, los archivos AutoCad no son organizados en layers de tal manera que permitan una migración a otros programas.

Así, habiendo escogido la plataforma QgisRed, se debe digitalizar la red con ese plugin de Qgis.

Caso 2: La empresa no dispone de unos planos de la red

Sin plano, la información sobre las redes solo existe en la memoria colectiva de los operadores. La metodología consistente en representar las características de las redes que conocen en Google Earth o sobre planos de calles impresos es la primera etapa para ir colectando informaciones.

En los dos casos, es más que probable que el producto “planos de redes” elaborado tendrá muchas discrepancias con la red instalada. Para eso se debe implementar rutinas que permitan aprovechar las informaciones de las redes que se pueden visualizar, por ejemplo, durante las obras de reparación. Para eso el Banco desarrollo una herramienta vinculada a Qgis.

#### **Actividad 5:** Altimetría

Para entender hidráulicamente cómo funciona una red, los datos altimétricos son claves. Así se deberá aprovechar de las informaciones existentes (modelos digitales de terreno). En caso de que no se disponga de nada y considerando que una alta precisión no es requerida, se podrán utilizar los datos de Google Earth.

#### **Actividad 6:** Geolocalización de los puntos de suministro de agua (conexiones/acometidas)

La localización de las acometidas en general es solamente del conocimiento de los lectores de los medidores y de los repartidores de facturas. Si bien es cierto que los clientes tienen una dirección registrada en el archivo comercial, en numerosos países, es muy difícil localizar una vivienda a partir de una dirección.

Pocas empresas le dan importancia a esa información considerando que esta se limita a la gestión comercial. Sin embargo, es también una información clave para la gestión técnica. En particular para poder calcular “la demanda” en agua por zonas.

Así tanto para optimizar la gestión comercial que para los estudios hidráulicos (de agua y de saneamiento) se debe realizar la geolocalización de todas las acometidas de agua.

Para eso el Banco desarrolló una herramienta de levantamiento vinculada a Qgis.

#### **Actividad 7:** Análisis de los consumos

Si bien podría parecer una evidencia, pocas empresas hacen un análisis de los consu-



mos medidos en particular de los altos consumos y de los consumos medidos bajos. Eso se debe a dos razones principales (i) los altos consumidores pagan por los metros cúbicos consumidos y, (ii) las empresas consideran los micromedidores como un aparato fiable.

Sin embargo, el análisis de los consumos es una herramienta potente porque permite conocer lo que consumen los usuarios en particular en caso de derroches. Los derroches no son, a menudo, voluntarios, sino provocados por un descuido de las instalaciones intradomiciliarias (ejemplo fugas en los inodoros). Los altos consumos voluntarios pueden ser causados por los servicios de abastecimiento intermitentes.

#### **Actividad 8:** Campaña de medición de presiones y caudales

Las mediciones de presiones y caudales son requeridas para definir la calidad del servicio (los análisis de calidad del agua también). En una primera etapa se pueden hacer campañas de mediciones limitadas en el tiempo para elaborar un mapa de presiones, la cual sirve también para la calibración del modelo hidráulico.

Las campañas de mediciones de caudales permiten entender cómo se reparten los caudales en las diferentes zonas de la red, sirven también para la calibración del modelo hidráulico.

#### **Actividad 9:** Monitoreo de las intervenciones en las redes

El monitoreo de las intervenciones en las redes es sumamente importante para coleccionar informaciones de actualización del catastro de las instalaciones y también para analizar el disfuncionamiento hidráulico de los sistemas.

Para tal fin, el Banco desarrolló una herramienta simple que permite coleccionar la información básica cada vez que se realiza una intervención en la red.

### **Ingeniería**

Los estudios de ingeniería requieren de un apoyo externo para elaborarlos. Para que estos estudios sean aprovechados por el operador, este debe ser involucrado durante el proceso de elaboración. La finalidad es que el operador los atienda, se empodere de los mismos para poder actualizarlos y entender el funcionamiento de sus instalaciones.

### **Ingeniera 1:** Modelación hidráulica

Las modelaciones hidráulicas son generalmente elaboradas por empresas de ingeniería para presentar el funcionamiento de una red con obras proyectadas, o sea con datos “hipotéticos”. Los consumos son generalmente “proyectados” así como los perfiles de consumo. Es un ejercicio parcialmente imaginario porque se supone que el catastro de red y de los accesorios es actualizado.

