



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Ingeniería de infraestructura subterránea: Lineamientos  
para la implementación de una unidad gestora de  
información de instalaciones subterráneas en la  
Universidad de Piura**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

**Anna Elizabeth Seminario Vera**

**Asesor(es):  
MSc. Ing. Luis Gerardo Chang Recavarren**

**Piura, abril de 2022**



### **Agradecimientos**

A Dios y la virgen María que, por su gran amor e infinita bondad, me han otorgado salud, conocimiento, fortaleza y perseverancia.

A mis padres por el cariño, confianza y apoyo incondicional.

A mis maestros por la motivación, apoyo e instrucción profesional.





## **Resumen**

Este documento presenta alcances generales sobre la ingeniería de infraestructura subterránea, una de las ramas de la ingeniería, que está enfocada en la gestión de datos sobre redes subterráneas y cuya aplicación permite obtener ciertos beneficios relacionados con reducciones en costos, optimización de cronogramas, prevención de accidentes, etc., en las diversas fases de desarrollo de los proyectos. Dentro de los alcances generales se consideran los documentos elaborados en torno a este tema, la clasificación por niveles de calidad de la información, registro y gestión de datos subterráneos, aplicaciones y beneficios, entre otros.

De acuerdo a una investigación sobre las condiciones y necesidades de los sistemas subterráneos en un campus extenso, de gran circulación de redes y con proyecciones de crecimiento, como lo es la Universidad de Piura, se proponen recomendaciones para la implementación de una unidad gestora de la información de instalaciones subterráneas que toma como referencia la aplicación de diversos conceptos considerados en la ingeniería de infraestructura subterránea. Se definen las funciones generales de la unidad a implementar y se sugiere cómo es que ésta puede incorporarse a la organización de la universidad para lograr los objetivos que se plantean.

Asimismo, se establecen diversos procesos y procedimientos que faciliten la recopilación, revisión, organización, representación, almacenamiento y puesta a disposición de la información subterránea. Se consideran, además, diversas políticas que favorezcan el buen desarrollo de las actividades, así como una serie de estrategias que permitan a la unidad gestora seguir los procesos y procedimientos definidos, de manera sencilla y ordenada.

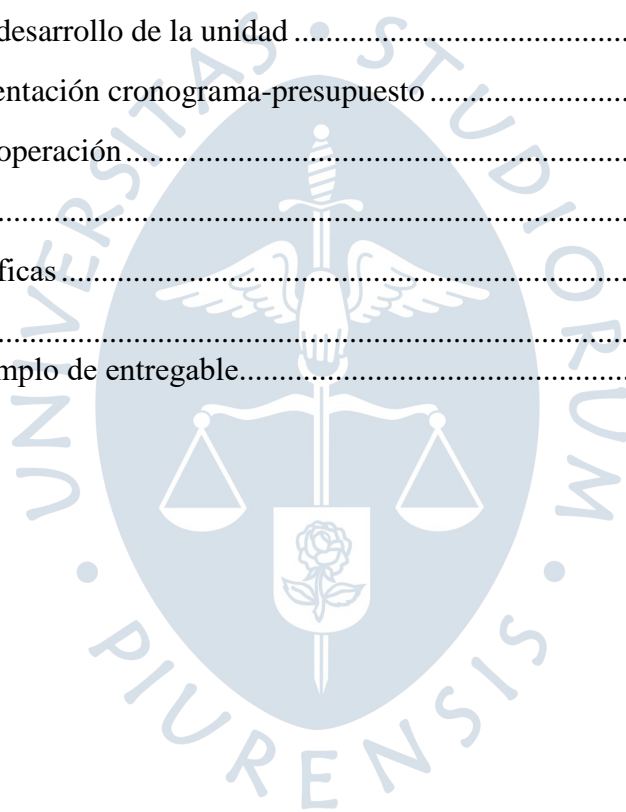
Se propone el uso de diversos recursos que facilitarán la ejecución de las actividades de la unidad gestora; y también, se presentan los lineamientos para la selección del software que permita el almacenamiento y la representación de información subterránea de todo el campus universitario, para una visualización y análisis de manera clara y organizada.



## Tabla de contenido

Introducción .....	13
<b>Capítulo 1. Marco teórico.....</b>	<b>15</b>
1.1 Conceptos generales sobre subsurface utility engineering .....	15
1.1.1 Subsurface utility engineering .....	15
1.1.2 Evolución de SUE.....	16
1.1.3 Niveles de calidad de SUE.....	18
1.1.4 Guías, normas y otros documentos de SUE.....	20
1.1.5 Prácticas de SUE.....	22
1.2 Registro y gestión de datos mediante SUE.....	25
1.2.1 Métodos de detección de SUE.....	25
1.2.2 Tecnologías de exposición de SUE.....	29
1.2.3 Métodos de rastreo de SUE.....	30
1.2.4 Métodos de marcado de SUE.....	31
1.2.5 Equipos de posicionamiento .....	34
1.2.6 Gestión de datos .....	38
1.2.7 Beneficios de SUE .....	58
1.2.8 Campos de aplicación .....	61
1.2.9 Limitaciones, recomendaciones y necesidades de investigación.....	67
<b>Capítulo 2. Lineamientos de implementación.....</b>	<b>71</b>
2.1 Condición actual UDEP.....	71
2.1.1 Información general de la institución y de la infraestructura.....	71
2.2 Unidad SUE en la universidad de Piura .....	75
2.2.1 Justificación .....	75
2.2.2 Propósito de la unidad.....	76

2.2.3	Políticas.....	76
2.2.4	Funciones de la unidad.....	77
2.2.5	Organización del trabajo .....	77
2.2.6	Procesos .....	78
2.2.7	Recursos .....	79
2.3	Estrategia de Implementación.....	81
2.3.1	Constitución de la unidad gestora SUE y registro de información disponible .	81
2.3.2	Operación y registro progresivo de información subterránea.....	82
2.4	Actividades iniciales .....	82
2.4.1	Plan de desarrollo de la unidad .....	82
2.4.2	Implementación cronograma-presupuesto .....	85
2.4.3	Plan de operación.....	85
	Conclusiones .....	87
	Referencias bibliográficas.....	89
	Anexo .....	95
	Anexo A. Ejemplo de entregable.....	97



### **Lista de tablas**

Tabla 1. Clasificación de los materiales de infraestructura subterránea .....	52
Tabla 2. Puntos de acceso a infraestructura subterránea según su tipo.....	54
Tabla 3. Puntos de acceso sugeridos para emplear los métodos de detección y rastreo .....	55
Tabla 4. Profundidad aproximada alcanzada por algunos métodos de detección .....	57





### **Lista de figuras**

Figura 1. Niveles de calidad y funciones de SUE a lo largo de las etapas del proyecto.....	20
Figura 2. Organización de Administración General UDEP .....	73
Figura 3. Esquema de Gerencia de Infraestructura de UDEP que considera la implementación de la unidad gestora de información subterránea.....	78





## **Introducción**

La Universidad de Piura se encuentra en funcionamiento desde hace más de 50 años y dispone de una infraestructura de calidad que ha crecido considerablemente y que está compuesta por edificios, caminos, sistemas subterráneos, áreas verdes, etc.

Para el óptimo desarrollo de las actividades del campus universitario es necesario verificar el correcto funcionamiento de los servicios de manera frecuente. Por ello, el personal encargado realiza inspecciones generales a las redes subterráneas, programa pronta atención a inconvenientes presentados, cuenta con registros parciales de los diversos sistemas subterráneos, etc. Sin embargo, aún no se cuenta con pautas que faciliten el registro y gestión de datos de manera eficiente y con la calidad requerida. Esto, en ciertas ocasiones ha generado inconvenientes, pues al desconocer características particulares – ubicación específica o antigüedad, por ejemplo – se han dañado redes existentes o se ha requerido reubicarlas, han surgido ligeros sobrecostos en trabajos de mantenimiento y reparaciones, y se han originado situaciones similares donde se evidencian ciertas necesidades sobre gestión de datos que pueden superarse mediante la aplicación de la ingeniería de infraestructura subterránea como parte de la constitución de una unidad gestora de información de instalaciones subterráneas en la Universidad de Piura.





## Capítulo 1

### Marco teórico

#### 1.1 Conceptos generales sobre subsurface utility engineering

Existen ciertos conceptos que permiten comprender con mayor claridad lo que involucra subsurface utility engineering, su desarrollo con el paso de los años, las guías y documentos elaborados para optimizar su aplicación, etc., como se detalla:

##### 1.1.1 Subsurface utility engineering

En relación al término *subsurface utility engineering* (SUE) [ingeniería de infraestructura subterránea], si bien no hay una definición generalizada, muchas de las propuestas en diferentes textos comparten algunas similitudes. A continuación, se presentan algunas citas que describen SUE de manera breve:

- SUE es descrito como un proceso de ingeniería que utiliza tecnologías avanzadas de procesamiento de datos y caracterización de sitios que conducen a la recopilación, representación y gestión de información de infraestructura existente, de manera rentable (Lew, 2000, citado por Lockhart, 2004).
- SUE es un proceso de ingeniería que utiliza tecnologías nuevas y existentes para identificar, caracterizar y mapear, con precisión, infraestructura subterránea de manera temprana en el desarrollo de un proyecto (Sinha et al., 2007).
- SUE es un proceso de ingeniería que permite identificar con precisión la calidad de información de infraestructura subterránea necesaria para los planes de carreteras, y también, permite adquirir y gestionar ese nivel de información durante el desarrollo de un proyecto de carreteras (Anspach, 2010).

Adicionales a las referencias anteriores, existen definiciones más extensas que incorporan un alcance mayor de lo que el término SUE significa:

- SUE es la convergencia de nuevas tecnologías de caracterización de sitio y procesamiento de datos que permite la recopilación, representación y gestión de información de infraestructura existente, de manera rentable. Estas tecnologías abarcan geofísica de superficie, técnicas de topografía, sistemas CADD/GIS, etc. (Purdue University, 1999).

- SUE es una rama de la práctica de la ingeniería que implica la gestión de ciertos riesgos asociados con el mapeo de infraestructura en niveles de calidad apropiados, coordinación de la infraestructura, diseño y coordinación de reubicación de la infraestructura, evaluación de las condiciones de la infraestructura, comunicación de datos de la infraestructura a las partes interesadas, estimación de costos de reubicación de la infraestructura, implementación de políticas de alojamiento de la infraestructura y diseño de la infraestructura (American Society of Civil Engineers, 2002).
- SUE es un proceso de ingeniería emergente que ha demostrado ser una herramienta eficaz para reducir accidentes y daños de infraestructura subterránea. Este proceso pretende localizar y representar con precisión la infraestructura y difundir la información antes de empezar la construcción, así esos conflictos y desastres pueden ser minimizados (Jeong et al., 2003).

Como se puede notar, a lo largo de los años, han surgido varias definiciones. Ya sean breves o extensas, todas reúnen ideas comunes, y con esto, se puede plantear la siguiente definición:

SUE es una rama de la ingeniería orientada a la identificación, caracterización y mapeo de la infraestructura subterránea existente, de manera precisa y confiable, mediante el uso de equipos y tecnologías, nuevas y existentes. Tiene como finalidad gestionar la información durante el desarrollo de un proyecto y, con esto, reducir los riesgos asociados con las redes subterráneas desconocidas, minimizar los daños a las mismas, así como otros beneficios.

### 1.1.2 Evolución de SUE

La idea de SUE surgió en los años 70 por Henry Stutzman, en relación a la necesidad de localizar con precisión y registrar la información de la infraestructura subterránea, para incrementar la seguridad y reducir pérdidas económicas en la fase de planificación del proyecto. A partir de esto, SUE continuó desarrollándose durante varios años, hasta que en los 80 fue puesta en práctica profesional (Jeong et al., 2004, citado por Sinha et al., 2007).

Paul Scott (s.f.) en su trabajo denominado: *SUE then and now*, ha investigado el desarrollo de SUE en Estados Unidos (EE. UU.) a partir de los años 80, mencionando su implementación en *departments of transportation* (DOTs) [departamentos de transporte] estatales, procedimientos empleados, documentos elaborados y otros datos, que han sido de gran relevancia para el progreso de esta rama de la ingeniería. A continuación, se señalan aspectos importantes del estudio de Scott:

A principios de los 80, se solía diseñar proyectos sin considerar la infraestructura existente, y durante la construcción, en caso surgieran problemas, se lidiaba con ellos. Ante tal situación, dos tecnologías: la excavación aire/vacío<sup>1</sup> y la geofísica de superficie<sup>2</sup>, se combinaron

<sup>1</sup> Método no destructivo que permite exponer de manera segura la infraestructura subterránea. Se utiliza aire de alta presión para aflojar el suelo y se emplea un potente vacío para succionarlo, ello genera un agujero que facilita la visualización de las redes enterradas. (Mid-America Regional Council, 2003).

<sup>2</sup> Ciencia que estudia las propiedades físicas de la tierra (Servicio Geológico Mexicano, 2016).

para recolectar datos sobre la ubicación exacta de infraestructura subterránea de manera temprana en el desarrollo de proyectos. Para diferenciar la geofísica de superficie y la excavación aire/vacío, se emplearon los términos *designating*<sup>3</sup> [identificar] y *locating*<sup>4</sup> [localizar], respectivamente.

En ese entonces la única manera de exponer una infraestructura antes de iniciar un trabajo era mediante el uso de una retroexcavadora. Sin embargo, ello solía ocasionar problemas. Por eso, el uso de la excavación aire/vacío para exponer la infraestructura resultó de gran interés. Asimismo, el uso de equipos de geofísica superficial se incorporó para determinar ubicaciones horizontales precisas de infraestructura subterránea de manera relativa, ya que hasta ese momento los registros disponibles eran con frecuencia inexactos e incompletos.

A finales de los 80, los ingenieros viales empezaron a notar la importancia de SUE y algunos DOTs, en varios estados de EE. UU., empezaron a utilizarla. Por estos años, surgieron otras actividades importantes de SUE: topografía y gestión de datos. Además, SUE empezó a incluir entregables sellados y un seguro de responsabilidad profesional, ello permitió que sea reconocida como un servicio profesional.

En 1989, durante la Primera Conferencia Anual Nacional de Infraestructura y Carreteras, lo que se conocía como "designating y locating", se presentó a una audiencia nacional y se denominó "subsurface utility engineering".

En la década de los 90, la *Federal Highway Administration* (FHWA) [Administración Federal de Carreteras], realizó una labor muy significativa: reconoció la importancia de SUE y promovió su uso.

Asimismo, durante esta década, SUE tuvo un avance muy significativo: la introducción y uso del concepto de niveles de calidad de información de la infraestructura subterránea. Ello permitía a los diseñadores certificar en los planos proporcionados cierto nivel de exhaustividad y exactitud.

A finales de los 90, pese a que el uso de SUE se había incrementado, no se tenía una idea clara de lo que era. Eran varios los proveedores y los DOTs que empleaban SUE, pero sólo algunos trabajaban de manera adecuada. Ante esto, la FHWA y principales proveedores que conocían bien lo que SUE involucraba, consideraron indispensable establecer guías estándar para su uso y cuantificar su valor, puesto que, aunque se afirmaba que el uso apropiado de SUE ahorra tiempo y dinero, no había estudios que lo demostraran.

Así, la FHWA encargó a los investigadores de la Universidad de Purdue realizar un estudio sobre el valor de SUE que se denominó: *Cost savings on highway projects utilizing subsurface utility engineering* [Ahorro de costos en proyectos de carreteras que utilizan ingeniería de infraestructura subterránea], publicado y distribuido en el 2000, donde se estudiaron un total de 71 proyectos de Virginia, Carolina del Norte, Texas y Ohio. Surgieron

---

<sup>3</sup> Uso de técnicas geofísicas para identificar la presencia y posición horizontal aproximada de una infraestructura subterránea (GeoPotential, 2011).

<sup>4</sup> Exposición de la infraestructura subterránea para obtener información sobre sus condiciones y posición precisa (GeoPotential, 2011).

dos grandes categorías de ahorro: ahorros cuantificables (\$4.62 en costos evitados por cada \$1.00 gastado en SUE) y ahorros cualitativos (no mensurables, pero también significativos y posiblemente muchas veces más valiosos que los ahorros cuantificables). Se concluyó que SUE era una práctica tecnológica viable que reducía los costos de un proyecto relacionados con los riesgos asociados con la infraestructura subterránea existente y debía ser utilizada de manera integral.

Después, la *American Society of Civil Engineers* (ASCE) [Sociedad Americana de Ingenieros Civiles], acordó establecer una guía estándar nacional, que se denominó: *Standard guideline for the collection and depiction of existing subsurface utility data* [Pautas para la recopilación y representación de datos de infraestructura subterránea existente], siendo publicada y distribuida en el 2003. Establece las responsabilidades de ingenieros, propietarios de proyectos y contratistas para la recopilación y representación de datos de infraestructura subterránea existente en los documentos de diseño y construcción; asimismo, presenta un sistema de clasificación de calidad de la información de la infraestructura subterránea existente.

Desde el año 2000 en adelante, SUE ha sido utilizada por muchas agencias de carreteras, compañías de infraestructura y consultores de diseño. Más allá del ámbito de las carreteras, también se ha expandido al ámbito militar, aeroportuario, portuario y otros. SUE ha revolucionado totalmente la forma en que se maneja la infraestructura subterránea en proyectos de carreteras y muchos otros proyectos de obras públicas, se ha difundido a otros países y continúa evolucionando rápidamente.

### 1.1.3 Niveles de calidad de SUE

En el contexto americano, Anspach (1994, como se citó en Sinha et al., 2007) sugiere que para entender lo que es SUE, es necesario definir los niveles de calidad de información subterránea de SUE que están disponibles para diseñadores, contratistas y propietarios.

Años más tarde, la clasificación por niveles de calidad de SUE fue incorporada a las guías, estándares y demás documentos que surgieron alrededor del mundo para la aplicación adecuada de SUE, de las cuales se hará una breve descripción en apartados posteriores.

Es común que en EE. UU., SUE organice la información sobre la infraestructura subterránea de acuerdo a 04 niveles de calidad: A, B, C y D, donde el nivel de calidad A (NC-A) es el más preciso y el nivel de calidad D (NC-D) es el más básico. Es decir, a medida que vamos escalando en los niveles desde D hasta A, va incrementando la precisión y confiabilidad de la información y, con esto, el costo de los estudios para cada nivel de calidad es mayor (Sinha et al., 2007).

No es estrictamente necesario que a lo largo de la toda la zona en la que se desarrolle un proyecto se realicen estudios para obtener información a un nivel de calidad superior; sin embargo, sí será necesario un alto nivel de precisión en la información donde haya una infraestructura subterránea de importancia o donde existan posibles puntos de conflicto. De esta manera, se podrían prevenir inconvenientes que generen costos adicionales como reparación de daños a la infraestructura, accidentes, reubicación de la infraestructura u otros problemas

inesperados. Es por esto que resulta importante definir la calidad de información requerida según el área de trabajo (Sinha et al., 2007) y en cada etapa del proyecto (Jeong, Abraham, & Lew, 2004). Por lo tanto, la selección del nivel de calidad apropiado para el proyecto debería ser definido teniendo en cuenta los factores que afectan el estudio, tales como conocimiento en el tema, análisis costo-beneficio de acuerdo a la ubicación, procedimientos, equipos disponibles, etc. (Sinha et al., 2007).

Para cada nivel de calidad, existen diversos procedimientos, métodos y equipos de identificación recopilación, interpretación, procesamiento y presentación de datos, esos detalles se explicarán con mayor precisión en apartados posteriores. Sinha et al. (2007) proporcionan una breve descripción acerca de cada nivel de calidad:

**1.1.3.1 Nivel de calidad D (NC-D).** La información es obtenida de la revisión de registros existentes de la infraestructura o recuerdos verbales. En este nivel, la información tiene limitaciones de precisión y exhaustividad porque los registros de la infraestructura son usualmente insuficientes o incorrectos.

**1.1.3.2 Nivel de calidad C (NC-C).** Implica una inspección de sitio para visualizar las características de la infraestructura sobre la superficie, tales como hidrantes y buzones. Incluye información del NC-D.

**1.1.3.3 Nivel de calidad B (NC-B).** Implica el uso de las tecnologías geofísicas apropiadas para determinar la existencia y posición horizontal aproximada de las infraestructuras subterráneas (American Society of Civil Engineers, 2002). Considera información de los NC-C y NC-D.

**1.1.3.4 Nivel de calidad A (NC-A).** Esta información es obtenida a través de la exposición real de la infraestructura subterránea. Exponer la infraestructura en los puntos críticos proporciona mayor precisión y confiabilidad en la información subterránea de manera vertical y horizontal. La inspección visual a través de la exposición de las infraestructuras puede emplearse para verificar el tipo de material de la infraestructura, profundidad de la infraestructura, condición del suelo, condiciones de las infraestructuras y más información subterránea.

Adicionalmente, Jeong et al. (2004) en su investigación proponen un enfoque donde al incorporar SUE (niveles de calidad y funciones que en cada uno se desarrollan), de manera sistemática a lo largo de las diferentes etapas del proyecto, podremos determinar donde se necesitará un mayor nivel de calidad de información a medida que se va avanzando en las etapas de un proyecto, tal como se aprecia en la Figura 1.

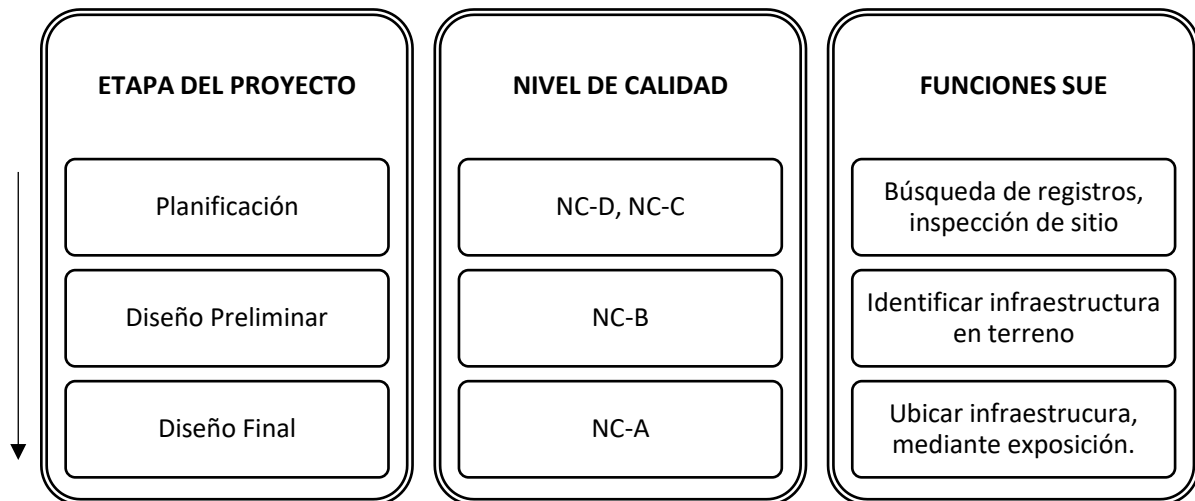


Figura 1. Niveles de calidad y funciones de SUE a lo largo de las etapas del proyecto

Fuente: Tomado de *Evaluation of an emerging market in subsurface utility engineering* por Jeong, Abraham, & Lew, 2004.

- En la etapa de planificación de un proyecto de construcción, se recopila toda la información sobre la infraestructura subterránea de registros existentes (NC-D) y de inspecciones visuales (NC-C). Dicha información, se representa en un plano topográfico que luego es utilizado para localizar el trabajo proyectado (Jeong et al., 2004).
- En la etapa de Diseño Preliminar, se realiza una localización horizontal aproximada mediante el uso de métodos geofísicos superficiales (NC-B) para considerar la infraestructura existente que está ubicada en las áreas de trabajo propuestas. Los datos adquiridos se representan en los planos preliminares del proyecto mediante el uso de sistemas: *Computer aided design and drafting* (CADD) [diseño y bosquejo asistido por computadora] y *geographic information system* (GIS) [sistema de información geográfica]. En esta etapa, se puede optimizar la ubicación del trabajo proyectado con respecto a la ubicación horizontal de la infraestructura existente (Jeong et al., 2004).
- En la etapa de Diseño Final, pueden identificarse los posibles puntos de conflicto con la infraestructura existente. En estas zonas, se puede emplear la información obtenida a partir de métodos de localización no destructivos (NC-A) para ajustar la ubicación final del trabajo proyectado (Jeong et al., 2004).

#### 1.1.4 Guías, normas y otros documentos de SUE

En varios lugares alrededor del mundo se han desarrollado documentos: guías, normas, especificaciones, etc., acerca del uso apropiado de SUE. La siguiente es una relación que muestra algunos de ellos:

- *ASCE 38-02: "Standard guideline for the collection and depiction of existing subsurface utility data"*. EE. UU.

- “Standard guidelines for underground utility mapping”. Malasia.
- CSA S250: “Mapping of underground Utilities”. Canadá.
- AS 5488-2013: “Classification of subsurface utility information” (SUI). Australia.
- PAS 128-2014: “Specification for underground utility detection, verification and location”. Reino Unido.
- NTE INEN 2873: *Ingeniería de infraestructura subterránea. Detección y mapeo de servicios básicos o infraestructura subterránea*. Ecuador.

Estos documentos disponen de contenido similar y algunos de ellos incorporan alcances particulares. A continuación, se describe el contenido común de los documentos mencionados que consideran definiciones generales relacionadas con SUE, atributos de niveles de calidad de información y formato de entregables:

- **Definiciones generales relacionadas con SUE.** Comprende la descripción de términos que suelen manejarse al trabajar en esta rama de la ingeniería, referentes a niveles de calidad de la información, actividades realizadas, métodos aplicados, etc., para facilitar la lectura y comprensión de los documentos SUE.
- **Atributos de niveles de calidad de información.** Proponen diversas tareas a realizar para alcanzar cada uno de los niveles de calidad de información de infraestructura subterránea, donde se consideran NC-D, NC-C, NC-B y NC-A.

De manera particular y complementaria a este contenido, la NTE-INEN 2873 propone la clasificación por niveles de precisión para los registros de construcción. Se consideran los niveles: 1, 2, 3, 4 y 0, donde el nivel de precisión 1 (NP-1) es el más preciso y el nivel de precisión 4 (NP-4) es el menos preciso de los 4 primeros niveles propuestos. Se habla de un nivel de precisión 0 cuando no se dispone de información relacionada a precisión espacial (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

- **Formato de entregables<sup>5</sup>.** Incorpora sugerencias para la presentación de información sobre infraestructura subterránea en los entregables, considerando etiquetas, códigos de línea y estilo<sup>6</sup>, símbolos, colores, capas o niveles, escalas, leyendas y otros atributos que permitan diferenciar el tipo de infraestructura y niveles de calidad obtenidos, así como facilitar una visualización más clara y una mejor comprensión de la información mostrada (Ver “Anexo A”).

Existen también otros contenidos que aparecen en algunos de los documentos mencionados, entre ellos: roles de personas involucradas en labores de SUE y métodos geofísicos para obtener información de infraestructura subterránea, como se describe:

<sup>5</sup> El entregable básico es un archivo CADD o un plano que contiene información general de la infraestructura en vista de planta en NC-A, NC-B, NC-C y NC-D, e información adicional de la infraestructura en vista de planta y perfil en NC-A (American Society of Civil Engineers, 2002).

<sup>6</sup> Característica que permite diferenciar los niveles de calidad de información, e identificar el tipo de infraestructura subterránea y/o la propiedad de esta (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

- **Roles de personas involucradas en labores de SUE.** Se proporciona un listado de actividades sugeridas que pueden asignarse a personas que trabajan en esta rama de la ingeniería a lo largo de su desarrollo; entre ellos: propietarios, ingenieros, topógrafos, etc.
- **Métodos geofísicos para obtener información de infraestructura subterránea.** Comprende un listado y la descripción de algunos procedimientos, técnicas y equipos que existen para la detección de infraestructura subterránea.

Asimismo, existen algunos contenidos que aparecen de manera particular en sólo unos documentos, tales como costos relativos y beneficios de los niveles de calidad, creación y mantenimiento de una base de datos nacional de infraestructura subterránea, etc. A continuación, se describen brevemente algunos de ellos:

- **Costos relativos y beneficios de los niveles de calidad. La ASCE 38-02, es un documento que incorpora este contenido.** En él se cita al trabajo de Stevens, R. E. (1993): *Society of American Value Engineers, general percentages of cost savings*; y al estudio de los investigadores de la Universidad de Purdue (2000): *Cost savings on highway projects utilizing subsurface utility engineering* (del que ya se proporcionó una breve descripción anteriormente). Ambos trabajos hacen referencia a los ahorros que pueden generarse al trabajar con los niveles de calidad de SUE, con respecto al costo de un proyecto; y también, se describen los costos generados al obtener información en los diversos niveles de calidad, con respecto al presupuesto de un proyecto; señalando que los costos serían mayores en los proyectos urbanos que en los rurales (American Society of Civil Engineers, 2002).
- **Creación y mantenimiento de una base de datos nacional de infraestructura subterránea.** Este contenido corresponde al documento: *Standard guidelines for underground utility mapping*, donde JUPEM<sup>7</sup> propone la creación y actualización de una base de datos subterráneos, empleando diversas herramientas, como el desarrollo de un mapa base, proyecciones y sistemas de coordenadas, normas de intercambio de datos, etc. (National Mapping and Spatial Data Committee, 2006).

### 1.1.5 Prácticas de SUE

Desde su implementación en la década de los 70, la aplicación de SUE ha sido difundida ampliamente. Esto ha dado lugar al desarrollo de prácticas SUE en EE. UU. (en DOTs y en el sector privado), propuestas sobre mejores prácticas, promoción de ellas por parte de diversas industrias, etc.; como se indica:

**1.1.5.1 En los departamentos de transportes estatales.** De acuerdo a la investigación de Jeong et al. (2004), a través de encuestas aplicadas a 50 estados de EE. UU. entre los años 2000 y 2002, se pudo verificar que más del 55% de estados que emitieron respuesta han empleado SUE para sus proyectos de carreteras. En este período, el presupuesto promedio anual invertido en la implementación de SUE se incrementó hasta en un 135%. Aproximadamente el 90% de los encuestados indicó que SUE ha cubierto satisfactoriamente sus necesidades,

<sup>7</sup> *Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM)* [Departamento de Topografía y Mapeo de Malasia].

resaltando su efectividad para reducir retrasos, costos, riesgos, etc. Algunos de los estados que más han destacado con respecto al uso de SUE son: Texas, Virginia, Delaware, Maine, Maryland, Carolina del Norte de Texas y Pensilvania.

Adicionalmente, Jeong et al. (2004) señalan algunos criterios referenciales para la aplicación de SUE en los proyectos:

- Proyectos de construcción de carreteras urbanas con un alto potencial de conflictos con infraestructura existente.
- Proyectos con redes subterráneas antiguas o que impliquen un elevado costo de reubicación.
- Proyectos con derecho de vía<sup>8</sup> limitado, estrecho y congestionado.
- Proyectos de carreteras de alto perfil que tienen una programación crítica.

Es importante aclarar que los DOTs de EE. UU., que cuentan con un programa SUE, determinan de manera distinta en qué proyectos aplicarlo, otorgando la posibilidad de establecer la decisión al diseñador, al gerente de proyecto, a la oficina central de un DOT, a una empresa consultora, etc.

**1.1.5.2 En el sector privado.** El documento de Jeong et al. (2004) describe algunos aspectos de la práctica de SUE en este sector, hace algunos años:

- Las compañías SUE solían conformarse de la siguiente manera: los técnicos para el trabajo de campo (encargados de identificar, ubicar, realizar la topografía y recopilar datos sobre las propiedades de la infraestructura subterránea) comprendían el 69% del total de empleados, los ingenieros de proyectos (encargados de administrar todos los proyectos de SUE en una región específica) representaban el 16%, otros ingenieros para sistemas de gestión de datos comprendían el 13%, y sólo un pequeño porcentaje de los empleados eran geofísicos dedicados a la investigación de información subterránea.
- Las diferentes condiciones de sitio, tales como tipo de suelo, material de tubería, profundidad de red, etc., requerían la experiencia de un geofísico sobre el uso apropiado de equipos geofísicos para detección de infraestructura subterránea; sin embargo, la cantidad de estos empleados en las empresas de SUE era escasa. Esto generaba una preocupación creciente en la industria, especialmente en ocasiones particulares en que se necesitaba presentar entregables con alta calidad de información.

**1.1.5.3 Mejores prácticas.** Existen diversas organizaciones y asociaciones americanas que han implementado y promovido el uso de SUE y que han desarrollado mejores prácticas para su ejecución, entre ellas, algunas ya mencionadas: FHWA, ASCE, DOTs, consultores

---

<sup>8</sup> “Es la faja del terreno que comprende: la carretera, obras complementarias, servicios, áreas para futuras obras de ensanche o mejoramiento y zona de seguridad, para las acciones de saneamiento físico legal correspondiente” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Viceministerio de Transportes. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles., 2014).

diversos, etc. Rezendes (2017), menciona otras industrias de EE. UU. que también han contribuido a formular mejores prácticas de SUE, como son:

- *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) [Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes].
- *American Public Works Association* (APWA) [Asociación Americana de Obras Públicas].
- *Federal Aviation Administration* (FAA) [Administración Federal de Aviación].
- *Common Ground Alliance* (CGA) (Nevada CGA) [Alianza de Interés Común]
- Ciudades, condados, propietarios de infraestructura subterránea, etc.

Anspach (2010) presenta algunas de las mejores prácticas, recopiladas de estudios y entrevistas, que han sido propuestas por parte de los algunos DOTs de EE. UU., programas de búsqueda, asociaciones americanas, etc., que han sido mencionados. Entre las mejores prácticas figuran:

- Utilizar herramientas tecnológicas como Google Earth, registros de videos de carreteras y sistemas GIS para obtener una visualización previa de la infraestructura en la etapa de planificación de proyectos (*Pennsylvania Department of Transportation* [PennDOT] [Departamento de Transportes de Pensilvania]).
- Desarrollar un formato estandarizado para identificar y resolver conflictos de infraestructura subterránea y revisarlo continuamente a medida que avanza el diseño (*Georgia Department of Transportation* [GDOT] [Departamento de Transportes de Georgia]).
- Desarrollar un mecanismo para que los propietarios de instalaciones y contratistas de proyectos puedan identificar cualquier cambio en las redes existentes a medida que el diseño se desarrolle. Asimismo, teniendo en cuenta tales variaciones en los datos, se recomienda actualizar progresivamente el plano de diseño de redes subterráneas (*Second Strategic Highway Research Program*<sup>9</sup> [SHRP 2 R-01<sup>10</sup>] [Segundo Programa Estratégico de Investigaciones en Carreteras]).
- Desarrollar o utilizar un sistema GIS para almacenar, gestionar y recordar información sobre infraestructura subterránea que ha sido recopilada durante el desarrollo de los proyectos, considerando reubicaciones de redes y construcción de nuevas instalaciones (SHRP 2 R-01).
- Desarrollar un catálogo o base de datos histórica sobre los costos de reubicación de redes subterráneas para realizar la mejor estimación de costos posible y actualizar dicho catálogo o base de datos de manera regular, como máximo cada año (AASHTO

<sup>9</sup> Está enfocado en mejorar la seguridad, reducir la congestión y optimizar los métodos de renovación de carreteras y puentes. En él intervinieron la FHWA, AASHTO y *Transportation Research Board* (TRB) [Junta de Investigación de Transporte] (American Association of State Highway and Transportation Officials & Federal Highway Administration, 2018).

<sup>10</sup> *Utility Investigation Technologies* [Tecnologías de Investigación de Servicios Públicos], denominación a las soluciones para servicios públicos subterráneos (AASHTO & FHWA, 2018).

Scan<sup>11</sup>, *Virginia Department of Transportation* [VDOT] [Departamento de Transportes de Virginia]).

- Desarrollar una herramienta de evaluación que contribuya al proceso de selección de los niveles de calidad apropiados para el mapeo de la infraestructura subterránea. Este puede ser un proceso repetitivo que se verifique constantemente a medida que se incorporan detalles adicionales a los planos de diseño (PennDOT).
- Colocar a un experto en redes subterráneas como parte del equipo de diseño del proyecto que participe activamente a lo largo de su desarrollo (GDOT, PennDOT, VDOT).
- Instalar marcadores de identificación por radiofrecuencia en redes no metálicas durante los trabajos de reubicación de las mismas o en nuevas instalaciones (SHRP 2 R-01).

## 1.2. Registro y gestión de datos mediante SUE

A continuación, se describen los métodos, técnicas, equipos, herramientas, etc., empleados para registro y gestión de información subterránea, así como los beneficios obtenidos al realizar estas labores, campos de aplicación, recomendaciones, etc.

### 1.2.1 Métodos de detección de SUE

Son métodos geofísicos<sup>12</sup> aplicados a la detección de infraestructura subterránea, que combinan el uso de diversos equipos y técnicas. De acuerdo al principio en que se basan, estos métodos pueden agruparse en electromagnéticos, magnéticos, de onda elástica, de alta especialización; como se muestra a continuación:

**1.2.1.1 Equipos y métodos electromagnéticos.** Se basan en la teoría electromagnética, según la cual, cualquier perturbación en los campos eléctricos y magnéticos será suficiente para desplazarse en el espacio a la velocidad de la luz en forma de una onda electromagnética. Las ondas electromagnéticas se encuentran en diversas variedades: ondas de radio (a partir de la banda de onda larga a través de VHF<sup>13</sup>, UHF<sup>14</sup>, etc.), microondas, luz infrarroja, luz visible, rayos X, etc. (James Clerk Maxwell Foundation, 2015). Dichas ondas pueden transmitir energía al subsuelo, y la energía reflejada por la infraestructura u objetos subterráneos se mide, analiza e interpreta para identificar su ubicación (Jeong & Abraham, 2004, como lo citaron Sinha et al., 2007).

<sup>11</sup> Es un programa que considera las prácticas innovadoras de las agencias de transporte de alto desempeño para que otras agencias interesadas puedan ejecutarlas favorablemente (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020).

<sup>12</sup> La detección geofísica analiza campos de energía para identificar irregularidades en el terreno que puedan indicar la presencia de infraestructura subterránea. Los criterios considerados para realizar una adecuada detección evalúan el material de las redes, la conexión entre partes del mismo sistema subterráneo, la forma en que las redes se conectan al suelo y las propiedades del propio terreno (Anspach & Murphy, 2012).

<sup>13</sup> *Very High Frequency* o [frecuencia muy alta], conformada por ondas métricas con frecuencias de 30 MHz a 300 MHz. (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2020).

<sup>14</sup> *Ultra High Frequency* o [frecuencia ultra alta], conformada por ondas decimétricas con frecuencias de 300 MHz a 3 GHz. (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2020).

Algunos equipos y métodos electromagnéticos son:

**1.2.1.1.1 Detectores de cables y tuberías.** Estos equipos que localizan tuberías y cables enterrados se componen de un transmisor, un receptor y otros componentes como cables de conexión, baterías, generador de señal, etc. (Sinha et al., 2007). El transmisor emite una onda electromagnética (radiofrecuencia) y el receptor se sintoniza para detectar cualquier cambio en la onda. Cuando la onda emisora entra en contacto con un objeto metálico, se produce una corriente electromagnética en dicho objeto. Esta corriente crea un campo magnético alrededor del conductor. El receptor detectará y procesará el campo magnético. Así, a través de esta indicación de la intensidad de señal, un operador capacitado y hábil, es capaz de detectar el objetivo subterráneo (Jeong et al., 2003). Estos equipos funcionan adecuadamente para infraestructura metálica, e infraestructura no metálica que tenga una cinta metálica o cable de rastreo instalado directamente encima de la red subterránea (Lockhart, 2004).

Jeong et al. (2003) mencionan diferentes técnicas de uso de estos detectores con distintas frecuencias, donde se incluyen:

- Modo inductivo: se puede aplicar cuando se conoce la ubicación aproximada de la red subterránea.
- Modo pasivo: no requiere transmisor ya que el receptor puede detectar la frecuencia presente en las líneas enterradas.
- Método de cinta metálica/cable de rastreo: la cinta metálica o el cable de rastreo instalados sobre tuberías o conductos no metálicos enterrados, ayudarán a localizar fácilmente las instalaciones mediante localizadores de cables y tuberías con modo conductivo<sup>15</sup> o inductivo.

**1.2.1.1.2 Medidores de conductividad del suelo.** Los equipos de conductividad del suelo crean y miden corrientes inducidas que son producidas por la variación en la conductividad promedio desde la superficie del terreno hasta la profundidad efectiva de penetración (aproximadamente 5 m) (ASCE, 2002, como lo citaron Jeong et al., 2003). El transmisor emite corrientes electromagnéticas inducidas que al entrar en contacto con un objeto metálico se reflejan a la superficie con características distintas. Luego, el receptor anexo al equipo analiza las corrientes reflejadas para detectar la presencia de redes enterradas (Jeong et al., 2003). Mediante el uso de estos equipos pueden detectarse redes metálicas aisladas, tanques subterráneos de almacenamiento, pozos, etc. (ASCE, 2001, como lo citaron Jeong et al., 2003).