El verdadero desafío es preparar una modelación hidráulica de una red tal como funciona. Los problemas comienzan al momento de calibrarla. Las mediciones de presiones, de caudales y los perfiles de consumo deben coincidir con la realidad. Es un ejercicio que se hace en varias etapas y permite identificar errores en el catastro, disfuncionamientos de accesorios hidráulicos y otros. Su ventaja es que permite optimizar el funcionamiento de las instalaciones existentes mediante obras menores.

### **Ingeniera 2:** Sectorización - Regulación

La optimización de una red de agua requiere de una sectorización y de una regulación de las presiones. Eso permite no solamente garantizar un servicio uniforme en la ciudad sino también:

- Realizar intervenciones con una afectación mínima para los usuarios
- Controlar y monitorear (volumen de agua distribuido/facturado) de cada sector para identificar las zonas con mayores pérdidas.

## **3.4.** UNA CAJA DE HERRAMIENTAS DIGITALES EFECTIVAS

### **3.4.1** LA FORMACIÓN DEL PERSONAL

La formación del personal es una necesidad. No requiere para eso de un estudio que lo demuestre. Las diferentes misiones en las 4 empresas, así como en muchas empresas de América Latina y el Caribe donde el servicio es deficiente lo evidencian. Muchos de los operadores y de los ingenieros de las empresas no entienden los conceptos básicos de la hidráulica, conceptos que son indispensables para entender el funcionamiento de los sistemas de agua.

Debe quedar claro que participar a una capacitación no es suficiente para concluir

que habrá una adquisición de conocimientos por los participantes. Eso nos obliga a reflexionar sobre los factores claves para que haya un cambio de comportamiento que permita la adquisición de nuevos conocimientos y sus usos en los trabajos del día a día

La gestión de los Recursos Humanos es uno de los aspectos claves. Si analizamos como está contratado el personal de las empresas de agua en República Dominicana y cuáles son las garantías de un empleado de conservar su puesto de trabajo, se entiende perfectamente las grandes deficiencias de los servicios prestados.

Con el fin de apoyar las empresas de agua en la República Dominicana, se capacitará el personal por medio de videos cortos disponible en la plataforma YouTube.

La hidráulica se puede enseñar por medio de fórmulas como la de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

*Figura 20. Ecuación de Bernoulli.*

Sin embargo, debemos admitir que, por su carácter muy abstracto, las fórmulas transforman a veces conceptos simples en conocimientos únicamente para los eruditos.

Los cursos de hidráulicas hoy disponibles no son para los profesionales que tienen una aprehensión de las fórmulas. Por esa razón, el Banco con otros donantes está apoyando la producción de videos de enseñanza de la hidráulica sin formulas.

Los videos son actualmente disponibles en el siguiente canal:

<https://www.youtube.com/@Hidraulicasinformulas/videos>

Se está preparando una playlist que será disponible en el canal YouTube del BID para garantizar una mayor difusión.

A la fecha, 11 módulos de formación están disponibles previendo 32 videos a final del 2024.