**1.2.1.1.3 Detectores de metales.** Estos equipos emiten una corriente alterna al terreno, produciendo un campo magnético. En caso exista alguna red metálica enterrada, la bobina de búsqueda de los detectores registrará el cambio en el campo magnético que ha entrado en contacto con dicho metal y producirá un ruido indicando su presencia (Jeong et al., 2003). Ya que las respuestas decaen exponencialmente con la profundidad (ASCE, 2002; como lo citaron

---

<sup>15</sup> Está descrito en páginas posteriores.

Jeong et al., 2003) estos equipos sólo suelen emplearse para detectar tapas de cajas de revisión superficiales, cubiertas de cajas de válvulas, etc. (Jeong et al., 2003).

**1.2.1.1.4 Electronic marker system (EMS) [Sistema de marcador electrónico].** El localizador de marcadores transmite una señal de radiofrecuencia al marcador electrónico que fue enterrado junto con la red al momento de la construcción. El marcador posee un circuito resonante pasivo que refleja la señal de retorno al localizador, donde se indica la ubicación con una lectura visual y un tono audible. Los marcadores electrónicos suelen utilizarse para marcar puntos específicos como empalmes, válvulas, etc., así como redes no metálicas (Jeong et al., 2003).

**1.2.1.1.5 Ground penetrating radar (GPR) [Radar de penetración terrestre].** El equipo transmite pulsos de microonda al terreno, las reflexiones de retorno se monitorean y se envían a una computadora donde se representa el perfil gráfico del subsuelo. Los resultados obtenidos pueden verse afectados por la frecuencia de las microondas, las constantes dieléctricas, la conductividad del suelo, etc. La atenuación de la señal percibida será mayor en suelos con alta conductividad eléctrica, y será menor en suelos con conductividad eléctrica relativamente baja. Si la frecuencia de la microonda emitida por el GPR es alta podrá penetrar profundidades no muy elevadas para detectar instalaciones (incluso diámetros muy pequeños), proporcionar una alta resolución espacial y nitidez del objetivo; si la frecuencia emitida es baja se podrán encontrar redes a mayores profundidades (Sinha et al., 2007).

El GPR es un equipo sofisticado que permite obtener imágenes de redes metálicas y no metálicas, que debe ser empleado por personal capacitado para realizar una adecuada interpretación de datos y verificar su correcta operatividad (Jeong et al., 2003).

**1.2.1.1.6 Equipos infrarrojos (térmicos).** Son aquellos dispositivos que detectan y miden el flujo de calor. Pueden utilizarse para los sistemas de desfogue de vapor, líneas de energía de alto voltaje, drenajes de aguas negras, etc., ya que transportan algunos productos que pueden producir un flujo de calor medible. Estos equipos no suelen utilizarse para detección y mapeo de redes, pues existen otros que son menos costosos y más determinantes; sin embargo, pueden emplearse en situaciones especiales (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

**1.2.1.1.7 Medidores de resistividad.** Inyectan al terreno una corriente continua utilizando dos o más electrodos y miden el voltaje resultante en otros electrodos para calcular la resistividad promedio. Se podrá detectar la presencia de una red subterránea al percibir una anomalía (diferencia entre la resistividad de la red y del área circundante) cuando se dispone de una cantidad suficiente de datos. Pueden ser útiles para la búsqueda de una instalación subterránea, pero no para rastrearla. Se emplean muy pocas veces (Sterling et al., 2009).

Existen, además, otros métodos electromagnéticos que no permiten detectar, pero contribuyen en esa tarea. Por ejemplo: los métodos ópticos, que permiten obtener información mediante el uso de la luz visible (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015), que es una forma de radiación electromagnética.

**1.2.1.2 Métodos magnéticos.** Se basan en la medición de la fuerza o señal de un campo magnético, a través de un instrumento conocido como magnetómetro. Algunos métodos magnéticos son:

**1.2.1.2.1 Mediciones de campo total.** Pueden emplearse para buscar redes subterráneas a lo largo de distancias considerables cuando hay ausencia de fuentes de interferencia, como: tendido eléctrico, vehículos, etc. Generalmente, las mediciones de campo total se realizan en un patrón de barrido en malla. A mayor espaciamento de la malla, esta técnica será de menor utilidad para la búsqueda de instalaciones subterráneas (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

**1.2.1.2.2 Mediciones gradiométricas.** Un gradiómetro es un dispositivo que suele utilizar dos sensores magnéticos separados a una distancia conocida. La diferencia en la fuerza del campo magnético entre los dos sensores es el resultado de un campo magnético localizado, que permitirá detectar la presencia de una red subterránea. Por medio de este método pueden detectarse instalaciones metálicas y de acero, tanques de almacenamiento subterráneo, pozos y cubiertas de cámaras subterráneas, etc. (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

**1.2.1.3 Métodos de onda elástica.** Se consideran los siguientes:

**1.2.1.3.1 Métodos de reflexión/refracción sísmica.** Los métodos sísmicos consisten en generar ondas elásticas (sísmicas) en un punto y observar sus tiempos de llegada a varios otros puntos de la superficie de la tierra para determinar la distribución de la velocidad y ubicar las interfaces subterráneas donde las ondas se reflejan o refractan (Jeong et al., 2003). Las ondas sísmicas viajan con diferentes velocidades en diferentes materiales (rocas, suelos e instalaciones subterráneas) y su tiempo de viaje está en función de la densidad y la dureza del suelo y la roca (Technos Inc., como se citó en Jeong et al., 2003).

Los métodos sísmicos pueden clasificarse en función de la fuente de energía de las ondas sísmicas: (A) Sismología de terremotos y (B) Sismología de explosiones. La sismología de explosiones se puede dividir en dos métodos: (1) Reflexión sísmica, y (2) Refracción sísmica (Jeong et al., 2003).

Estos métodos son útiles cuando las condiciones del terreno son considerablemente limitadas debido a problemas de señal o ruido, sin embargo, son relativamente costosos y puede ser difícil interpretar los resultados (Sinha et al., 2007).

**1.2.1.4 Métodos y técnicas de alta especialización.** Los siguientes métodos y técnicas se aplican de manera inusual debido su costo elevado y a las condiciones del entorno donde se emplean:

**1.2.1.4.1 Técnicas microgravitacionales.** Pueden emplearse en instalaciones muy grandes o en túneles que están predominantemente vacíos (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015). El principio de esta técnica es ubicar áreas subterráneas con contraste de densidades por medio de mediciones superficiales que indiquen la variación del campo gravitatorio de la tierra. El estudio debe ser muy preciso debido a los pequeños valores que se miden; la interpretación de los datos debe considerar las masas cercanas, los efectos regionales

y los movimientos de los cuerpos celestes; y las elevaciones deben determinarse con precisión milimétrica (Jeong et al., 2003).

**1.2.1.4.2 Técnicas isotópicas (radiométricas).** Por medio de esta técnica, las instalaciones subterráneas o su entorno inmediato que contienen o están contaminados con uranio, torio u otros compuestos radioactivos, pueden detectarse con contador Geiger o de destello (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015). Las técnicas isotópicas podrían ser muy efectivas, sin embargo por temas de salud, seguridad y permisos, se limita su uso en entornos generalmente no controlados, y aunque es teóricamente posible emplearlo como técnica de búsqueda o rastreo, no se utiliza en la práctica (Sterling et al., 2009).

**1.2.1.4.3 Técnicas químicas.** A través de esta técnica pueden detectarse las firmas espectrales que muestran los productos transportados en las tuberías o que están cerca de ellas como resultado de técnicas constructivas (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

**1.2.1.4.4 Métodos geofísicos de sondeo en pozos.** Para ubicar las instalaciones subterráneas mediante este método se puede realizar la triangulación de diferentes pozos. Estos pueden llegar muy cerca de las redes enterradas, excluyendo las interferencias de la superficie y dando posibilidad de emplear diversas técnicas de procesamiento. Su costo es elevado, pero puede aplicarse cuando otros métodos fallan en la búsqueda de infraestructura subterránea (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

Muchos de los métodos y equipos mencionados se pueden combinar con técnicas de procesamiento de datos y algoritmos matemáticos para mejorar los resultados. El procesamiento de datos puede variar desde prácticas tradicionales, como gráficos de datos manuales, hasta fórmulas algorítmicas complejas vinculadas a salidas gráficas (Sterling et al., 2009). Una técnica de procesamiento de datos que podría emplearse es *geophysical diffraction tomography* (GDT) [tomografía de difracción geofísica] que facilita la obtención de imágenes subterráneas cuantitativas (Witten, 1992), está basada en los principios de la holografía óptica y se puede utilizar con ondas de sonido y ondas electromagnéticas en una variedad de técnicas de recopilación de datos. Esta técnica requiere una gran cantidad de datos recopilados y manipulación de los mismos con algoritmos propios (Sterling et al., 2009).

## 1.2.2 Tecnologías de exposición de SUE

Es importante señalar que algunas instalaciones se pueden detectar mediante varios métodos, algunas sólo se pueden detectar empleando un solo método y otras no se pueden detectar con ningún método, únicamente mediante la exposición (Sterling, 2009, como se citó en Anspach & Murphy, 2012). Por ello, se han desarrollado ciertas tecnologías de exposición de redes subterráneas, entre ellas:

**1.2.2.1 Excavación al vacío.** La excavación al vacío consiste en crear orificios de 0.3 a 0.5 m de diámetro para confirmar la presencia, la posición y la profundidad de una instalación subterránea. Es un proceso que consta de dos fases: reducción y remoción. En la reducción se puede emplear agua a alta presión, aire a alta presión o medios mecánicos que permitan obtener partículas de suelo muy pequeñas para luego removerlas desde la excavación mediante un vacío de gran volumen. Generalmente, este proceso de excavación no daña una instalación

subterránea existente y el agujero en el pavimento se mantiene mínimo y se repara fácilmente. La excavación al vacío es aplicable en cualquier tipo de suelo (Jeong et al., 2003).

### 1.2.3 Métodos de rastreo de SUE

Luego de efectuar la búsqueda y detección de instalaciones subterráneas, se puede determinar su trayectoria mediante el uso de diversos métodos y equipos. Estos, a partir de las redes localizadas, permiten seguirles el rastro y conocer su recorrido horizontal.

Algunos de los métodos y equipos empleados en esta labor ya han sido mencionados anteriormente puesto que además de detectar las instalaciones permiten conocer su trayectoria, entre ellos están:

**1.2.3.1 Métodos y equipos electromagnéticos.** Se consideran los siguientes:

**1.2.3.1.1 Detectores de cables y tuberías.** Estos equipos pueden emplearse mediante:

- Modo conductivo: para el rastreo, el transmisor del equipo detector realiza una conexión directa con la línea del servicio mediante un punto de acceso físico. El modo conductivo puede aplicarse con altas frecuencias (adecuadas para instalaciones con mayor resistencia de puesta a tierra o entornos de señal ruidosa) y bajas frecuencias (adecuadas para conductores de baja resistencia de puesta a tierra) (Jeong et al., 2003).
- Método de inserción de sonda: la sonda es un pequeño transmisor que puede insertarse en conductos no metálicos y emitir una frecuencia electromagnética que es detectada mediante el receptor. Así, la sonda se introduce en una tubería, se desplaza a lo largo de la misma y el receptor puede rastrear su ubicación (Jeong et al., 2003).
- Método de cinta metálica/cable de rastreo.
- Método del localizador de líneas eléctricas: consiste en excavar un agujero para generar un punto de acceso en una instalación en servicio e insertar la línea eléctrica de localización a través de la ella. Haciendo uso del localizador de cables y tuberías con modo conductivo y conectando el transmisor a la línea eléctrica en el punto de acceso, el receptor sigue la señal reflejada desde la línea eléctrica para rastrear la tubería (Jeong et al., 2003).

**1.2.3.1.2 Radar de penetración terrestre.** Este equipo puede emplearse para rastreo de redes subterráneas utilizando el mismo principio que en la labor de detección.

**1.2.3.2 Métodos magnéticos.** Consideran las mediciones de campo total y mediciones gradiométricas, basadas en el mismo principio empleado para la tarea de detección.

**1.2.3.3 Métodos de alta especialización.** Consideran las técnicas isotópicas, basadas en el mismo principio empleado para la tarea de detección.

A diferencia de los equipos y métodos mencionados, existen otros cuya finalidad es únicamente proporcionar la trayectoria de las redes, uno de ellos es:

**1.2.3.4 Emisión Acústica.** Corresponde a los métodos de onda elástica y hace referencia al sonido. Se explicará mediante el siguiente ejemplo: una tubería sometida a esfuerzo puede deformarse y generar sonido (usualmente monitoreado mediante el uso de transductores). El sonido generado será mayor directamente sobre la tubería porque la distancia

de transmisión de la onda elástica es la más corta en ese punto, sin embargo, existen factores que pueden distorsionar la distribución de tal sonido, como son: el tipo de superficie, la compactación, la humedad del suelo, etc. (Comité Técnico de Ingeniería Subterránea, 2015).

La emisión acústica es un buen método de rastreo, pero no es un método de búsqueda efectivo puesto que el acceso al sistema de la instalación debe estar disponible en un punto (Sterling et al., 2009).

El Comité técnico de ingeniería subterránea (2015) describe tres métodos principales que usan los métodos de emisión acústica, ellos son:

- Primer método, conocido como “sonidos activos”: involucra inducir un sonido sobre o dentro de una tubería. Puede servir para tuberías metálicas, no metálicas, vacías o llenas.
- Segundo método, conocido como “sonidos pasivos”: considera la capacidad de escape del producto de la tubería. Por ejemplo: el agua que sale de una tubería en un hidrante o una fuga generará vibración a lo largo de dicha tubería por cierta distancia antes de atenuarse. En tal situación, el material de la tubería, material circundante, compactación del suelo y producto pueden afectar la detección de sonido entre el receptor y la tubería.
- Tercer método, conocido como “sonidos resonantes”: depende de que el producto de la tubería sea un fluido no comprimible (agua en la mayoría de los casos). Con una conexión a la superficie del fluido y generando una onda de presión en el mismo, se crearán vibraciones detectables en la tubería.

Asimismo, existen medios con los que sólo podría verificarse la trayectoria de las redes subterráneas. Uno de ellos es:

- Medio óptico. Permite verificar la trayectoria de las redes. Un ejemplo para comprender su funcionamiento es el siguiente: si se tiene una tubería de alcantarillado que conecta dos buzones o cámaras de inspección y se observa desde uno de ellos a través del tubo, se puede visualizar la existencia del otro buzón o cámara de inspección. Incluso, si se emplea un láser que apunte desde el primer buzón hacia el segundo, se puede verificar que la luz llega directamente. De esta manera, hay una evidencia visual directa de que la tubería de alcantarillado es recta entre ambos buzones. Sin embargo, si no es posible detectar el láser o visualizar el segundo buzón, se podría considerar que posiblemente el drenaje entre dichos buzones no sea recto.

#### **1.2.4 Métodos de marcado de SUE**

La manera más común de realizar el marcado de una infraestructura subterránea, es colocar una señal en el suelo con pintura o tiza. Esta señal, suele ser temporal y tiene como propósito indicar la ubicación para un estudio posterior, prevenir daños, etc.

Además de las señales hechas con pintura o tiza, otra manera de realizar el marcado es colocando marcadores dentro de la infraestructura subterránea o sobre ella. El colocar marcadores visibles permanentes, cintas o cables de rastreo, imanes enterrados y otros

dispositivos detectables enterrados, se ha practicado desde hace varios años atrás y con el paso del tiempo los dispositivos empleados se han vuelto más sofisticados (Sterling et al., 2009).

Algunos métodos de marcado que suelen utilizarse son:

#### **1.2.4.1 Marcadores visuales.** Entre ellos:

##### **1.2.4.1.1 Señalización de infraestructura subterránea/marcadores de tuberías.**

Entre ellos: postes o estacas de marcado superficial, calcomanías o marcadores colocados en el borde de la acera, paneles marcadores, etc. Estos marcadores han sido empleados, durante mucho tiempo, para señalar líneas de transmisión de gas de alta presión, fibra óptica, etc. Pueden indicar la existencia de infraestructura subterránea, pero no permiten conocer su trayectoria; sin embargo, si se colocan marcadores múltiples, puede apreciarse una tendencia del camino de la línea. Se debe tener cierta precaución pues, al tratarse de marcadores puestos en superficie, pueden ser removidos o colocados en otro lugar por vándalos, equipos de siega y otros (Sterling, et al., 2009).

**1.2.4.1.2 Marcadores al ras.** Son un tipo de marcadores que ha empleado la Administración Federal de Aviación de EE. UU. para identificar la ubicación de las instalaciones subterráneas aeroportuarias. Consiste en colocar marcadores de concreto (2 ft x 2 ft x 6") al ras del suelo, sobre las instalaciones señaladas. Son marcadores que requieren atención constante, pues debe eliminarse el pasto, reparar la erosión que ocasionan al suelo, considerar que pueden ser desplazados por un equipo de siega, etc. (Sterling, et al., 2009).

**1.2.4.1.3 Marcadores desde la superficie hasta la estructura.** Consiste en colocar una tubería de PVC que vaya desde la superficie del suelo hasta la infraestructura subterránea; es decir un extremo de la tubería estará en contacto con la infraestructura subterránea y el otro extremo quedará expuesto. En este extremo, suele colocarse una tapa. Este marcador proporciona un acceso directo a la infraestructura subterránea, a través del cual se podrá medir la profundidad y registrar la elevación (Sterling, et al., 2009).

**1.2.4.1.4 Clavos Parker-kalon (PK) / marcadores topográficos.** Los clavos Parker-kalon, son marcadores que se colocan sobre la infraestructura subterránea. Al tomar registro de la ubicación de este marcador se indicará también la ubicación de la infraestructura subterránea, puesto que como se ha mencionado ésta se encuentra debajo del marcador (Sterling, et al., 2009).

De la misma manera, se emplean los marcadores topográficos. Estos, además de servir como referencia para señalar la infraestructura subterránea, pueden mostrar información importante en su parte superior, como: el nombre de la empresa, el tipo de infraestructura subterránea, la profundidad, etc. (Sterling, et al., 2009).

**1.2.4.1.5 Marcadores continuos enterrados.** Algunos marcadores de este tipo son las cintas y alambres trazadores o de rastreo. Sterling, et al. (2009) señalan que estos marcadores pueden emplearse para los siguientes propósitos:

- Alertar a la persona que está realizando una excavación, sobre la presencia de una infraestructura subterránea cercana.

- El marcador, al poder ser detectado mediante un localizador de cables y tuberías, permite localizar la infraestructura subterránea de manera más sencilla.

Según Sterling, et al. (2009), tanto las cintas trazadoras como los alambres trazadores poseen ciertas características:

- Las cintas trazadoras a veces tienen códigos de colores y/u otra información escrita, como: el propietario de la infraestructura subterránea, el tipo de infraestructura subterránea o simplemente un mensaje de advertencia. La desventaja es que si la cinta trazadora se rompe, es difícil volver a unirla en un conductor<sup>16</sup> continuo. Esto puede imposibilitar que sea encontrada mediante el uso de un equipo de detección subterránea.
- Los alambres trazadores son pequeños, es por eso que no tienen información escrita en ellos. La ventaja es que, en caso de romperse, pueden empalmarse de manera sencilla.

**1.2.4.1.6 Marcadores enterrados de un solo punto.** Un ejemplo de este tipo de marcadores son los imanes. Estos han sido empleados por muchos años para señalar la presencia de infraestructura subterránea (Sterling, et al., 2009). Por ejemplo:

- Algunas compañías distribuidoras de gas, colocan un pequeño imán en sus cajas plásticas para que puedan ser encontradas en caso se cubran con tierra o vegetación (Sterling, et al., 2009).
- En ocasiones, se han colocado imanes encima de una infraestructura subterránea permitiendo que luego puedan ser ubicados mediante el uso de un gradiómetro (Sterling, et al., 2009).

**1.2.4.1.7 Bolas electromagnéticas pasivas.** En los años 80, se desarrollaron unas bolas de plástico de 4" con una sonda incorporada, con la finalidad de ubicarlas en lugares estratégicos durante la instalación de infraestructura subterránea. Estas bolas empleaban un dispositivo receptor, funcionaban con baterías de duración limitada y debían operar algunos años hasta que las instalaciones se conectaran al servicio público (Sterling et al., 2009).

Posteriormente, estos dispositivos fueron reemplazados por marcadores pasivos. Se denominan así porque actúan como antenas pasivas, es decir que reflejan las señales recibidas sin necesidad de una fuente de alimentación interna. Estos marcadores no se ven afectados por la humedad, los minerales, los productos químicos y las temperaturas extremas; los componentes internos son autonivelantes, es decir que siempre estarán en una orientación horizontal para obtener la mejor potencia de señal sin tener en cuenta cómo se coloque el dispositivo en el suelo (Sterling et al., 2009).

Existen algunos marcadores de este tipo que han sido desarrollados con frecuencias específicas para que la señal recibida indique una infraestructura subterránea en particular (Sterling et al., 2009).

---

<sup>16</sup> "Material - generalmente metal - cuya estructura electrónica le permite conducir la corriente eléctrica a bajas temperaturas o temperatura ambiente; su resistividad al paso de la corriente eléctrica es muy baja." (Farrera, s.f.)

**1.2.4.1.8 Etiqueta o bolas de identificación por radiofrecuencia.** Estos marcadores emplean la nueva tecnología *radio frequency identification* (RFID) [identificación por radiofrecuencia<sup>17</sup>] que está desarrollándose rápidamente como un medio para ubicar infraestructura subterránea en un punto específico y caracterizarla (Sterling et al., 2009).

Los marcadores pueden contener números de identificación únicos preestablecidos, programarse con información de la infraestructura subterránea, distinguirse de manera visual a través de su código de color, etc. Es por eso que este método permite encontrar rápidamente un marcador enterrado usando un escaneo superficial, verificar los detalles de la infraestructura subterránea contenidos en la etiqueta RFID, en caso se necesite exponer físicamente la infraestructura subterránea se puede emplear un proceso de excavación localizado, etc. (Sterling et al., 2009).

## 1.2.5 Equipos de posicionamiento

De manera posterior a la detección, rastreo y marcado de infraestructura subterránea es posible realizar la determinación y registro de su posición exacta.

Para determinar la posición de una infraestructura subterránea puede emplearse la topografía<sup>18</sup>. La cual, para que sea más rápido y económico recopilar datos más precisos, aplica métodos, ejecuta procedimientos y está empleando nuevos instrumentos y equipos (Anspach & Murphy, 2012).

Existen equipos empleados en topografía que son considerados como equipos de posicionamiento, pues una de las tareas que permiten realizar es determinar de manera precisa la posición (coordenadas) de algún elemento deseado, en este caso, una infraestructura subterránea.

Entre los equipos de posicionamiento, se encuentran:

**1.2.5.1 Estaciones totales.** La estación total es un instrumento que incorpora un teodolito<sup>19</sup> digital, un distanciómetro<sup>20</sup> y un microprocesador<sup>21</sup> integrado; además, en algunos casos, posee un colector de datos integrado (tarjeta interna) o interconectado (a través de un cable o de manera inalámbrica) (Mohammad, 2008).

Según Wolf y Brinker (1997), la estación total permite determinar las coordenadas de los puntos del terreno; además, puede realizar otras operaciones, tales como obtener promedios de múltiples mediciones de ángulos y distancias, efectuar algunas correcciones a las mediciones tomadas (por ejemplo: corrección por presión y temperatura, corrección por curvatura o

<sup>17</sup> Es una tecnología que permite la identificación de objetos a distancia sin necesidad de una línea de visión, su sistema se compone de una antena, un transceptor (con decodificador) y un transponedor (etiqueta de radiofrecuencia) programado con información única (Kaur, Sandhu, Mohan, & Sandhu, 2011).

<sup>18</sup> “Es la ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre, en, o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta” (Buckner, 1983; como lo citó Farjas, s.f.).

<sup>19</sup> Instrumento que permite medir ángulos verticales y horizontales (Mohammad, 2008).

<sup>20</sup> Instrumento electrónico que permite calcular la distancia entre dos puntos mediante la emisión de una señal de láser (Geoavance, 2018).

<sup>21</sup> “Circuito constituido por millares de transistores integrados en un chip, que realiza alguna determinada función de las computadoras y otros dispositivos electrónicos” (Real Academia Española, 2021).

esfericidad terrestre y refracción, etc.), obtener las componentes horizontal y vertical de la distancia inclinada, etc. (como se citó en Pachas, 2009).

El modo de operar de estos equipos es el siguiente: se orienta la estación total en un punto de coordenadas conocidas y con un azimut<sup>22</sup> de referencia conocido (este dato se introduce en el equipo); luego, el equipo transmite una señal electromagnética a un prisma ubicado en el punto a medir y desde allí regresa (con esto mide la distancia). Con estos datos y los valores de correcciones que se introducen al instrumento, este realiza una serie de cálculos y proporciona las coordenadas del punto que se tiene como objetivo (Pachas, 2009).

Actualmente, existen diversos tipos de estaciones totales. Ferreira & Santos (2011), describen algunas de ellas:

**1.2.5.1.1 Estaciones totales convencionales.** Son aquellas en que se debe mover manualmente el eje del equipo para apuntar al prisma reflector que está colocado en el punto a medir.

**1.2.5.1.2 Estaciones totales servo y automáticas.** Las estaciones servo tienen adicionado un motor mecánico que permite realizar movimientos angulares motorizados tanto en el eje vertical como en el horizontal; funcionan a través de un controlador integrado y son más útiles en el replanteo de coordenadas. Cuando una estación servo puede reconocer un prisma reflector, se conoce como estación automática. Las estaciones automáticas pueden usar ondas de radio o tecnologías de imagen para detectar la posición del objetivo; una vez detectado, la estación puede usar el motor mecánico para moverse y apuntar al objetivo.

**1.2.5.1.3 Estaciones totales robóticas.** A diferencia de las estaciones servo que funcionan con un controlador integrado, estos equipos funcionan con un controlador externo que se comunica con la estación a través de un enlace de radio; es decir, sin que haya una conexión física.

**1.2.5.1.4 Estaciones totales de monitoreo.** Son aquellas que combinan el desarrollo de un software<sup>23</sup> de monitoreo y una estación total automática.

**1.2.5.1.5 Estaciones totales de imágenes.** Son aquellas estaciones totales que poseen una cámara incorporada.

**1.2.5.2 Estaciones espaciales.** Estos equipos combinan la precisión de la topografía tradicional con la capacidad de capturar formas y detalles, e incluyen video integrado y escaneo 3D (Anspach & Murphy, 2012).

**1.2.5.3 Sistema de posicionamiento global.** *Global positioning system* (GPS) [sistema de posicionamiento global] es un sistema cuyo objetivo es determinar las coordenadas espaciales de cualquier punto, estático o en movimiento, ubicado sobre la superficie terrestre, en base a un sistema de referencia mundial (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).

<sup>22</sup> “Dirección dada por el ángulo horizontal entre el norte y una la línea, se mide a partir del norte en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj y su valor varía entre 0° y 360°” (Zamarripa, 2010).

<sup>23</sup> Es la parte lógica (intangibles) de un sistema informático. Se refiere al conjunto de programas e información relacionada al desarrollo y mantenimiento del mismo (Garrido, 2006).

Este sistema está conformado por: satélites, el sistema de control terrestre de los satélites y receptores especiales que reciben las señales enviadas por los satélites para determinar las coordenadas del punto sobre el que se encuentran (Farjas, s.f.).

Los receptores especiales que constituyen el sistema GPS, pueden emplearse para distintas aplicaciones. Pallejá et al. (1996), describen algunos tipos de estos receptores como se presenta a continuación:

- (R1) Navegadores simples. Son los tipos de receptores GPS más económicos y poseen la capacidad de leer el código C/A<sup>24</sup>. Su pantalla muestra las coordenadas geográficas en el sistema WGS84 (sistema geodésico de referencia en GPS).
- (R2) Receptores de código C/A con posibilidad de posicionamiento diferencial. Además de las características de los receptores anteriores, almacenan los datos observados para facilitar su procesamiento posterior con alguno de los algoritmos del modo diferencial<sup>25</sup>.
- (R3) Receptores de código C/A (similares a los anteriores). Disponen de otras características, entre ellas: lectura (con ciertas limitaciones) de una fase de la portadora<sup>26</sup>. Su capacidad de resolver ambigüedades es menos potente que la de los equipos geodésicos (a partir del R4), asimismo, sus osciladores tienen menor estabilidad que los de dichos equipos.
- (R4) Receptores geodésicos con medición de fase L1. Son receptores que funcionan con la onda portadora L1 para acumular información. Luego de procesar dicha información, se pueden obtener precisiones relativas centimétricas y submétricas para distancias de hasta 30 km y 50 km, respectivamente. Entre otras tareas que permiten realizar: calcular vectores con su evaluación estadística, ajustar redes, etc.
- (R5) Receptores geodésicos de doble frecuencia. Trabajan con la portadora L1 y también con la L2, de esa manera se podrá reducir ciertos errores del sistema, especialmente aquellos que surgen con la propagación de la señal en la ionosfera, con esto, se podrán obtener las mayores precisiones con el GPS. Con este tipo de equipos se pueden llegar a precisiones por debajo del centímetro para distancias de hasta 10 km, y por debajo del metro para distancias de hasta 500 km.
- (R6) Receptores geodésicos de doble frecuencia y doble código. Reúnen las características de los receptores anteriores, permitiendo adaptarse a diversos usos, especialmente en tiempo real, pues pueden resolver las ambigüedades rápidamente.
- (R7) Receptores diferenciales precisos. Aquí trabajan 3 o más equipos R6. En tiempo real, pueden llegar a obtener precisiones centimétricas.

<sup>24</sup> Código de adquisición común, que permite medir las distancias entre satélites y receptor. Modula la fase de la portadora L1 (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).

<sup>25</sup> “Mide una línea base (o base línea), desde un punto fijo (estación de referencia con coordenadas conocidas) a un punto desconocido (móvil)” (Farjas, s.f.).

<sup>26</sup> Las portadoras L1 (modulada por los códigos C/A y P) y L2 (modulada por el código P), son ondas emitidas por todos los satélites en la banda L (1000 Mhz a 3000 Mhz) e incluyen un mensaje de navegación (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).

Además de conocer los tipos de equipos receptores disponibles, es conveniente conocer los tipos y métodos de posicionamiento GPS que se aplican, pues de acuerdo al método de posicionamiento a aplicar, se emplea un equipo en particular (o varios de ellos) para definir la posición (coordenadas) de un punto.

Existen algunos tipos de posicionamiento en GPS, es decir, varias maneras de determinar la posición de un punto de la superficie terrestre. Pachas (2010), presenta dos tipos de posicionamiento: absoluto y relativo (también conocido como diferencial), tal como se muestra:

- Posicionamiento absoluto. Emplea las medidas de pseudodistancia<sup>27</sup> procedentes del código C/A o código P<sup>28</sup> para determinar la posición del punto (Peñañiel & Zayas, 2001). Se realiza con un solo receptor que es colocado en el punto en que se va a determinar la posición. (McCormac, 2008; como se citó en Pachas, 2010).
- Posicionamiento diferencial. Se trabaja con dos o más instrumentos GPS y se va calculando el incremento de coordenadas desde el receptor de referencia estacionado al receptor móvil (Peñañiel & Zayas, 2001). El posicionamiento diferencial, de acuerdo al modo de aplicación, puede subdividirse en algunos métodos, tales como:
  - Métodos estáticos. Son los siguientes:
    - Método estático. Es uno de los métodos diferenciales más comunes para determinar puntos con alta precisión (Hatzopoulos, 2008). En este método se estacionan dos o más receptores, con un tiempo de observación a los satélites de al menos 30 minutos (Farjas). Uno de los receptores se ubica en una posición conocida, determinada con anterioridad; y el otro, u otros, se colocan en el punto donde se requiere conocer las coordenadas (McCormac, 2008; como se citó en Pachas, 2010). Hatzopoulos (2008) añade que los receptores utilizados con este método suelen ser de frecuencia simple o de doble frecuencia.
    - Método estático rápido. En este método se trabaja con una estación de referencia, que observa y almacena datos de los satélites que visualiza; y un receptor móvil, que se estaciona en el punto objetivo (Peñañiel & Zayas, 2001). El tiempo de observación para este método es de 5 a 20 minutos y los equipos empleados son receptores de doble frecuencia (Hatzopoulos, 2008).
  - Métodos cinemáticos. Son los siguientes:
    - Método cinemático. En este método se trabaja con un receptor de referencia, en posicionamiento estático sobre un punto conocido; y un receptor móvil (rover), que se desplaza en un vehículo, bote, plataforma, etc., e inicia su actividad a través de una observación en modo estático rápido o partiendo de un punto conocido (Farjas, s.f.).
    - Método *stop and go*. Es un método parecido al cinemático, sin embargo, en este método el equipo móvil hace una parada de algunos segundos en cada

<sup>27</sup> Es una medición satelital de distancias, resultante de multiplicar el tiempo que se necesita para que la señal de radio viaje desde satélite al receptor, por la velocidad de la luz (Farjas, s.f.).

<sup>28</sup> “Código de precisión transmitido en las frecuencias L1 y L2” (Pallejá et al., 1996).

punto que se va a determinar la posición, se almacena la información del punto y se avanza al siguiente punto sin perder la señal de los satélites (Peñafiel & Zayas, 2001).

- Método *real time kinematic* (RTK) [navegación cinética satelital en tiempo real]. A través de este método se obtienen coordenadas en tiempo real. El método RTK, se basa en un radioenlace<sup>29</sup> que tiene lugar entre el equipo de referencia (en modo estático en un punto conocido) y el receptor móvil (rover). Ambos equipos poseen un radiomodem que, en el receptor de referencia, permite la transmisión de datos, y, en el receptor móvil, permite la recepción de datos. Así, el receptor móvil, realizando cálculos con la información recibida y con los datos de su posición, puede calcular las coordenadas del punto o los puntos deseados (Peñafiel & Zayas, 2001).

El sistema GPS, desarrollado en EE. UU., está considerado dentro de los *global navigation satellite systems* (GNSS) [sistemas globales de navegación por satélite], los cuales incluyen algunos otros sistemas, entre ellos: *GLONASS* de Rusia, *GALILEO* de Europa y *COMPASS* de China. Estos, así como el GPS, están orientados a definir el posicionamiento de los puntos sobre la superficie terrestre. Poseen características y funcionamiento similares a los del GPS, con algunas diferencias, tales como la cantidad de satélites que tienen disponibles, las órbitas en que éstos circulan, las frecuencias y señales que los satélites transmiten, etc. Sin embargo, el sistema GPS es uno de los que se usa con mayor frecuencia (Rao, 2010).

Rao (2010) señala además que la combinación de los sistemas mencionados podría proporcionar resultados mucho más precisos debido a la mayor cantidad de satélites visibles.

Con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se incrementa la disponibilidad de equipos, métodos y sistemas disponibles para el posicionamiento. Es por eso, que además de los equipos, métodos y sistemas mencionados, existen algunos otros (se puede encontrar más información en Jeong et al. [2003] y Mohammad [2008]); sin embargo, estos pueden resultar poco útiles para el posicionamiento de infraestructura subterránea, más costosos o su uso es poco frecuente. El uso de los equipos de posicionamiento, los métodos y sistemas empleados, dependerán de algunos factores tales como el costo del equipo, la precisión, la rapidez, la eficiencia, el área donde se va a trabajar, etc. (Mohammad, 2008).

### 1.2.6 Gestión de datos

Además de conocer los métodos, procedimientos, técnicas y equipos que permiten recopilar la información acerca de una infraestructura subterránea (localización, posición, características, etc.) es necesario determinar cómo es que va a administrarse dicha información, es decir: determinar la calidad de los datos, definir cómo se deben representar y almacenar los datos, quiénes deben manejar esos datos, de qué manera se puede tener acceso a ellos, procurar que haya una actualización constante de información sobre el estado de la infraestructura subterránea, etc. Es por eso que en este apartado, se revisarán los procedimientos, herramientas

---

<sup>29</sup> “Conexión entre dos puntos mediante ondas radioeléctricas” (Real Academia Española, 2021).

o métodos que se han desarrollado y están disponibles para la gestión de la información sobre infraestructura subterránea.

Para organizar la información sobre infraestructura subterránea, se puede recurrir al uso de algunos softwares, tales como GIS y CADD junto con la tecnología GPS, ya que permitirán desarrollar, organizar y actualizar una base de datos de manera sencilla, económica y confiable. Es importante que la información recopilada sobre infraestructura subterránea existente con la que se va a implementar la base de datos sea precisa, completa y esté actualizada, pues esto permitirá localizar dicha infraestructura en el futuro (Sterling et al., 2009).

Sterling et al. (2009) añaden que así como es importante aplicar adecuadamente los métodos y procedimientos para la detección, posicionamiento, etc. y emplear apropiadamente los equipos en dichas tareas para obtener registros confiables; también resulta importante la transferencia correcta de datos desde el dispositivo con el que se obtienen hacia la computadora.

Además de estas sugerencias, existen algunas otras consideraciones importantes para una adecuada toma de datos y posterior gestión y clasificación de la información de infraestructura subterránea, tales como:

**1.2.6.1 Responsables de la elaboración de registros de la información de infraestructura subterránea.** Con el paso de los años, esta labor ha sido desempeñada por distintas personas o entidades, con diferentes propósitos. Sterling et al. (2009) presentan algunas situaciones ocurridas en EE. UU.:

- Anteriormente, los propietarios de infraestructura subterránea se encargaban de registrar la información de sus propias redes. Para esto, principalmente, tomaban como referencia las características topográficas existentes, puesto que un estudio más profundo implicaba mayor costo y tiempo, y usualmente no se contaba con personal de la propia empresa para realizar esta labor. Generalmente, dicha información se recopilaba para determinar en qué lado de la calle se debía comenzar a excavar al realizar nuevas conexiones a las redes públicas, mantenimiento, etc.
- En ocasiones, quienes promueven o ejecutan proyectos de diseño y construcción pueden instalar infraestructura subterránea como parte de una obra de urbanización, y luego transferir de modo notarial la infraestructura al propietario o a la empresa encargada de dicha infraestructura subterránea. En estos casos, es posible que el registro de información sobre la infraestructura subterránea sea realizado por el ejecutor del proyecto.
- En ciertos estados, se han establecido leyes para que los propietarios de infraestructura subterránea sean las entidades que generen y den mantenimiento a los registros de información de su infraestructura que esté localizada en la vía pública, y que cuando se solicite, se proporcione dicha información a otras entidades públicas.
- Algunos municipios y departamentos de transporte estatales, por sí mismos, han empezado a registrar información de infraestructura subterránea, con la finalidad de emplearla como una herramienta de gestión de derecho de vía.

**1.2.6.2 Recopilación y clasificación de la información topográfica de infraestructura subterránea durante y después de su instalación.** Una infraestructura subterránea puede instalarse a zanja abierta o empleando tecnologías sin zanja<sup>30</sup>. En el momento de la instalación es posible tomar datos topográficos sobre dicha infraestructura, teniendo en cuenta que:

- Para adquirir información topográfica sobre una infraestructura durante una instalación a zanja abierta, existen diversos equipos y métodos (se mencionaron algunos de ellos en el apartado anterior). Para facilitar este registro pueden emplearse diversos sistemas de coordenadas, tales como coordenadas de plano de estado<sup>31</sup>, coordenadas angulares latitud y longitud, etc.; además, puede especificarse y estandarizarse la precisión topográfica para todos los datos topográficos de infraestructura subterránea que vayan a ser registrados (Sterling et al., 2009).
- Durante una instalación a zanja abierta la infraestructura está expuesta, por ello, es posible considerar equivocadamente que los datos topográficos obtenidos, automáticamente son precisos y correctos. Sin embargo, para poder afirmar esto, los datos adquiridos deben contar con la aprobación de un profesional certificado. Además, se debe recordar que la precisión de los datos depende de algunos factores, como: el tipo de equipo, el método empleado, etc. Es importante señalar que una vez que se ha verificado la precisión de la información recopilada durante la instalación, dichos datos pueden clasificarse dentro del NC–A (Sterling et al., 2009).
- Tomar datos topográficos de una infraestructura que se está instalando con tecnologías sin zanja es más complejo. Sin embargo, existen algunas maneras de registrar esta información a través del monitoreo de unos cabezales (sondas) que siguen la ruta de la perforación por donde es instalada la tubería, por ejemplo:
  - En la instalación de una infraestructura con tecnologías sin zanja se emplean diversos equipos y herramientas, entre ellos: herramientas de perforación subterránea. Para manejar una herramienta de perforación subterránea y seguir su movimiento se utilizan giroscopios<sup>32</sup>, acelerómetros<sup>33</sup>, magnetómetros, etc. Los giroscopios y acelerómetros siguen el movimiento del cabezal de la herramienta de perforación con respecto a un punto de partida de referencia y al campo gravitacional de la tierra; y los magnetómetros siguen el movimiento del cabezal de perforación con respecto al campo magnético de la tierra. Para trazar un mapa sobre la perforación que se ha realizado y que éste tenga una referencia global, se deben emplear GPS u otros métodos topográficos. Estos permitirán conocer la

<sup>30</sup> Conocida también como trenchless technology (en inglés), permite construir nuevas redes, y rehabilitar y sustituir redes existentes, con mínimas demoliciones y excavaciones que implican reducciones notorias en materiales de relleno y de pavimentaciones (Elizondo, 2019).

<sup>31</sup> Es un sistema de coordenadas que sirve de referencia común para topógrafos y cartógrafos donde se manejan bases de datos municipales o de condados en EE.UU. También usado en Puerto Rico (Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2016).

<sup>32</sup> Dispositivos que permiten medir velocidades angulares (Dadafshar, 2014).