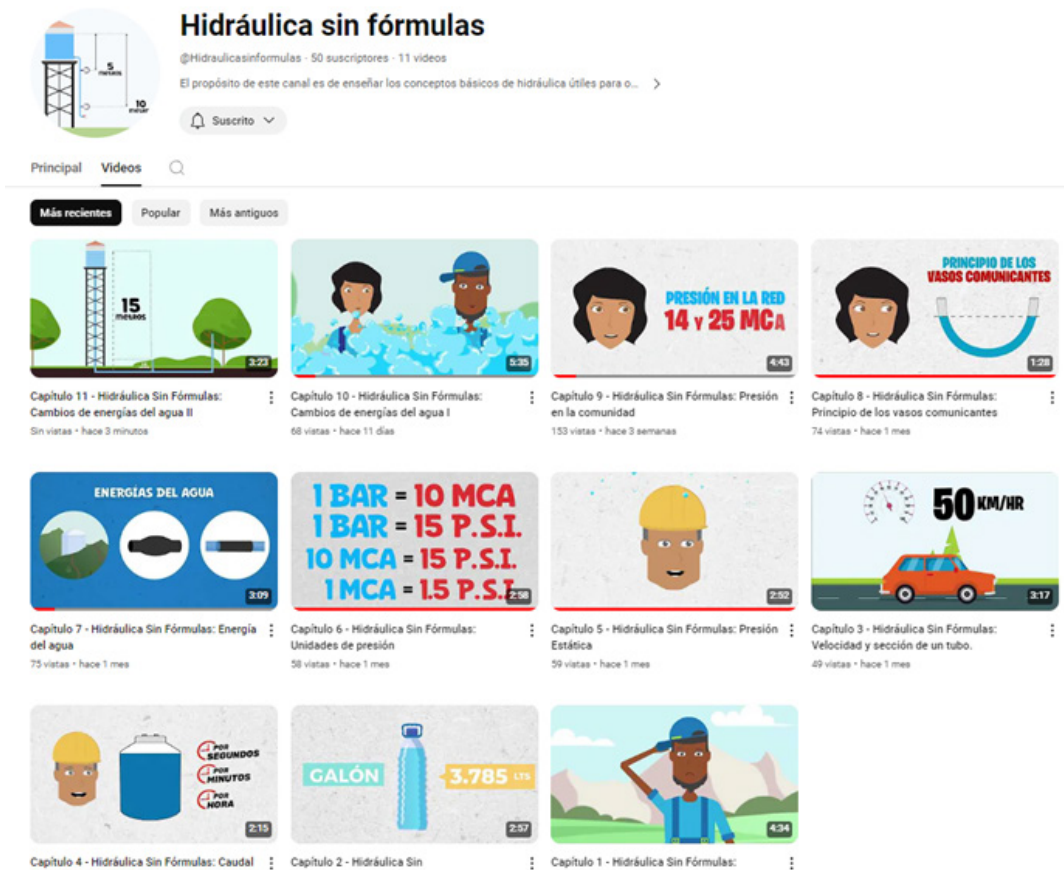


Figura 21. <https://www.youtube.com/@Hidraulicasinformulas/videos>

Los actores de los videos presentan los conceptos a partir de experiencias vividas a diario por los operadores. Se considera que los videos pueden generar propuestas de soluciones a problemas de hidráulicos vividos a diario por el personal de las empresas de agua.



Figura 22. Imagenes del canal Hidráulica sin Fórmulas



Figura 23. Imagenes del canal Hidráulica sin Fórmulas



Figura 24. Imágenes del canal Hidráulica sin Fórmulas



Figura 25. Imágenes del canal Hidráulica sin Fórmulas

Con el fin de motivar los operadores con un reconocimiento, se propone armar en una plataforma, evaluaciones online de adquisición de conocimientos.

Las evaluaciones serán diseñadas como puestas en situaciones que los operadores acostumbran a tener. Durante ese ejercicio, los operadores podrán seleccionar unas propuestas de soluciones para resolver un problema simple.

Las certificaciones podrán también ser una garantía para las empresas que su personal tiene los conocimientos básicos para operar un sistema de agua potable.

### 3.4.2 LA ELABORACIÓN DE LOS CATASTROS DE INFRAESTRUCTURAS

Con el fin de uniformizar las herramientas propuestas a las empresas de agua así como de no crear, para ellas, costos de adquisición y de mantenimiento de programas informáticos, se decidió utilizar únicamente programas libres.

Así los Sistemas de Información Geográfica serán elaborados a partir de la plataforma Qgis; el programa de simulación hidráulica será el programa **QGisRed** (consiste en un plugin de Qgis que funciona a partir del motor de Epanet).

El BID firmó un Convenio con la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y una em-

presa especializada para el mejoramiento de las funcionalidades del plugin QGisRed.