<sup>33</sup> Dispositivos electromecánicos que miden la aceleración lineal a lo largo de uno o varios ejes (Dadafshar, 2014).

posición real del cabezal de perforación, al comienzo y al final del agujero (Sterling et al., 2009).

- Cuando se tiene acceso al terreno que está sobre el agujero de perforación puede emplearse el sistema walkover. Para emplear este sistema de localización, una persona debe caminar sobre el suelo a lo largo de la ruta de perforación con un dispositivo receptor que detecta la señal de una sonda de transmisión colocada en el cabezal de perforación (Sterling et al., 2009).

Es importante tener en cuenta que al llevar a cabo estos procedimientos puede haber alguna interferencia magnética o eléctrica que afecte la precisión de la información obtenida. Además, aunque hay algunas maneras disponibles de obtener la información, esta no se consigue a través de una medición directa. Es por eso que, en este caso, dicha información difícilmente puede clasificarse en el NC-A (Sterling et al., 2009).

Si se necesita obtener información de infraestructura subterránea después de haber sido instalada y enterrada, pueden emplearse los diversos métodos de detección y rastreo de infraestructura subterránea (descritos anteriormente). Si los métodos y procedimientos se ejecutan bajo la supervisión de un profesional calificado y siguiendo las demás recomendaciones de los documentos de SUE (descritos anteriormente) los datos obtenidos pueden considerarse dentro del NC-B (Sterling et al., 2009).

**1.2.6.3 Representación y almacenamiento de información sobre infraestructura subterránea.** Anspach & Murphy (2012) señalan que la información de infraestructura subterránea usualmente se representa a través planos de ingeniería y documentos relacionados que pueden ser elaborados a mano o en computadora.

Años atrás, la mayoría de planos se dibujaban a mano en diversos tipos de papel. En ellos se colocaba información que puede resultar de gran importancia hasta la actualidad. Es por eso que, para visualizarlos, almacenarlos, buscarlos, copiarlos, etc. de manera más sencilla existe la posibilidad de escanearlos y guardarlos de manera electrónica usando el formato TIFF o PDF (Anspach & Murphy, 2012).

Además de esto, con el paso del tiempo, se han ido desarrollando diversas herramientas que permiten representar directamente en una computadora la información de una infraestructura subterránea. Entre ellas están:

**1.2.6.3.1 Computer aided design and drafting (CADD).** Este software permite el diseño y la representación de objetos de manera gráfica proporcionando una manera más sencilla de visualizar la información (State of Florida Department of Transportation, 2020).

Anspach & Murphy (2012) describen algunas características de los archivos CADD, tales como:

- Representan gran cantidad de información sobre los componentes de la infraestructura subterránea, y para una mejor visualización, pueden simbolizar dichos componentes en capas que se pueden activar o desactivar.

- Progresivamente, proporcionan una mayor precisión de los dibujos en 3D y permiten trabajar con un sistema de coordenadas conocido.
- Los metadatos<sup>34</sup> se archivan en el encabezado, en la portada y en las cartas de presentación de los documentos CADD.
- Para reducir el tamaño y evitar alteraciones en los archivos CADD, estos pueden convertirse a formato TIFF o PDF.

Algunos programas CAD disponibles se describen a continuación:

*AutoCAD*. Es un programa que permite diseñar y dibujar en dos y tres dimensiones. Ofrece un espacio de trabajo, a través del cual, se pueden establecer unidades de medida y escalas del dibujo; dibujar líneas, polígonos, arcos, elipses y diversas figuras; definir capas<sup>35</sup> de dibujo con determinadas características para un mayor control del espacio de trabajo; colocar texto; acotar los dibujos; exportar e importar archivos; etc.; de manera eficaz (Gindis & Kaebisch, 2018).

*Microstation*. Es un software CAD orientado al diseño, generación, y edición de objetos y elementos gráficos en dos y tres dimensiones (Kemp, 2007). El espacio de trabajo de Microstation proporciona diversos comandos organizados en menú, cuadros de herramientas, etc.; permite crear dibujos usando líneas, círculos, curvas, polilíneas, etc; facilita la organización de la información mediante el uso de niveles o capas, y referencias; etc. (Bentley Systems Incorporated, 2009). Además, este software posee un formato original que le permite almacenar información geográfica (Kemp, 2007).

*WaterGEMS*. Es una aplicación que facilita la modelación hidráulica de los sistemas de distribución de agua, permitiendo un mejor análisis, diseño y optimización de los mismos (Bentley Systems Incorporated, 2017).

Bentley Systems Incorporated (2017) mencionan ciertas características de WaterGEMS, entre ellas:

- Puede ejecutarse de manera autónoma y también desde: AutoCAD, ArcGIS<sup>36</sup> y Microstation.
- Brinda las herramientas necesarias para colocar en el modelo: reservorios, tuberías, válvulas y otros elementos que pueden conformar en el sistema.
- Permite asignar valores de diámetros de tubería, elevaciones, demandas, etc.
- Permite crear diversos escenarios (alternativas de diseño), en los que pueden variar: diámetros de tubería, cantidad de elementos del sistema, etc.; para realizar un análisis de resultados y escoger el más apropiado que cumpla los criterios de diseño.
- Facilita el manejo de capas de dibujo para una mejor visualización del espacio de trabajo; asimismo, permite generar perfiles, gráficos dinámicos, etc. para una mejor visualización de los resultados.

<sup>34</sup> Información que proporciona características de los datos (Nodo Central de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú, s.f.).

<sup>35</sup> Permiten agrupar los dibujos en categorías separadas, de acuerdo a alguna característica en común. Para una mejor visualización es posible que las capas se mantengan visibles, invisibles o bloqueadas en el espacio de trabajo (Gindis & Kaebisch, 2018).

<sup>36</sup> Software GIS.

*SewerCAD*. Es una aplicación que permite modelar y diseñar sistemas de alcantarillado sanitario de manera sencilla (Bentley Systems Incorporated, 2017).

Bentley Systems Incorporated (2017) presentan diversas características que posee *sewerCAD*, algunas de ellas son:

- Puede ejecutarse de manera autónoma y también desde AutoCAD y Microstation.
- Proporciona funciones de conversión desde CAD, GIS y diversas bases de datos.
- Permite analizar las condiciones de los caudales, ya sean libres o a presión, a través un algoritmo de solución para flujo gradualmente variado.
- Permite asignar y estimar las cargas de aguas residuales, infiltraciones y afluencias.
- Sugiere los diámetros y profundidades de las estructuras, de manera eficiente, para evitar sobrecostos en la excavación e instalación de tuberías.
- Permite crear diversos escenarios para un posterior análisis y toma de decisiones. Por ejemplo: facilita la evaluación de estrategias de funcionamiento de las bombas, situaciones de sobreflujo con caudales futuros de aguas residuales, etc.

Se puede encontrar más información en Bentley Systems Incorporated (2017).

**1.2.6.3.2 Geographic information systems (GIS).** Son sistemas que permiten recopilar, analizar, mapear, etc. información geográfica de manera digital (Grinderud et. al, 2009). GIS representa una herramienta práctica en el entorno de la ingeniería debido a la mejora en la precisión de sus datos y a la compatibilidad que tiene con el software CADD. Es por eso que varias compañías de infraestructura subterránea ya utilizan GIS para almacenar, recuperar y analizar sus datos (Anspach & Murphy, 2012).

Prakash (2001) explica brevemente los diversos subsistemas en que se divide el sistema GIS, entre ellos: ingreso de datos (permite capturar, recopilar y transformar datos derivados de documentos topográficos, mapas impresos, fotografías aéreas, etc. de manera digital); recuperación, edición y almacenamiento de datos (organiza los datos para que puedan actualizarse de manera rápida y precisa, y que el usuario pueda disponer de ellos y analizarlos); análisis y manipulación de datos (permite ejecutar procedimientos, tales como transformaciones geométricas, coincidencia de bordes, funciones de conectividad, etc. para obtener información derivada); y visualización y salida de datos (involucra la generación de mapas, informes tabulares, gráficos, etc. que representan la información).

Entre las ventajas que GIS ofrece, Anspach & Murphy (2012) describen algunas que están relacionadas con infraestructura subterránea, por ejemplo:

- GIS permite realizar análisis y consultas de ubicaciones, atributos y metadatos. De este modo, luego de consultar por algún componente específico de infraestructura subterránea, se pueden extraer dibujos, fotos, especificaciones, etc. vinculados a dicho componente que brindan información adicional.
- GIS permite desarrollar modelos avanzados que proporcionen información sobre la dirección y los productos que circulan a través de una infraestructura subterránea. Con ello, puede planificarse la capacidad de la infraestructura, rastrear la posible fuente de contaminantes que están afectando el contenido de alguna red, etc.

Con el paso del tiempo, basándose en los sistemas GIS, se han desarrollado diversos GIS integrados, softwares, etc. con características similares, como se describen a continuación:

*ArcGIS*. Según ESRI (2002) ArcGIS es un sistema de información geográfica integrado que se compone de: ArcGIS Desktop (software con aplicaciones GIS avanzadas), ArcSDE (interfaz para administrar bases de datos geográficas) y ArcIMS (software que permite distribuir datos y servicios).

ESRI (2002) señala también algunas características de ArcGIS, entre ellas:

- Permite realizar diversas actividades GIS, por ejemplo: administración, edición y automatización de datos, mapeo, análisis geográfico, etc.
- ArcGIS es un sistema de partes, por eso, permite a los usuarios GIS organizar varias partes de este sistema para desarrollar sistemas de usuario individual, grupos de trabajo en grandes empresas, sistemas para la comunidad global, etc.
- Posee un modelo de datos geográficos de muy buen nivel para representar información espacial.

Se puede encontrar más información en ESRI (2002).

*Smallworld*. General Electric (2015) describe a Smallworld como una plataforma que facilita la gestión de redes, la evaluación de oportunidades estratégicas de mercado, la planificación y diseño de sistemas de transmisión y distribución de electricidad, agua, gas, etc.

El documento de General Electric (2015) presenta también diversos productos que conforman la plataforma Smallworld, algunos de ellos son:

- *Smallworld design manager* [gestor de diseño de Smallworld]. Permite que los procesos de planificación y diseño se desarrollen con mayor rapidez proporcionando herramientas de diseño, estimación de costos, control de procesos, etc.
- *Smallworld geospatial analysis* [análisis geoespacial de Smallworld]. Trabaja con bases de datos geoespaciales<sup>37</sup> y de diversos tipos en procesos operativos y estratégicos para la gestión de servicios.
- *Smallworld Core spatial technology* [tecnología espacial de Smallworld Core]. Está diseñada para acceder a diversas fuentes de datos de servicios en la nube y proporciona un entorno de desarrollo de aplicaciones y modelado de datos integrado.

Se puede encontrar más información en General Electric (2015).

*GeoMedia*. Es una plataforma de administración de GIS que permite incorporar, procesar y analizar datos de diversas fuentes para obtener información de calidad (Integrgraph Corporation, 2014).

Integrgraph Corporation (2014) menciona algunas características de GeoMedia, tales como:

- Permite el acceso a archivos que contienen información geoespacial en diferentes formatos (CAD, ArcView, archivos de texto simples, etc.), dando la posibilidad de integrarlos y añadirlos en una única fuente de alta calidad.

---

<sup>37</sup> Información sobre la ubicación geográfica, características y límites terrestres. (Folger, 2009)

- Permite que gran cantidad de usuarios dentro de las empresas puedan compartir de manera sencilla la información geoespacial, ya sea a nivel de departamento o de la empresa en general.

Se puede encontrar más información en Integraph Corporation (2014).

*MapInfo Pro*. Es una herramienta de mapeo a través de computadora que permite realizar análisis geográficos empleando datos desde hojas de cálculo como Excel, bases de datos como Access, softwares CADD, etc; facilita la representación los datos a través de mapas, cuadros y gráficos para un mejor análisis; brinda la posibilidad de compartir y exportar los datos a diversos formatos, etc. (Pitney Bowes Software Inc., 2015).

Se puede encontrar más información en Pitney Bowes Software Inc. (2015).

**1.2.6.3.3 Building Information Modeling (BIM).** Según Nawari & Kuenstle (2015) *Building Information Modeling* (BIM) [Modelado de información de construcción] es un proceso que abarca nuevos conceptos y prácticas mejorados con tecnologías de la información y estructuras comerciales innovadoras que disminuyen desperdicios e ineficiencias en la industria de la construcción.

Eastman et al. (2011) mencionan diversas ventajas obtenidas con el uso de BIM, entre ellas:

- Al proporcionar información confiable, disminuye considerablemente los errores, reduce los plazos de entrega, simplifica los procesos de construcción, etc.
- Permite que haya un cambio en los modelos de entrega de los proyectos, de una manera tradicional a una manera más dinámica en diseño y construcción.
- Contribuye a que los procedimientos de diseño y construcción estén más integrados, permitiendo obtener edificios de mejor calidad a un costo menor y con duraciones de proyecto reducidas.

Anspach & Murphy (2012) añaden que:

- A lo largo del ciclo de vida de un edificio, BIM permite realizar análisis relacionados con la estimación de costos, detección de conflictos, requerimiento de materiales, eficiencia ambiental y otros factores.
- Con el incremento del uso de BIM se están implementando herramientas para colaborar en la planificación y diseño de infraestructura subterránea (Ball, 2011).

**1.2.6.3.4 Bentley Subsurface Utility Engineering.** Bentley<sup>38</sup> Subsurface Utility Engineering emplea la tecnología OpenRoads<sup>39</sup> para proporcionar un conjunto de herramientas con funciones 3D inteligentes que permitan construir modelos de la zona subterránea sobre la que se va a trabajar (Bentley Systems Incorporated, 2014).

<sup>38</sup> Es una empresa dedicada al desarrollo de software que contribuye a la creación y gestión de la infraestructura mundial, abarcando: carreteras, aeropuertos, plantas industriales, redes de servicios públicos, etc. (Bentley Systems Incorporated, 2021).

<sup>39</sup> Tecnología que brinda un entorno de modelación completo para respaldar el diseño y análisis desde la formulación de las ideas hasta la construcción del proyecto (Bentley Systems Incorporated, 2021).

Bentley Systems Incorporated (2014) describen diversas facilidades de Bentley Subsurface Utility Engineering, tales como:

- Permite la creación automática de modelos 3D a partir de información de dispositivos CAD, datos GIS, hojas de cálculo Excel, etc.
- Permite la creación de modelos 3D de infraestructura de servicios públicos (cables, tuberías, válvulas, etc.) con funciones de drenaje y aguas residuales, y considera reglas, relaciones, limitaciones, etc.
- Proporciona fácil edición del modelo, pues muestra controles de ajuste y campos de entrada con sólo colocar el cursor sobre el dibujo.
- Facilita el intercambio de información, de modo bidireccional, entre el diseño y la base de datos.
- Permite la visualización del diseño en plano de planta, perfiles, secciones y 3D.
- Toma en cuenta las pautas establecidas por la ASCE 38-02 relacionadas con los niveles calidad de la información de la infraestructura subterránea.
- Permite identificar conflictos entre los elementos de los servicios públicos subterráneos para poder realizar informes, consultas y ediciones.
- Permite importar proyectos de infraestructura subterránea desde algunos softwares ofrecidos por Bentley, entre ellos: InRoads Storm and Sanitary<sup>40</sup>, GEOPAK Drainage<sup>41</sup>, etc.

Como se ha mencionado, existen diversos programas, aplicaciones, plataformas, etc. orientadas al modelamiento y representación de la información que cada vez son más compatibles, pues los estándares comerciales que definen la estructura y el formato de los datos de la infraestructura subterránea han propiciado tal compatibilidad. De esta manera, los datos disponibles podrán manejarse sin complicaciones con un software u otro, según resulte más efectivo (Anspach & Murphy, 2012).

Asimismo, poder representar y almacenar la información en formato digital permite que sea más fácil y rápido, recibirla y enviarla de manera electrónica. Y gracias al incremento del uso de los dispositivos móviles informáticos, a los avances en internet en cuanto a la seguridad, etc.; el intercambio de información puede realizarse de manera sencilla y con menos temor a que los datos confidenciales lleguen a un destino equivocado (Anspach & Murphy, 2012).

**1.2.6.4 Organización de la información existente.** Una manera de complementar la información de infraestructura subterránea recién recopilada es recurrir a los registros existentes teniendo en cuenta que es necesario verificar su calidad<sup>42</sup> y precisión antes de utilizarlos. La calidad y precisión requeridas en los registros dependerán del propósito de cada usuario; además es conveniente saber dónde pueden encontrarse los registros, mantener los registros seguros y con acceso disponible, etc. (Anspach & Murphy, 2012).

<sup>40</sup> Es una aplicación orientada al diseño, análisis, gestión y ampliación de sistemas de captación de aguas superficiales y residuales (Bentley Systems Incorporated, 2003).

<sup>41</sup> Es una aplicación que permite diseñar y analizar sistemas de drenaje pluvial (Florida Department of Transportation, 2016).

<sup>42</sup> Abarca factores tales como vigencia / actualidad, descripción de atributos, conformidad con especificaciones, precisión, metadatos, etc. (FAA, 2009, como se citó en Anspach & Murphy, 2012).

Anspach & Murphy (2012) señalan algunos procedimientos que pueden emplearse en la organización de registros existentes, entre ellos:

- Disponer los registros de manera digital (documentos escaneados y archivos CADD) para que los usuarios pueden acceder a ellos desde cualquier ubicación de manera segura.
- Elaborar índices de los registros indicando a qué área corresponden, de dónde provienen, su antigüedad, etc.
- Referenciar de manera geográfica los planos de infraestructura subterránea, a través de GIS.

Además, Anspach & Murphy (2012) describen la elaboración de *utility composite records* (UCR) [registros compuestos de infraestructura subterránea] como otra manera de organizar los datos subterráneos existentes.

Los UCR se pueden desarrollar en dos formatos básicos: CADD y GIS, y proporcionan un medio único que muestra los mejores datos de ubicación de infraestructura subterránea que se tengan disponibles con diversos atributos de la misma como sea posible. Para esto se necesita de un experto calificado: puede ser un ingeniero de infraestructura subterránea; esta persona decidirá qué datos son los mejores, y a medida que se genere nueva información de infraestructura subterránea (proveniente de una fuente confiable), deberá contrastar dicha información con la antigua para determinar si el UCR debe cambiar (CSA, 2011; como se citó en Anspach & Murphy, 2012).

Según Anspach & Murphy (2012) algunas ventajas de los UCR son:

- Si se desarrollan en GIS, luego de almacenar los datos en un formato estandarizado e integral, pueden realizarse consultas, análisis e informes. Por ejemplo: puede agregarse información que indique el flujo y la capacidad de los componentes de una red subterránea para luego poder predecir una demanda máxima, aislar los ramales de la red en caso de interrupción, etc.
- Si se desarrollan en CADD, la información recopilada puede incluirse en planos que representen las condiciones de construcción incluyendo atributos, tales como tipo de infraestructura, material, fecha de instalación, método empleado para recopilar los datos, etc. Así, estos planos permitirán tomar decisiones efectivas de gestión de riesgos en el futuro en caso la infraestructura subterránea se encuentre en algún problema de construcción, por ejemplo.
- El registrar los datos en un sistema de gestión de documentos, en planos de infraestructura y/o un GIS, además de realizar un seguimiento del proyecto de inicio a fin, permite asegurar la conformidad y coherencia de la información final.

**1.2.6.5 Actualización de registros de información.** La infraestructura subterránea puede estar expuesta en un momento posterior al de su instalación por diversos motivos: mantenimiento o reparación de tuberías, instalación de nuevas conexiones domiciliarias, etc.; y también por trabajos de construcción en el área, relacionados con otras actividades, como son:

construcción de carreteras o reparación de las mismas. En estas situaciones, la información de la infraestructura expuesta puede verificarse y actualizarse según lo descrito en uno de los apartados anteriores: “Recopilación y clasificación de la información topográfica de infraestructura subterránea durante y después de su instalación” (Sterling et al., 2009).

**1.2.6.6 Confiabilidad de la información disponible.** En ocasiones, es difícil determinar la confiabilidad de la información, pues no siempre los datos son recopilados, verificados y referenciados por personas certificadas. Ante ello, se puede recurrir a la guía: ASCE 38-02 (descrita en apartados anteriores) que incorpora el atributo de niveles de calidad de información, permitiendo evaluar la confiabilidad de los datos. Dicha confiabilidad debe ser determinada por un profesional registrado, quien certificará los planos que contengan los registros donde se indiquen los niveles de calidad de la información y la precisión obtenida a partir de los procedimientos topográficos empleados (Anspach & Murphy, 2012).