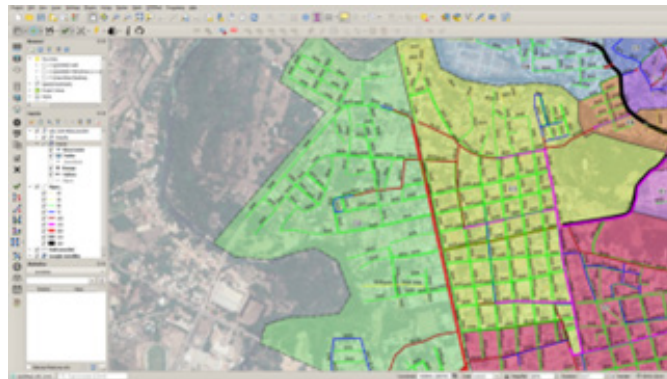


Figura 26. Ejemplo de visualización de redes de AP digitalizadas en QGisRed.

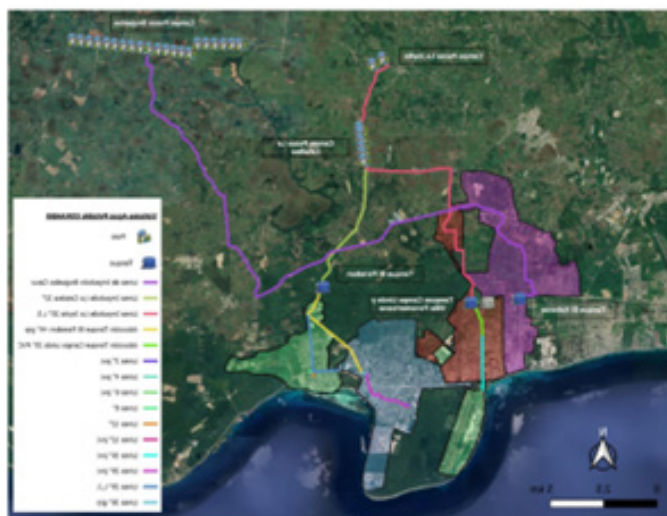


Figura 27. Ejemplo de visualización de macro redes de AP digitalizadas en QGisRed.

El BID desarrolló además 3 **Apps en Qfield** adaptable a cada empresa. Las Apps permiten el levantamiento de datos geolocalizados:

- Una APP para geolocalizar los puntos de suministro de agua (conexiones);
- Una APP para Monitorear las intervenciones en la red;
- Una APP para geolocalizar las válvulas y registrar informaciones sobre la operación de estas.

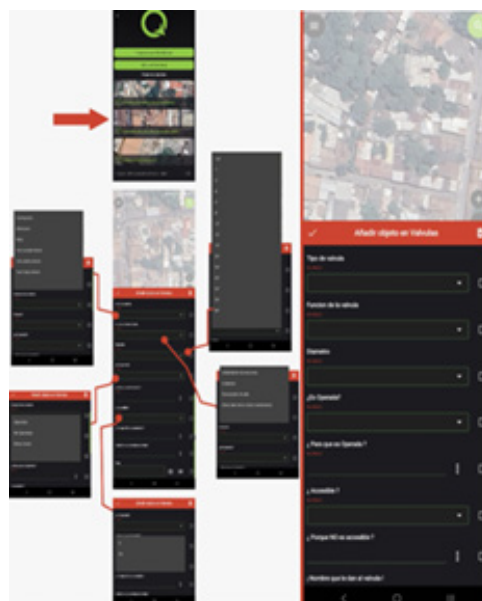


Figura 28. Menús de una App desarrollada en Qfield.

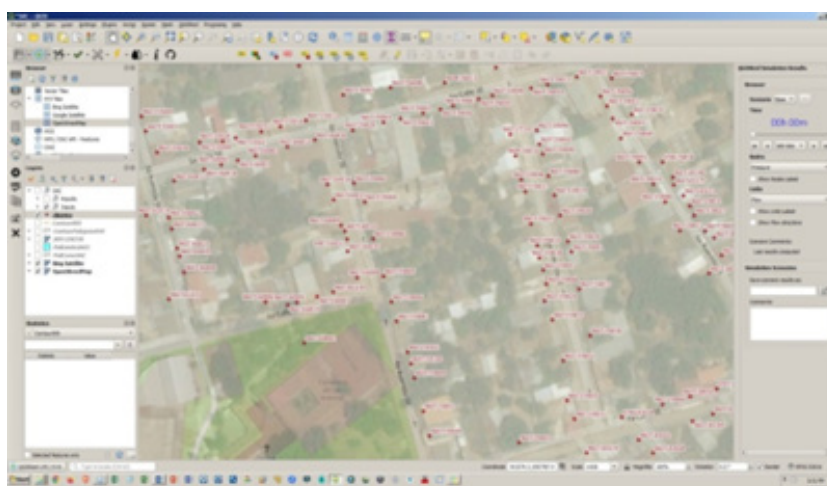


Figura 29. Descarga en Qgis de la App de geolocalización de conexiones.