Anspach & Murphy (2012) presentan diversas alternativas que pueden desarrollarse para proporcionar una mayor confiabilidad en los datos, tales como:

- Crear un *Utility mapping program* (UMP) [Programa de mapeo de infraestructura]: Puede emplearse cuando se tienen períodos incompletos de registro de información, cuando se desconoce la calidad de los registros o estos son de baja calidad. Implementar un UMP permite mejorar la calidad de los datos y mantenerlos actualizados. Desarrollar este programa implica obtener información de NC-B de toda la infraestructura (redes conocidas y desconocidas) dentro del límite del proyecto; investigar registros, usar equipos geofísicos, interpretar resultados, trazar mapas, etc. para presentarlos en informes; etc.
- Mapear la infraestructura subterránea empleando información de NC-B: Implica el uso de equipos y métodos geofísicos (algunos mencionados en el apartado “Métodos de detección de SUE”) para obtener información de la infraestructura subterránea del proyecto. Si no se pudiera representar la información empleando métodos geofísicos, se toma información de NC-C o NC-D.

**1.2.6.7 Recomendaciones para mantener actualizada la información.** Así como la precisión y confiabilidad son factores importantes en la gestión de datos, también es fundamental velar por la actualización constante de los mismos. En atención a ello, Anspach & Murphy (2012) proponen diversas recomendaciones para mantener actualizada la información sobre infraestructura subterránea, entre ellas:

- Desarrollar un programa de gestión de recursos para identificar y monitorear la infraestructura subterránea, no sólo para determinar su ubicación y características, sino también para realizar un seguimiento de sus condiciones, vida útil, costo de reposición, etc.
- Establecer un sistema de notificación que indique cuando alguna construcción involucre instalación, cambio o eliminación de infraestructura subterránea. La empresa que vaya a ejecutar el proyecto recibirá un permiso de construcción con la condición que emplee los procedimientos de SUE para infraestructura subterránea.

Al finalizar el permiso, dicha empresa presentará los planos de lo que se construyó indicando la ubicación de la infraestructura subterránea instalada o removida.

- Incorporar los procedimientos e información correspondientes los niveles de calidad de infraestructura subterránea a lo largo del desarrollo del proyecto, tomando como referencia lo descrito en el apartado: “Niveles de Calidad de SUE”.
- Fomentar el trabajo en equipo de las personas involucradas (contratista, consultor, propietario de la infraestructura, etc.) durante el desarrollo de un proyecto para identificar y resolver conflictos entre las actividades de construcción y la infraestructura subterránea existente y proyectada, elaborando previamente una lista de verificación que incluya las tareas a ejecutar. Algunas actividades contempladas pueden ser las siguientes: determinar posibles conflictos; estimar el costo, evaluar el impacto en la seguridad e identificar resoluciones potenciales a dichos conflictos; determinar quién es el responsable de los costos y la ejecución de la reubicación de la infraestructura en caso se necesite; etc.
- Implementar un sistema que responda a todas las solicitudes de localización y marcado de infraestructura subterránea antes de las actividades de construcción, similar a *One-Call system* [Sistema de llamada única<sup>43</sup>]. En zonas donde no se dispone de información, puede realizarse una investigación empleando los procedimientos y equipos ya descritos y dicha información se incorpora a la base de datos.

#### **1.2.6.8 Recopilación y manejo de información no relacionada con la ubicación.**

Recopilar información sobre la infraestructura subterránea, además de conocer su ubicación, implica determinar características de la misma, entre ellas: el tipo de infraestructura, el tipo de material, presión, voltaje, capacidad, estado de uso (inactivo, abandonado, fuera de servicio, activo), corrosión interna y externa, espesor de tubería, etc. (Sterling et al., 2009).

Sterling et al. (2009) describen algunas maneras de determinar diversas características de la infraestructura subterránea, entre ellas:

- Recurrir a registros existentes, pues permiten determinar parte de la información básica sobre una infraestructura subterránea de manera fácil y precisa.
- A través de la exposición directa, donde se dispone de acceso para determinar el tipo de material, el tipo de infraestructura, el tamaño, la condición, el voltaje, el espesor de la tubería, incluso se puede observar, inferir o medir directamente el número de cables o conductos empleando los instrumentos adecuados.
- Para inspeccionar oleoductos y gasoductos, se pueden combinar:
  - Inspección interna. Consiste en introducir un dispositivo denominado *smart pig*, que es propulsado por el flujo que circula en la tubería y permite conocer algunos datos físicos, como defectos de corrosión, abolladuras, características de la instalación (material, geometría, etc.), etc. La inspección interna también puede realizarse a través de inspecciones de pérdida de metal (puede detectarse a través

---

<sup>43</sup> Está descrito en páginas posteriores.

de fugas de flujo magnético<sup>44</sup> y técnicas ultrasónicas<sup>45</sup>), herramientas de detección de grietas (pueden ser herramientas de onda elástica<sup>46</sup>, de detección de grietas ultrasónicas<sup>47</sup> o transductoras acústicas electromagnéticas<sup>48</sup>), inspección geométrica (permiten obtener información sobre la forma física de la tubería, incluyendo obstrucciones, abolladuras, etc.), herramientas de mapeo (se puede usar con las otras herramientas ya descritas para encontrar anomalías con mayor precisión), etc.

- Prueba de presión hidrostática. Muestra la capacidad de una tubería para soportar el transporte de presión y permite detectar algunos tipos de agrietamiento y corrosión.
- Evaluación directa. Es un proceso donde se realizan varios estudios sobre el terreno, se recurre a la experiencia previa para predecir dónde puede ocurrir corrosión en la tubería, y se realizan mediciones de campo y monitoreo para conocer la condición de la tubería en dichas zonas.
- Emplear diversas técnicas de emisión acústica (mencionadas en apartados anteriores) para deducir si la infraestructura está inactiva, abandonada o fuera de servicio. Sin embargo, es recomendable que tal determinación sea confirmada por el propietario de la infraestructura subterránea.
- A través de la inspección visual dentro de las tuberías, empleando cámaras, dispositivos láser, etc. para determinar el espesor de la tubería, corrosión, estado de la superficie exterior, etc. Aunque a través de una inspección externa de la infraestructura expuesta se puede verificar estas características, la inspección interna es una manera menos intrusiva de definir diversas características de la infraestructura.

Existen métodos geofísicos, varios similares o iguales a los descritos en apartados anteriores, que pueden ser de mucha utilidad para determinar características de la infraestructura subterránea, entre ellos: GPR, equipos infrarrojos, inspección de rayos X, etc. (Sterling et al., 2009).

Las técnicas empleadas para determinar las características de las instalaciones dependerán de los recursos financieros disponibles, el riesgo que representa la existencia de una posible falla, los materiales de la tubería, etc. Así, las técnicas y equipos adecuados para caracterizar una tubería de acero larga de gran diámetro que transporta gas natural a alta presión, pueden diferir de las técnicas y equipos empleados en tuberías de distribución de agua de pequeño diámetro o tuberías de alcantarillado, por ejemplo (Sterling et al., 2009).

---

<sup>44</sup> Herramientas que inducen un campo magnético en la tubería y registran las anomalías del mismo a medida que viaja a lo largo del conducto (Sterling et al., 2009).

<sup>45</sup> Emplean transductores ultrasónicos para enviar y recibir ondas sonoras que viajan a través del espesor de la pared de la tubería, permitiendo un mapeo detallado de la misma (Sterling et al., 2009).

<sup>46</sup> Utilizan una rueda llena de líquido para inyectar ultrasonido en una dirección circunferencial con la finalidad de detectar y medir grietas en tuberías de gas (Sterling et al., 2009).

<sup>47</sup> Se basa en la generación de una onda de corte de 45° por incidencia angular de pulsos ultrasónicos a través de un medio de acoplamiento líquido, por ejemplo, el petróleo (Sterling et al., 2009).

<sup>48</sup> Generan ondas ultrasónicas dentro de la pared de la tubería sin necesidad de hacer contacto con ella (Sterling et al., 2009).

Del mismo modo que se maneja la información sobre la ubicación de la infraestructura subterránea se debe gestionar de manera eficaz la información sobre las diversas características de la misma, pues permitirá planificar un mantenimiento, rehabilitación, reemplazo, etc. en el momento pertinente, o decidir si se debe optar por diseñar un proyecto de renovación. Además, cuando la información disponible es adecuada y se utiliza de manera efectiva, se puede plantear reparar o reemplazar la infraestructura subterránea durante el proceso de planificación y diseño de nuevos proyectos de transporte (Sterling et al., 2009).

**1.2.6.9 Sistema de llamada única.** En EE. UU. se ha desarrollado One-Call system para evitar daños en la infraestructura subterránea durante trabajos de excavación. Se han implementado centros One-Call en los diversos estados y cada uno de ellos establece sus propias leyes. Una ley común es que los encargados de los equipos de excavación deben comunicarse con el centro One-Call del estado correspondiente antes de iniciar los trabajos (Jeong et al., 2003).

Este sistema funciona de la siguiente manera: la persona que está elaborando el proyecto (que requiere excavación) debe llamar al centro One-Call señalando la ubicación específica, fecha y hora de inicio y descripción de la actividad de excavación (según ley, esta llamada debe efectuarse al menos dos días antes de la excavación planificada) (Jeong et al., 2003). Después de la llamada, el personal del centro One-Call identifica posibles conflictos y notifica a los propietarios u operadores de las instalaciones que se encuentran alrededor del proyecto a ejecutarse. Luego que los propietarios u operadores reciben dicha notificación, se envía el equipo de localización al lugar en cuestión para que realice el marcado de su infraestructura subterránea en la superficie, teniendo en cuenta el código de color de marcado según la APWA. Luego del marcado, puede iniciar la excavación (Sinha et al., 2007).

One-Call system presenta algunas restricciones, tales como:

- Este sistema considera información de infraestructura subterránea proporcionada por los miembros de la red One-Call, es por eso que los datos de muchos que no son miembros no están disponibles (Sinha et al., 2007).
- A veces los propietarios u operadores de las instalaciones son notificados de manera incorrecta o no marcan la ubicación de sus instalaciones de manera adecuada (Sinha et al., 2007).
- En ocasiones la infraestructura antigua que aún está en funcionamiento no se puede ubicar a través de este sistema (Sinha et al., 2007).
- A veces el tiempo otorgado para que el equipo de localización realice su trabajo antes de la excavación no es suficiente para una selección cuidadosa de la información, de las técnicas empleadas de acuerdo al lugar; etc. Esto puede contribuir a una localización incorrecta de las instalaciones solicitadas (Jeong et al., 2003).

Jeong et al. (2003) comparan One-Call system con SUE, mencionando que tal sistema se enfoca en las actividades de excavación, mientras que SUE se enfoca en todo el proyecto; señalan además, que por ley (en EE. UU.) debe emplearse One-Call system cuando haya excavaciones durante la construcción, sin embargo SUE puede emplearse por el propietario del

proyecto desde la etapa de diseño. De esta manera, One-Call system ayuda a reducir daños a la tubería durante la excavación y SUE, además de lo mencionado, permite minimizar costos de reubicación de tuberías, cambios de diseño, etc.

Jeong et al. (2003) añaden que One-Call system y SUE no compiten, sino que pueden complementarse, pues la posibilidad dañar tuberías subterráneas existentes disminuye aún más cuando ambos se aplican en un proyecto. Incluso, la FHWA apoya el uso de SUE durante el desarrollo del proyecto (diseño y planificación) y el uso del One-Call system durante la construcción (antes de una excavación) (Scott, 2001, como se citó en Jeong et al., 2003).

**1.2.6.10 Criterios para seleccionar el método de detección adecuado.** Para seleccionar de manera adecuada un método de detección es necesario considerar ciertos criterios, tales como características de la infraestructura, limitaciones del método, condiciones del sitio y diversos factores ambientales y sociales, información que puede obtenerse a partir de documentos, planos, visitas al sitio, etc. (Sinha et al., 2007).

Entre los criterios de selección a considerar se encuentran los siguientes:

**1.2.6.10.1 Tipo de infraestructura.** Existen diversos tipos de infraestructura subterránea que pueden diferenciarse según el tipo de servicio ofrecido, entre ellos: alcantarillado, agua potable, líneas de gas, líneas eléctricas, etc. (Sinha et al., 2007).

Múltiples métodos de detección pueden emplearse independientemente del tipo de infraestructura subterránea que se planea analizar. Sin embargo, algunos de ellos resultan muy útiles para la detección de cierto tipo de infraestructura en particular, entre ellos: el método de inserción de sonda para redes de alcantarillado, eléctricas y telecomunicaciones; el método de emisión acústica para tuberías no metálicas que transportan agua y gas; etc. (Jeong et al., 2003).

**1.2.6.10.2 Material de la infraestructura.** Las tuberías que componen los sistemas subterráneos son elaboradas con diversos tipos de materiales, como: metal, acero, plástico, concreto, etc. (Sinha et al., 2007). La Tabla 1, presenta los tipos de infraestructura y propiedades de sus materiales: metálico y no metálico; esto permitirá seleccionar los métodos de detección que resulten más apropiados.

Tabla 1. Clasificación de los materiales de infraestructura subterránea

Tipo de infraestructura	Propiedad del material	
	Metálico	No metálico
Tubería de agua	Acero, hierro fundido, hierro dúctil, cobre	Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), concreto, asbesto cemento, plásticos (polietileno [PE], cloruro de polivinilo [PVC], etc.)
Tubería de alcantarillado	Acero, hierro fundido, hierro dúctil	Arcilla vitrificada, concreto, asbesto cemento, plásticos [PE, PVC, etc.]
Tubería de vapor	Acero	-

Tipo de infraestructura	Propiedad del material	
	Metálico	No metálico
Tubería de gas	Acero, hierro fundido, hierro dúctil, cobre	Plásticos (PE, PVC, etc.)
Tubería de petróleo y químicos	Acero	PRFV, plásticos (polietileno de alta densidad [PEAD])
Cables/conductos eléctricos	Cables metálicos (cobre, aluminio, etc.), cables en conducto metálico	-
Cables/conductos de telecomunicaciones	Cables metálicos (cobre, aluminio, etc.), cables en un conducto metálico, cable de fibra óptica con blindaje metálico	Cable de fibra óptica con blindaje no metálico, cable de fibra óptica con blindaje no metálico en un conducto no metálico

Fuente: Tomado de *Imaging and Locating Buried Utilities* por Jeong et al., 2003.

Los detectores de cables y tuberías (aplicando modo conductivo e inductivo), detectores de metales y métodos de conductividad del suelo generalmente se emplean para detectar infraestructura metálica. Los métodos de inserción de sonda, emisiones acústicas, EMS y método de la cinta metálica/cable de rastreo generalmente se emplean para detectar infraestructura no metálica, y aunque rara vez se utilicen, también pueden detectar infraestructura metálica. Los métodos magnéticos no son aplicables para materiales metálicos no ferrosos (cobre, aluminio), pero sí lo son para materiales metálicos ferrosos (acero, hierro fundido, hierro dúctil). El GPR no tiene un uso restringido según el tipo de material (Jeong et al., 2003).

**1.2.6.10.3 Materiales especiales para detectar infraestructura no metálica.** Es más complicado detectar infraestructura no metálica que infraestructura metálica debido a sus características y a que hay sólo algunos métodos disponibles para su detección. Por eso, para ayudar a detectar la infraestructura no metálica, se pueden instalar materiales especiales dentro o encima de la tubería, los cuales dan la posibilidad a que más métodos puedan emplearse en su detección y que estos métodos funcionen mejor (Sinha et al., 2007).

Entre los materiales instalados en la infraestructura para ayudar a su detección, se encuentran: cintas metálicas, cables de rastreo y marcadores electrónicos (Jeong et al., 2003).

Al realizar los trabajos de detección, cuando se han instalado cintas metálicas o cables de rastreo, se recomienda emplear detectores de cables y tuberías con el método de cable de rastreo/cinta metálica, y cuando se han instalado marcadores electrónicos, se recomienda emplear el EMS. Sin embargo, es importante considerar que con el tiempo las cintas metálicas o cables de rastreo pueden deteriorarse, o en caso se realicen trabajos de excavación cercanos pueden romperse, lo cual, generaría una discontinuidad eléctrica y proporcionaría resultados fallidos en la detección (Jeong et al., 2003).

**1.2.6.10.4 Punto de acceso a la infraestructura.** Según Jeong et al. (2003) el punto de acceso a una infraestructura subterránea puede determinarse a partir de:

- Infraestructura con un acceso visible. Se puede acceder a la infraestructura subterránea a través de alguno de sus accesorios visibles.
- Ubicación exacta conocida de la infraestructura. No se puede observar ningún accesorio de la infraestructura subterránea, sin embargo, se conoce su ubicación a partir de la inspección realizada en el sitio empleando los métodos ya descritos.
- Ubicación probable de la infraestructura. La ubicación de la infraestructura subterránea puede estimarse a partir de planos o alguna otra fuente de información, sin embargo, no se conoce con precisión.
- Ninguna de las anteriores. No hay información disponible sobre la infraestructura subterránea.

La Tabla 2, muestra algunos puntos de acceso de acuerdo al tipo de infraestructura subterránea.

Tabla 2. Puntos de acceso a infraestructura subterránea según su tipo

Tipo de infraestructura	Puntos de acceso a la infraestructura subterránea
Tubería de agua	Hidrantes, válvulas, cabezales de rociadores, grifos, etc.
Tubería de alcantarillado	Buzones de inspección, etc.
Tubería de vapor	Válvulas, medidores, tanques de expansión, etc.
Tubería de gas	Caja de válvulas, medidores, estaciones reguladoras, etc.
Tubería de petróleo y químicos	Buzones de inspección, estaciones reguladoras, etc.
Cables/conductos eléctricos	Medidores, postes eléctricos, cajas de fusibles, etc.
Cables/conductos de telecomunicaciones	Cajas de empalme, cajas de extracción, cajas de registro, pedestales, etc.

Fuente: Tomado de *Imaging and Locating Buried Utilities* por Jeong et al., 2003.

Es importante diferenciar los métodos que pueden emplearse para la detección o rastreo de la infraestructura subterránea (descritos en apartados anteriores) o para la ejecución de ambas tareas, pues esto también permitirá seleccionar el método más adecuado de acuerdo al entorno de estudio (Jeong et al., 2003).

La selección de estos métodos puede realizarse tomando como referencia la existencia de puntos de acceso a la infraestructura de acuerdo a la clasificación presentada, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Puntos de acceso sugeridos para emplear los métodos de detección y rastreo

Métodos de detección y rastreo	Puntos de acceso a la infraestructura		
	Aplicable	Inaplicable	Neutral
Detectores de cables y tuberías (modo conductivo), método de inserción de sonda, emisiones acústicas	A	B, C, D	
Método de cinta metálica/cable de rastreo	A,B	C, D	
Detectores de cables y tuberías (modo inductivo)	B	D	A, C
Método del localizador de líneas eléctricas	B	C, D	A
EMS	A, B, C	D	
Medidores de conductividad del suelo, detectores de metales	C, D	A, B	
Detectores de cables y tuberías (modo pasivo), métodos magnéticos	C, D		A, B
GPR			A, B, C, D

Nota: Infraestructura con un acceso visible (A), ubicación exacta conocida de la infraestructura (B), ubicación probable de la infraestructura (C), ninguna de las anteriores (D).

Fuente: Tomado de *Imaging and Locating Buried Utilities* por Jeong et al., 2003.

**1.2.6.10.5 Condición de la superficie del terreno.** La señal que es emitida a la superficie por los dispositivos de detección puede ser afectada por la condición del terreno, es decir, el material que cubre la superficie de investigación, que pueden ser pavimentos asfálticos, de concreto (Sinha et al., 2007) o superficie natural (no pavimentada) (Jeong et al., 2003).

Por ejemplo: Jeong et al. (2003) señalan que los pavimentos de concreto armado pueden afectar e impedir el paso de señales electromagnéticas en el suelo, emitidas por detectores de metales, por detectores de cables y tuberías o por medidores de conductividad de suelo. Sinha et al. (2007) añaden que este tipo de pavimentos puede generar además alguna dificultad para detectar vibración (a través de emisiones acústicas) o flujo de calor (a través de los equipos infrarrojos).

**1.2.6.10.6 Tipo de suelo.** Jeong et al. (2003) afirman que el tipo de suelo está directamente relacionado con la conductividad eléctrica, es decir, que el tipo de suelo puede afectar de manera notable la capacidad de propagación de las ondas electromagnéticas desde el transmisor hacia el suelo. Si el suelo posee un alto grado de conductividad, puede impedir que la onda electromagnética viaje hacia el objetivo al dispersar la señal y así proporcionar resultados limitados.

Jeong et al. (2003) clasifican el suelo de acuerdo a su conductividad eléctrica, tal como se detalla:

- Suelo altamente conductor. Suelo saturado o cuyo nivel freático está por encima de la infraestructura subterránea. Posee alto contenido de sales.
- Suelo arcilloso. Generalmente posee gran contenido de humedad, pudiendo llegar a ser altamente conductor.
- Suelo limoso. Suele encontrarse en la capa superficial del suelo, posee cierto contenido de humedad, siendo moderadamente conductor.
- Suelo arenoso. Posee poco contenido de humedad, siendo así, un suelo poco conductor.
- Suelo compactado y granular. Suele encontrarse debajo del área pavimentada y tiene una conductividad muy baja.

Al seleccionar el método de detección según el tipo de suelo, se debe considerar que algunos equipos, como los medidores de conductividad del suelo y el GPR operarán con mayor precisión si el suelo posee una baja conductividad y alta resistividad (Jeong et al., 2003).

**1.2.6.10.7 Condición interna de la infraestructura.** Se refiere a la capacidad interna de la tubería para contener y transportar producto. Jeong et al. (2003) proporcionan una clasificación de los estados internos de una infraestructura, como se presenta a continuación:

- Tubería llena con material que fluye (a). Tubería llena de agua, gas y petróleo, por ejemplo.
- Tubería parcialmente llena con material que fluye (b). Tubería de un sistema de alcantarillado que funciona por gravedad, por ejemplo.
- Conducto lleno de cables (c). Conducto que no tiene espacio libre.
- Conducto lleno y vacío (d). Por ejemplo: un sistema de ductos donde algunos de ellos están vacíos y otros ocupados.
- Tubería o conducto vacío (e). Conducto hueco o abandonado.

A partir de estas condiciones, podría aplicarse el método de inserción de sonda (debe haber un espacio para que la sonda se desplace en el conducto o tubería), sin embargo, deben verificarse las condiciones (b),(d) y (e) antes de proceder con el método. En caso se presente la condición (a) también podría aplicarse este método, pero el servicio de la tubería sería interrumpido; y ante la condición (c) este método sería inaplicable (Jeong et al., 2003).

Otro método que también podría aplicarse de acuerdo a la condición interna de la tubería, es el de emisiones acústicas. Al estar basado en la presión que transporta la onda de sonido a lo largo de la tubería, no puede emplearse en sistemas de conductos de cables eléctricos o de telecomunicaciones y tuberías parcialmente llenas, solamente podría aplicarse si se tiene la condición (a) (Jeong et al., 2003).

En caso se empleen técnicas microgravitacionales, podrá detectarse con mayor facilidad una tubería de agua vacía que una llena debido a la diferencia de densidad entre el aire y el suelo que está alrededor (Sinha et al., 2007).

**1.2.6.10.8 Profundidad de la infraestructura.** La profundidad de la infraestructura subterránea es diversa (por ejemplo: mientras una tubería de alcantarillado puede estar enterrada a una profundidad de 6.00 m, una tubería de agua potable puede estar a 1.50 m), es por eso que resulta importante considerar el límite de penetración de las señales emitidas en cada método de detección (Sinha et al., 2007), que dependerá de varios factores, tales como propiedades del material, condición de la superficie del suelo, etc.) (Jeong et al., 2003).

Por ejemplo: algunos detectores de metales son más efectivos que un localizador de cables y tuberías para detectar infraestructura metálica; sin embargo, la profundidad aplicable de los detectores de metales es inferior a 2 ft (0.60 m) (Sinha et al., 2007), mientras que la de los localizadores de cables y tuberías en modo conductivo es de hasta 15 ft (4.50 m), en modo inductivo es de hasta 6 ft (1.80 m), y en modo pasivo de hasta 4.5 ft (1.40 m) (Willis, 2001, como se citó en Jeong et al., 2003). La profundidad aplicable de los métodos de emisión acústica (sonidos pasivos y resonantes) varían dependiendo de la infraestructura que se quiere investigar (Sinha et al., 2007).

Los datos de profundidad aproximada alcanzada por los métodos de detección mencionados y algunos otros se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Profundidad aproximada alcanzada por algunos métodos de detección

Métodos de detección	Profundidad detectable	Observaciones
Detectores de metales	< 2 ft (0.60 m)	-
Detectores de cables y tuberías	Modo conductivo	< 15 ft (4.60 m)
	Modo inductivo	< 6 ft (1.80 m)
	Modo pasivo	< 4.5 ft (1.40 m)
	Método de inserción de sonda	< 15 ft (4.60 m)
	< 50 ft (15.20 m)	Requiere una sonda especial
Método de cinta metálica/cable de rastreo	< 15 ft (4.60 m)	-
Método del localizador de líneas eléctricas	< 15 ft (4.60 m)	-
Medidores de conductividad del suelo	< 15 ft (4.60 m)	-
GPR	< 6 ft (1.80 m)	-
Métodos magnéticos	< 10 ft (3.00 m)	-
Métodos de emisión acústica	< 6.5 ft (2.00 m)	Tubería de agua
	< 8 ft (2.40 m)	Tubería de gas

Fuente: Tomado de Imaging and Locating Buried Utilities por Jeong et al., 2003.

**1.2.6.10.9 Concentración de objetos circundantes a la infraestructura.** Hace referencia a la cantidad de tuberías u objetos que están enterrados alrededor de la infraestructura subterránea, pues estos pueden generar interferencias y confusión en la interpretación de los resultados de un estudio en la zona. Asimismo, una alta concentración de objetos circundantes a la infraestructura aumenta la posibilidad de accidentes, pues al estar muy cerca podrían llegar a chocar y generar graves consecuencias (Sinha et al., 2007).

**1.2.6.10.10 Otros factores.** Antes de seleccionar algún método de detección, hay que considerar que existen ciertos factores que pueden distorsionar la información percibida por los equipos de detección, entre ellos: el acero de refuerzo colocado en los pavimentos, mallas de alambre, postes de protección, etc. (Sinha et al., 2007).

**1.2.6.10.11 Consultores SUE calificados.** Es necesario que los consultores SUE calificados que están familiarizados con los métodos empleados, inspeccionen la infraestructura subterránea e interpreten los resultados obtenidos. De lo contrario, es posible que se requiera repetir los estudios realizados o surjan problemas severos en los proyectos (Sinha et al., 2007).

**1.2.6.10.12 Métodos no destructivos para localizar infraestructura subterránea.** Los métodos no destructivos permiten obtener información sobre la infraestructura subterránea del nivel de calidad más alto otorgando datos sobre la ubicación exacta, las características, etc. para la toma de decisiones importantes. Entre ellos están la excavación aire/vacío y la excavación agua/vacío (Sinha et al., 2007).

Sinha et al. (2007) consideran la excavación aire/vacío (descrito anteriormente) como el líder predominante de los métodos no destructivos. Sin embargo, los sistemas de agua a alta presión están empezando a utilizarse para excavación debido a su menor precio y mayor efectividad en suelos húmedos, pesados y calizos que un sistema de aire. No obstante, el uso de la excavación agua/vacío se limita al suministro de agua en el tanque de retención, los desechos húmedos son más difíciles de manejar que el material seco producido por un sistema de aire y la operación incorrecta de un sistema de agua tiene el potencial de dañar las redes expuestas. Por eso, debe seleccionarse de manera adecuada el método de excavación por vacío para la localización exitosa de infraestructura subterránea, considerando sus propiedades, el tipo de suelo, etc. (Sinha et al., 2007).

## **1.2.7 Beneficios de SUE**

Existen diversos beneficios de aplicar SUE en los proyectos. Algunos de ellos pueden cuantificarse o pueden verificarse de manera cualitativa.

Para determinar los beneficios cuantitativos y cualitativos del uso de SUE en los proyectos se han realizado diversas investigaciones, entre ellas:

**1.2.7.1 Cuantitativos.** Jeong, Abraham, & Lew (2004) presentan un análisis elaborado por Lew (2000) para determinar los ahorros de costos generados por emplear SUE considerando 71 proyectos de carreteras en Carolina del Norte, Virginia, Texas y Ohio. En este estudio se evaluaron los beneficios cuantitativos de SUE teniendo en cuenta lo siguiente:

- Proyectos con costos de ejecución entre \$ 0.3 millones y \$ 238 millones.
- El costo de SUE para cada proyecto fue entre \$ 2 200 a \$ 500 000.

- La relación de costo de SUE con respecto al costo del proyecto fue entre 0.02 y 10.76% y la relación promedio fue 1.39%, con una desviación estándar de 1.86%.
- Se desarrollaron 21 categorías para cuantificar los ahorros de tiempo, costo directo, ahorros de usuarios y gestión de riesgos. Estas categorías se definieron a partir de entrevistas con DOTs, compañías de servicios públicos, consultores y contratistas de SUE. Para medir los ahorros en cada categoría se emplearon dos métodos: costo estimado<sup>49</sup> y costo proyectado<sup>50</sup>.
- Los ahorros en costos de los proyectos estudiados fueron entre \$6,000 y \$3,000,000.
- El ahorro promedio del costo total de construcción fue de 4.6%, con una desviación estándar de 6.38%.
- Se determinó la variable denominada: retorno sobre la inversión (ROI), que representa la cantidad de dinero ahorrado por gastar \$ 1 en actividades de SUE. De los 71 proyectos, sólo 3 tuvieron un ROI negativo. El ROI promedio fue de \$ 12.23 por cada \$ 1 gastado en SUE, con una alta desviación estándar (\$ 29. 04). Esto se justifica en las diversas características que presentan los proyectos, entre ellas: la congestión de redes subterráneas en el área del proyecto, la ubicación del proyecto (urbano o rural), tipo de proyecto (puente o carretera nueva), etc.

Además del análisis descrito, Anspach (2010) describe diversos estudios que se realizaron para determinar los beneficios del uso de SUE en proyectos de carreteras, donde se señalan los ahorros generados con respecto a cada dólar invertido en SUE, entre ellos:

- En el 2005, la Universidad de Toronto publicó una investigación denominada *Subsurface utility engineering in Ontario: challenges and opportunities* [Ingeniería de infraestructura subterránea en Ontario: desafíos y oportunidades], que estuvo a cargo de *Ontario Sewer and Watermain Contractors Association (OSWCA)* [Asociación de contratistas de agua y alcantarillado de Ontario], para determinar los beneficios de emplear SUE en grandes proyectos de infraestructura de dicho lugar. Los investigadores analizaron nueve casos y encontraron un ROI aproximado de \$3.41 por cada \$1 gastado en SUE.
- El estudio de la Universidad de Pennsylvania, en el 2008, encargado por el PennDOT, analizó la inversión del uso de SUE tomando como referencia diez proyectos de carreteras con información de NC-A y NC-B. Se identificó un ahorro de \$ 22.21 por cada \$ 1 gastado en SUE.

**1.2.7.2 Cualitativos.** El estudio de Lew (2000, como se citó en Jeong, Abraham, & Lew, 2004) menciona no sólo beneficios cuantitativos (descritos anteriormente), sino también beneficios cualitativos obtenidos al aplicar SUE en los proyectos, como se detalla:

<sup>49</sup> Incluye costos adicionales de diseño y construcción en caso SUE no fuera empleado. Por ejemplo: costos de reubicación de redes subterráneas, costos de retraso del proyecto por corte de servicios, etc. (Jeong, Abraham, & Lew, 2004).

<sup>50</sup> Son más difíciles de cuantificar completamente. Se pueden aproximar analizando el proyecto detalladamente, entrevistando al personal relacionado con este y tomando datos históricos de costos. Por ejemplo: costos que incluyen daños a la infraestructura existente, a los pavimentos existentes, etc. (Jeong, Abraham, & Lew, 2004).

- Reduce la cantidad de reubicaciones de redes subterráneas, el daño ocasionado a los pavimentos e instalaciones subterráneas existentes, la interrupción del tráfico y de los servicios subterráneos, las posibilidades de generar daños ambientales, etc.
- Reduce los retrasos en el proyecto originados por: reubicaciones de infraestructura subterránea, rediseño de zonas del proyecto a causa de conflictos existentes, daños a la infraestructura subterránea, etc.
- Reduce los costos relacionados con: diseño del proyecto, reubicaciones de infraestructura subterránea, etc.
- Reduce los honorarios de contingencia<sup>51</sup>.
- Favorece el ahorro en gestión de riesgos y seguros.
- Mejora la productividad del contratista y reduce las órdenes de cambio y reclamos que este pudiera emitir.
- Ayuda a tomar decisiones rápidas y confiables en los procesos de negociación y autorización con las municipalidades y empresas encargadas de infraestructura subterránea, a partir de la precisión de los datos disponibles.

Otros beneficios que resultan de la aplicación de SUE son los siguientes:

- Incremento de la seguridad en los proyectos (Arcand, 2004), con ello, reduce los riesgos de trabajo, evita lesiones y pérdidas de vida (Slaninka, 2013).
- Al reducir conflictos de infraestructura subterránea, retrasos y riesgos de seguridad, permite elaborar un calendario del proyecto predecible más claro (Jeong, Abraham, & Lew, 2004).
- En proyectos de carreteras, reduce la necesidad de derechos de vía, pues proporciona información precisa que permite establecer límites más exactos de los mismos. Así, se podrá desarrollar una mejor organización y programación de las reubicaciones necesarias y de los costos de derechos de vía (Scott & Johnson, 2006).
- Emplea equipos de detección de infraestructura subterránea que tienen una cobertura rápida, pudiendo inspeccionar hasta 2 hectáreas del terreno en un día, con una alteración mínima o nula de la superficie y con la posibilidad de seleccionar el equipo, método o técnica más adecuado según la situación (Rana, 2011).
- Provee información precisa y completa sobre la infraestructura subterránea de manera permanente que permite tomar mejores decisiones en las diversas fases del desarrollo de los proyectos y durante la planificación de proyectos futuros (Scott & Johnson, 2006).
- Facilita la gestión eficiente de la información subterránea a través del uso de diversos softwares, equipos, técnicas, métodos, etc., varios de los que han sido mencionados anteriormente, reduciendo complicaciones en el manejo de los datos y contribuyendo al envío y recepción de los mismos de manera electrónica de modo seguro (Anspach & Murphy, 2012).

---

<sup>51</sup> Son montos que el contratista puede considerar para cubrir alguna situación inesperada que pueda surgir durante el proyecto, por ejemplo: rediseños, elementos omitidos al definir el alcance inicial del proyecto, daños que puedan ocurrir, etc. (Gido & Clements, 2012).

**1.2.7.3 Requerimientos.** Según Jeong, Abraham, & Lew (2004), de manera independiente a los beneficios de SUE, existen también algunos resultados desalentadores de su uso, principalmente debido a la falta de proveedores profesionales de SUE, puesto que al seleccionarlos a veces no se establecen ni aplican las pautas de calificación adecuadas.

Por tal motivo, para poder percibir los beneficios descritos se requiere de profesionales que estén capacitados en las labores que realiza SUE, que sepan desempeñar sus roles<sup>52</sup> adecuadamente, que proporcionen garantía de la información obtenida, etc. (Sinha et. al, 2007).

Asimismo, ante el creciente requerimiento de las labores SUE se han conformado diversas compañías que ofrecen estos servicios. Para asegurar resultados eficientes, la FHWA (FHWA, 2002, como se citó en Jeong, Abraham, & Lew, 2004) recomienda que las firmas SUE estén en la capacidad de ofrecer lo siguiente:

- Comprensión y conocimiento exhaustivos de las actividades (detección, posicionamiento, etc.) de SUE.
- Una amplia gama de equipos y sistemas para cada actividad de SUE.
- Ingenieros con adecuado entrenamiento y experiencia de acuerdo con los requisitos que establezca la empresa que requiere el servicio.
- Capacidad financiera para prestar los servicios requeridos.

También es importante proporcionar la precisión requerida de los servicios SUE y un seguro adecuado que cubra todos los aspectos del trabajo (Jeong, Abraham, & Lew, 2004).

### **1.2.8 Campos de aplicación**

SUE puede emplearse en proyectos que presenten diferentes condiciones (como se ha descrito), entre ellas: áreas con acceso limitado, alta congestión de redes, etc. ya sea en zonas urbanas, suburbanas o rurales (Slaninka, 2013). Asimismo, SUE puede emplearse en diversos tipos de proyectos tales como:

- Aeropuertos, industria, plantas químicas y farmacéuticas, plantas nucleares, instalaciones interiores, construcción pesada, etc. (Horenburger, 2011).
- Puentes, túneles, autopistas, remodelaciones de zonas urbanas, hospitales, centrales eléctricas, etc. (Singer, 2016).
- Vías férreas, construcción de edificios, proyectos militares, saneamiento, energía nuclear y cualquier proyecto público donde se pueda encontrar infraestructura subterránea; también se puede emplear para fines ambientales, entre ellos: detección y mapeo de tanques de almacenamiento subterráneos, campos sépticos e incluso contaminantes (Federal Highway Administration, 2017).

En los diferentes tipos de proyectos puede aplicarse SUE de manera integral o realizarse actividades SUE específicas de acuerdo a lo que estos requieran. A continuación, se reportan algunos proyectos de EE.UU. en los que se empleó SUE, como se detalla:

---

<sup>52</sup> Sugeridos en varios documentos que han sido descritos brevemente en el apartado: “Guías, normas y otros documentos de SUE.”

Johnson Engineering (2009) describe los siguientes:

- El tramo comprendido desde la subestación *56 Mile Orange River* hasta la subestación *Golden Gate* en una línea de transmisión de energía. Se empleó SUE para verificar que los servicios públicos subterráneos existentes no entren en conflicto con la colocación de grandes postes de transmisión de concreto.
- La construcción un nuevo pabellón en el campus *Lee Memorial's HealthPark*. SUE permitió mapear las redes existentes pues había gran concentración de servicios públicos en un área pequeña y no se contaba con planos del sitio.
- La expansión de la planta de ósmosis inversa de Cape Coral. Los servicios SUE estuvieron orientados a la localización de redes públicas subterráneas en las plantas de tratamiento de aguas residuales y ósmosis inversa, a lo largo del camino y debajo del pavimento de las carreteras principales e intersecciones.

Singer (2016) añade algunos proyectos y señala actividades SUE empleadas en cada uno de ellos, como se muestra:

- Análisis de áreas para instalación de generadores de turbina propulsados por gas natural que suministren electricidad a Nueva York y eviten apagones. Se solicitó servicios SUE con un NC-B que comprendían: detección, marcado, revisión CAD, etc.
- Expansión de una construcción de aulas y un auditorio en la academia de la marina mercante de Kings Point. En este proyecto se solicitó diversas actividades SUE, entre ellas: detección de infraestructura subterránea, levantamiento topográfico, etc.
- Mapeo de infraestructura subterránea en NC-B, C y D de toda la Estación Aérea Naval de Anacostia (ANAS) e incorporación de datos en un sistema GIS. El proyecto tenía como objetivo facilitar el cobro de una cuota a los inquilinos de la base de acuerdo al uso de los servicios públicos. Este mapeo además serviría para mantenimiento, operaciones y construcciones futuras.

Existen también diversos DOTs de EE. UU. que emplean SUE en la fase de diseño de los proyectos. Anspach (2010) describe algunos de ellos:

El Departamento de Transporte de Pennsylvania considera un plan de 12 años donde presenta posibles proyectos de transporte. Para cada proyecto se designa un equipo de profesionales que inicia sus labores antes de comenzar con el diseño. A partir de visitas de campo e información proporcionada por el centro One-Call, se elabora un plano con datos de NC-D y NC-C que progresivamente, según se requiera, se va implementando y precisando con datos obtenidos de NC-B y NC-A. Con esto, se determina el diseño y se evalúan opciones de reubicación de infraestructura subterránea según sea necesario.

El Departamento de Transporte de Virginia (VDOT) ha creado un plan de seis años para la ejecución de proyectos. Para el desarrollo de cada uno de ellos participan representantes de ubicación y diseño, medio ambiente, derecho de vía, servicios públicos y construcción.

Al iniciar el proceso de diseño se emplea información de NC-B, se realiza una estimación de los costos y se designa un coordinador de servicios públicos que tenga conocimiento sobre los problemas de las empresas de servicios públicos, problemas de diseño, ubicaciones y posibles reubicaciones, y que trabaje junto con los diseñadores; progresivamente, según se requiera, se procede a obtener información de NC-A para definir el diseño.

Para facilitar el manejo de la información, el VDOT proporciona licencias Microstation a sus empresas de servicios públicos y consultores de diseño, lo que permite la manipulación de datos en el mismo formato y, con esto, la disminución de 2 a 3 meses en los plazos del proyecto, según se estima.

Adicionalmente, el VDOT inició un programa de prueba al norte de Virginia, que consistía en instalar marcadores de identificación por radiofrecuencia en la infraestructura, para que posteriormente mediante el uso de un lector de mano, se pueda verificar información detallada sobre la misma.

El Departamento de Transporte de Georgia (GDOT) ha diseñado un programa de mejora del transporte estatal. A cada uno de los proyectos del programa se asigna un gerente de proyecto, que es quien coordina con todas las oficinas involucradas, incluyendo el programa de servicios públicos del estado, que comprende la *State utilities office* (SUO) [Oficina de servicios públicos del estado] y siete *District utilities offices* (DUO) [Oficinas de servicios públicos del distrito].