Se está finalizando **Manuales** para la implementación de la metodología y para cada una de las herramientas.

Sistema Informático de Gestión Comercial

### 3.4.3 SISTEMA INFORMÁTICO DE GESTIÓN COMERCIALz

#### Una necesidad

Las empresas de servicios públicos no están generalmente conscientes que lo que define la gestión comercial son los procedimientos que se organizan en base a las funcionalidades del programa de gestión que disponen. Llamamos comúnmente

ese programa, un Sistema Informático de Gestión Comercial (SIGC).

Así, por ejemplo, si el SIGC no contempla un módulo de gestión de los micromedidores, la empresa no estará en la capacidad de realizar los análisis pertinentes para detectar desviaciones de consumos de los clientes o disfuncionamientos o de esos equipos metrológicos.

Ninguna de las empresas en las cuatro ciudades hace una gestión de los micromedidores y a ninguna les parece una necesidad. Sin bien es cierto que en 3 de ellas pocas conexiones de agua disponen de un micromedidor instalado, el INAPA tiene previsto incrementar significativamente la cobertura de micro medición. Eso no solamente para aumentar los niveles de facturación por el suministro de agua sino también para poder controlar los consumos, en particular los consumos excesivos de ciertos usuarios.

En esas empresas, el suministro y la instalación de un micromedidor tiene un costo aproximado de 70 USD, lo que representa varios meses de facturación del servicio de un cliente medio, esto justifica plenamente la necesidad de gestionar un parque de micromedidores.

Este caso es solo uno de los numerosos ejemplos de funcionalidades que deben tener un SIGC.

### **La situación del INAPA**

Considerando que las empresas internacionales que proveen soluciones para empresas de agua tienen modelos de negocios para las empresas con más de 100.000 clientes, las empresas de agua pequeñas y medianas tienen pocas posibilidades de poder adquirir un producto diferente a los productos nacionales disponibles.

Las empresas como el INAPA, en proceso de transformación requieren alcanzar un nivel de madurez suficiente para justificar adquirir y pagar anualmente montos relativamente altos de uso de las licencias de un SIGC disponible en el mercado.

Muchas empresas en América Latina optaron por desarrollar un SIGC "in house". Las empresas describen lo que desean de funcionalidades a partir de lo que ellos conocen del negocio del agua y lo desarrollan con su personal o contratan una firma local para elaborar el programa informático.



En otros casos, la empresa de agua adquiere un SIGC disponible en el mercado local desarrollado por una empresa nacional. Esas empresas nacionales, sin experiencia en el negocio de una empresa de agua y alcantarillado difícilmente pueden anticipar las mejoras que podrían solicitar los clientes.

INAPA optó lanzarse en el desarrollo de su propio SIGC pero hay razones para pensar que tendrá funcionalidades limitadas en particular considerando la instalación masiva de micromedidores planificada.

### **Un SIGC libre y en códigos abiertos**

Un grupo de expertos en gestión comercial financiado por El Banco está actualmente desarrollando un SIGC en códigos abiertos. El producto no competirá con los productos disponibles en el mercado, pero será adaptado para las empresas pequeñas y medianas (que por razones financieras no pueden tener acceso a programas costosos y complejos), y a empresas como el INAPA que están en un proceso de transformación para organizar una gestión comercial en las ciudades donde opera los sistemas de agua y saneamiento.

El lanzamiento de ese nuevo programa libre coincidirá con las primeras instalaciones del SIGC en dos empresas de Honduras a final del 2024 y coincidirán con.

El producto que desarrollaba por el Banco podría ser una buena opción para el INAPA.



**FREITAS  
ICASURIAGA**  
ARCHITECTURAL  
VISUALIZATION  
EDICIÓN GRÁFICA  
BRASIL-RECIFE/PE,2024



**BID**  
Banco Interamericano  
de Desarrollo