Los trabajos inician con la fase de concepto del proyecto, donde se desarrolla un informe conceptual del mismo y se convoca a una reunión para comprender el alcance del proyecto, identificar la información disponible y necesaria, etc.

En el 2008 se empleó el programa SUE del GDOT para mapear más de 2 millones de pies de servicios públicos, 300 agujeros de prueba, etc., que tuvo gran éxito y en gran parte estuvo financiado con fondos federales. A partir de esto, se determinó que debe emplearse SUE en todos los proyectos, cuyos procedimientos deben contar con la verificación de un consultor SUE calificado.

El *State subsurface utilities engineer* (SSUE) [Ingeniero de infraestructura subterránea del estado], con el que cuenta el GDOT determinará si el proyecto es apropiado para la aplicación de SUE y en que niveles de calidad de información debe trabajarse. En caso se emplee SUE, se recopila la información para los diferentes niveles de calidad a lo largo de la etapa de diseño y, progresivamente, se envía a las entidades apropiadas para su aprobación y revisión. Además, en algunos casos, se realiza un análisis de impacto de servicios públicos, se evalúa los posibles conflictos entre los servicios existentes y proyectados, se plantea reubicaciones o ajustes de diseño, etc.

En el 2006, el programa de servicios públicos del estado de GDOT implementó el software Redline de servicios públicos para mejorar la aplicación de computadoras de Bentley Redline y así facilitar la difusión de los planos en un formato electrónico de los proyectos de construcción de GDOT y su proporción a la industria de servicios públicos de GDOT de manera gratuita. El software mencionado emplea archivos CADD y el protocolo de transferencia de archivos (FTP) para comunicar el estado de los proyectos a las entidades interesadas, permite

ahorrar en costos de impresión tanto para el GDOT como para el propietario de los servicios, acelerar el desarrollo del plan del proyecto, etc.

GDOT recibió premios tales como:

- *FHWA Excellence in utility Accommodation and Relocation Award* [Premio FHWA a la Excelencia en Ubicación y Reubicación de Servicios Públicos] 2009, gracias a sus esfuerzos por minimizar retrasos en los calendarios de entrega del proyecto.
- *FHWA Utility Outstanding Achievement Award* [Premio FHWA al Logro Destacado de Servicios Públicos] 2007, gracias a los logros excepcionales obtenidos en la categoría de liderazgo de servicios públicos. El SUO de GDOT implementó un programa de capacitación orientado a evitar los impactos de los proyectos de servicios públicos, incorporando herramientas, métodos, tecnologías, etc., contribuyendo al logro obtenido.

A partir de encuestas aplicadas a diversos DOTs sobre el uso de SUE en proyectos de carreteras, Jeong, Abraham, & Lew (2004) indicaron que un alto porcentaje pudo percibir los diversos beneficios de SUE especialmente cuando se aplica en la etapa de diseño, favoreciendo no sólo al DOT, sino también a contratistas, propietarios de servicios públicos, ingenieros, etc.

Con respecto al uso de SUE en aeropuertos de EE. UU., Anspach & Murphy (2012) mencionan que varios de ellos aplican principios básicos de SUE, pero no todos lo emplean de manera efectiva. Una pequeña cantidad de aeropuertos, que va en aumento, tienen pautas que consideran adecuadas para la recopilación de datos; asimismo, son pocos los que poseen políticas y procedimientos para gestionar la información cuando ya la han recopilado.

Anspach & Murphy (2012) añaden que gran cantidad de los aeropuertos más grandes, y una cantidad creciente de medianos y pequeños, han empezado a utilizar planos CADD, bases de datos GIS, sistemas de administración de documentos electrónicos, etc. para gestión de información. Se menciona además, que algunos aeropuertos han contratado mapeo de SUE para proyectos individuales, y algunos otros han iniciado programas exitosos para integrar los datos del proyecto en un programa general de mapeo de aeropuertos. Sin embargo, para que estos programas y gestión de información proporcionen mejores resultados, es necesario un buen enfoque de SUE.

Diversos aspectos de SUE también son considerados por las empresas de servicios de agua potable y alcantarillado. Uslu & Sinha (2015) han tomado como referencia entrevistas realizadas a algunas empresas que ofrecen estos servicios en EE. UU. donde se indica la calidad de información subterránea requerida, tecnologías empleadas, gestión de datos, etc. A partir de ello, se ha podido determinar que para la labor de localización de redes enterradas suele recurrirse al One-Call system (eventualmente complementado con el uso del GPR y localizadores de cables y tuberías para el desarrollo de dicha actividad) y para la labor de gestión de información subterránea suelen emplearse los sistemas GIS. Muy pocas empresas entrevistadas indicaron formar parte de comunidades para intercambio de datos y experiencias.

En Canadá, otro país donde también se aplica SUE, Vine (2014) señala que así como los propietarios de servicios públicos subterráneos, los propietarios de los derechos de vía también han buscado mejorar su gestión de registros tomando como referencia el documento SUE: CSA S250. Asimismo, Vine (2014) añade algunas situaciones concretas sobre la aplicación de SUE, tales como:

- La revitalización de la estación ferroviaria Union Station de Canadá y la expansión de servicios e infraestructura del sistema de transporte público interurbano GO Transit. Esto resultaba un gran desafío pues existen vías con más de años 50 de antigüedad, se han realizado trabajos sin llevar un estricto control de los datos de las redes subterráneas en más de una ocasión, y además, el sistema de vías GO Transit es considerado uno de los más complejos de Norteamérica. SUE se aplicó para obtener información precisa sobre todos los servicios subterráneos existentes, públicos, privados y de diferentes tipos. Se empleó diversos métodos electromagnéticos de detección, entre ellos el GPR y detectores de cables y tuberías a través del modo inductivo, y para confirmar la ubicación de las redes se empleó la excavación al vacío. La información obtenida se comparó con la información existente y se almacenó de manera digital. Asimismo, la información topográfica se recopiló y permitió generar un modelo 3D para una mejor visualización. Con esto, se consiguió una base de datos sólida que sería útil en años futuros.
- Se empleó SUE para identificar servicios subterráneos del Queen Elizabeth Way (QEW) - Credit River Bridge durante un estudio de impacto ambiental (EIA) que permitiría elaborar una estrategia para abordar las necesidades de rehabilitación de la estructura. Se recopiló información en NC-A y B que facilitó la identificación de posibles conflictos para diseño e instalación de redes subterráneas, determinación de la posición vertical y horizontal de servicios subterráneos existentes, toma de decisiones sobre la reubicación de los servicios, reducción de riesgos, etc.

En el ámbito de las bases militares, Lockhart (2004) señala que SUE comenzó a emplearse a principios de los 80. En este período, la *General Services Administration* (GSA) [Administración de Servicios Generales] de EE. UU. distribuyó equipos GPR a diversas instalaciones militares, sin embargo en algunos casos los resultados no fueron los esperados pues no se tenía conocimiento suficiente sobre el uso de dichos equipos.

Alrededor de los 90 se ejecutó un proyecto en terrenos del Observatorio Naval de EE. UU. para instalar una línea eléctrica y construir una piscina. *Naval Facilities Engineering Systems Command* (NAVFAC) [Comando de Sistemas de Ingeniería de Instalaciones Navales] señaló necesario el uso de SUE. Su aplicación fue fundamental, pues se desconocían las condiciones del terreno y se buscaba evitar la interrupción de los servicios públicos (Lockhart, 2004).

Más adelante, en la estación naval de Mayport, Florida en EE. UU., se elaboró un proyecto para mejora y renovación de un muelle de portaaviones con la finalidad de colocar portaaviones nucleares y convencionales. Se requirió el uso de SUE en la etapa de diseño para determinar la ubicación precisa de las instalaciones subterráneas existentes, pues el espacio de trabajo era reducido y desconocido (Lockhart, 2004).

Así como existen diversos países, entre ellos EE. UU., donde el uso de SUE ha sido muy difundido debido a sus beneficios, variedad de equipos, procedimientos, métodos, crecimiento de la construcción subterránea, rehabilitación de servicios públicos, aplicaciones en diversos ámbitos (instituciones, proyectos militares, instalaciones industriales, carreteras, puentes), etc.; también existen algunos países en los que el uso de SUE se desconoce o no ha sido muy

divulgado. Uno de ellos es India, donde poco a poco el uso de SUE se ha ido introduciendo. Rana (2011) menciona que uno de los equipos SUE más empleados en dicho país es el GPR, utilizado para mapeo de infraestructura subterránea y para obtener información sobre redes existentes en diversos proyectos de instalación de tuberías sin zanjas.

Asimismo, en países de Sudamérica, como es el caso de Ecuador, poco a poco se está implementando el uso de SUE. Allí se cuenta con al menos una compañía que ofrece servicios SUE (detección, localización, mapeo, etc.). Asimismo, existen algunos proyectos que de manera previa o durante su ejecución han considerado labores SUE, entre ellos: la evaluación del sistema de agua potable y alcantarillado en la zona piloto de Portoviejo, el soterramiento de cables de Bahía de Caraquez, etc. ejecutados por la empresa SUE LATAM (SUE LATAM, 2017).

En Colombia, la empresa PROCIMEC ofrece servicios de mapeo subterráneo empleando diversos métodos y equipos para obtener y representar la información subterránea, entre ellos: métodos y equipos electromagnéticos (como el GPR), estudios topográficos, modelación 3D, etc. (Procimec Ingeniería, 2019).

En el caso de nuestro país, aunque no se haya implementado SUE de manera completa, se ha empleado algunos procedimientos y equipos, entre ellos el GPR, para verificar el recorrido de las redes subterráneas de agua y alcantarillado en Lima y poder determinar la existencia de conexiones clandestinas.

En la calle Mariscal Gamarra, en San Luis, se pudo comprobar que una empresa textil había realizado una conexión clandestina de agua que perjudicaba el abastecimiento a muchas viviendas alrededor y generaba pérdidas sustanciosas a la empresa prestadora de servicios Sedapal (24 Horas, 2017).

Lo mismo ocurrió en la calle Bellavista, en Miraflores, donde se encontró una conexión de desagüe no registrada muy cerca a una conexión de energía eléctrica y una tubería clandestina de agua potable conectada a un hidrante. Esto generaba riesgo de accidentes y posibilidades de que en caso de incendios no se tenga el caudal suficiente para atender tal siniestro. Asimismo, en la calle de las Pizzas, se realizaron inspecciones, a través del uso del GPR, para identificar este tipo de conexiones y evitar futuros inconvenientes (Milla, 2017).

Recientemente, Sedapal inició una evaluación para conocer el estado de las tuberías de alcantarillado luego del aniego en San Juan de Lurigancho, donde se empleó un robot con una cámara que muestra en pantalla las condiciones reales de dichas instalaciones (Mercado, 2019).

### **1.2.9 Limitaciones, recomendaciones y necesidades de investigación**

Se han descrito diversas ventajas que resultan de la aplicación de SUE en diferentes tipos de proyectos. Sin embargo, existen también algunas limitaciones que, progresivamente, con la investigación y el avance de la tecnología pueden ser superadas, entre ellas:

- Ideas equivocadas sobre la inversión y el alcance de SUE (Anspach, 2010), la falta de conocimiento en el campo de SUE por parte de las personas involucradas en el proyecto (propietarios, diseñadores, etc.), alguna experiencia negativa al haber empleado SUE de manera inadecuada, etc. (Lockhart, 2004).

- No existe un único método o equipo que pueda emplearse para detectar todas las instalaciones subterráneas, pues los métodos y equipos disponibles están destinados a detectar un tipo de infraestructura en particular, de acuerdo a ciertas situaciones o condiciones (Lockhart, 2004).
- Con respecto a instalaciones militares donde se realizan operaciones de vuelo, el uso del GPR puede generar complicaciones, pues las ondas electromagnéticas que emite este dispositivo tienen un efecto en los sistemas de radar en las torres de control y también en las aeronaves. Esto pudo verificarse en la década de los 80, cuando se empleó el GPR para identificar los vacíos de un campo de aviación (Lockhart, 2004).
- Para emplear el GPR debe tenerse en cuenta que existen ciertos obstáculos, como: barras de refuerzo, grandes rocas, etc., que si están muy cerca de la superficie de investigación, podrían generar algunas complicaciones, entre ellas: dispersar la energía transmitida, interferir con la señal recibida o reducir la profundidad de penetración (Rana, 2011).

Además de mencionar las limitaciones que pueden surgir con el uso de SUE, es importante tener en cuenta algunas recomendaciones para la fase de ejecución de proyectos donde este se aplique, entre ellas figuran:

- Analizar y evaluar las condiciones de la infraestructura subterránea existente para determinar si resulta conveniente diseñar a su alrededor o si es necesario reubicarla. Asimismo, estimar los costos que ambos procedimientos demandarían para poder tomar una decisión definitiva (Anspach, 2010).
- Antes de reubicar una red subterránea habrá que determinar si la zona de reubicación no presenta algún riesgo sísmico o geotécnico (Anspach, 2010).
- Procurar que los trabajos SUE comprendidos en un mismo estudio sean realizados por un solo equipo de profesionales y evitar subcontratar un tercero para algún servicio particular, pues esto puede afectar la calidad de los resultados finales (Vine, 2014).
- Tomar como referencia los niveles de calidad de información de SUE dentro de un proyecto de manera secuencial y verificar que los datos recopilados estén correctamente correlacionados para facilitar la detección de discrepancias y conflictos en cada etapa del proyecto (Vine, 2014).

Con la finalidad de proporcionar mayor eficiencia a la aplicación de SUE y promover la implementación del mismo, han surgido ciertos de proyectos de investigación, como se indica:

- Proyectos que permiten comprender cómo se compone un programa de gestión de infraestructura y recursos y cómo implementarlo según necesidades específicas (Anspach & Murphy, 2012).
- Proyectos que facilitan la gestión de los sistemas de mantenimiento computarizado para aeropuertos y que permiten identificar diferencias y necesidades del uso de las tecnologías disponibles para realizar esta labor (Anspach & Murphy, 2012).

- Proyectos diseñados para identificar y desarrollar las mejores prácticas sobre gestión de información subterránea durante el desarrollo de un proyecto para que dicha información pueda emplearse y permita percibir los beneficios de SUE en proyectos futuros ejecutados en la misma zona (Anspach & Murphy, 2012).
- Proyectos que pretenden mejorar los equipos electromagnéticos de detección (entre ellos el GPR) y complementarlos con un nuevo tipo de sistema de ondas elásticas (basado en técnicas de reflexión y refracción sísmica), para optimizar la calidad de la información recopilada sobre las redes subterráneas y obtener información adicional sobre las condiciones del terreno (profundidad del nivel freático, material de conformación del pavimento, etc.) (Anspach & Murphy, 2012).
- Proyectos que buscan desarrollar tecnologías que combinen emisiones acústicas, RFID, reflexión sísmica, GPR y otros equipos electromagnéticos que permitan ubicar todas las redes subterráneas presentes en una zona determinada bajo cualquier condición de terreno, sin necesidad de excavación, a gran profundidad o de difícil detección debido a la presencia de instalaciones poco profundas (Anspach & Murphy, 2012).

Anspach & Murphy (2012) describen, además, algunas sugerencias a tomar en cuenta para futuras investigaciones con respecto a SUE, tales como:

- Incrementar la capacitación sobre las prácticas de SUE al personal involucrado en labores de este tipo, facilitando recursos, guías y diversos documentos.
- Complementar el mapeo de la infraestructura subterránea de una zona determinada con los estudios geotécnicos que se realicen sobre la misma (que a veces incluyen perforaciones para exploración) para optimizar costos y mejorar la calidad de la información disponible.
- Establecer pautas para determinar los costos que demandará aplicar SUE en determinados entornos, teniendo como referencia los costos por metro lineal, por área, etc. según la situación lo requiera.
- Desarrollar un modelo de base de datos común, similar, compatible con bases de datos de diversas entidades o compañías que manejen la misma información para fines diversos (rediseño, mantenimiento, etc.). Asimismo, que la base de datos pueda trabajarse con metadatos que permitan incorporar información complementaria sobre los datos recopilados.
- Desarrollar estrategias (diagramas de flujo, listas de verificación, criterios de diseño, etc.) donde se considere la información disponible sobre infraestructura subterránea para incorporarla a lo largo del desarrollo de un proyecto, desde la etapa de planificación.

Con el paso del tiempo han surgido tecnologías más sofisticadas que pueden aplicarse a SUE para obtener resultados más eficientes. A continuación, se mencionan algunos ejemplos:

- Desarrollo de equipos que combinan técnicas de reconstrucción de imágenes en 3D y/o tomografía, tales como radares de penetración subterránea en 3D, tomografía por radar 3D, etc. Estos permiten procesar, analizar e inspeccionar a detalle gran cantidad

de datos de alta calidad, proporcionan múltiples vistas de la zona en estudio con gran precisión, pueden exportar la información a softwares como GIS, CAD o Google Earth, entre otros beneficios (3D-Radar AS, 2019).

- Integración de la visualización de realidad aumentada y del GPS para mejorar la percepción visual de los operadores de equipos de construcción durante trabajos de excavación. Para esto, el diseño de redes disponible en CAD debe superponerse de manera precisa sobre las transmisiones de video en tiempo real de determinada zona de excavación. Dichas transmisiones, se obtienen a través de una cámara colocada en el equipo de excavación, de la cual, se obtienen posiciones continuas a través del GPS para actualizar el sistema. Así, se podrá proporcionar una adecuada visualización y recepción de alertas al operador durante los trabajos de excavación para evitar daños y accidentes (Behzadan & Kamat, 2009).





## Capítulo 2

### Lineamientos de implementación

#### 2.1 Condición actual UDEP

Comprende una descripción general sobre la situación del campus universitario y su infraestructura subterránea.

##### 2.1.1 Información general de la institución y de la infraestructura

La Universidad de Piura (UDEP) fue fundada por San José María Escrivá de Balaguer en el año 1969 e inició sus actividades académicas el 29 de abril del mismo año.

El campus universitario en la ciudad de Piura está cubierto por gran cantidad de áreas verdes y se extiende sobre 130 hectáreas. La UDEP se conforma por seis facultades: Ingeniería, Ciencias Económicas y Empresariales, Derecho, Comunicación, Educación y Humanidades, que ofrecen carreras profesionales a nivel de pregrado y posgrado. Su infraestructura se ha ido desarrollando de manera progresiva desde fines de 1968, iniciando con la construcción del Edificio Principal. Posteriormente se construyeron: el Edificio 80, los laboratorios de ingeniería mecánico-eléctrica, Edificio A, Edificio de Ingeniería Civil, Edificio de Gobierno, Ermita, Edificio de hidráulica y otras varias edificaciones, siendo el último el Edificio E inaugurado en el 2016. Actualmente, se tiene proyectado implementar una capilla universitaria y una biblioteca.

Así como se ha experimentado un gran desarrollo en edificaciones con el transcurso de los años, ha habido un gran crecimiento en los sistemas subterráneos e instalaciones necesarias para su operación, tales como el sistema de bombeo de aguas residuales; sistema de agua potable, pozo subterráneo y tanque elevado; sistema de redes eléctricas, incluidas 3 subestaciones eléctricas; sistemas de comunicaciones; entre otros.

**2.1.1.1 Instalaciones subterráneas.** Para contribuir a una adecuada y favorable ejecución de las labores en el campus universitario, este dispone de los siguientes sistemas subterráneos, según se indica:

- Sistema de redes eléctricas en media y baja tensión.
- Sistema de redes de agua.
- Sistema de redes de desagüe.
- Sistema de redes de drenaje pluvial.

- Sistema de redes de comunicaciones donde se considera fibra óptica para data center y telefonía.
- Sistema de redes de riego de áreas verdes.

**2.1.1.2 Información actual y registro de las redes subterráneas.** La información disponible sobre cada uno de los sistemas subterráneos del campus se encuentra registrada de manera física y digital. Algunos datos han sido representados en planos físicos (generalmente los más antiguos) y otros se encuentran registrados en planos as-built de manera digital (generalmente los más actuales). Para representación digital de la información sobre infraestructura subterránea los profesionales de la universidad utilizan el software AutoCAD.

A continuación, se describe brevemente parte de la información disponible sobre las redes subterráneas de la Universidad de Piura:

**2.1.1.2.1 Sistema de redes eléctricas.** Las acometidas subterráneas en media tensión van desde la red pública hasta las subestaciones que están dentro del campus. Las acometidas en baja tensión van desde las subestaciones hasta los distintos edificios del campus. Esta información está representada en planos con el recorrido referencial de los circuitos. La mayoría de los circuitos están directamente enterrados y muy pocos tramos están dentro de ductos.

**2.1.1.2.2 Sistemas de redes de agua.** Las tuberías del sistema agua potable son de diferentes diámetros, calidades y categorías. El anillo principal de agua potable, compuesto por tuberías de asbesto cemento de 4", recorre gran parte del campus y alimenta a varias cisternas y edificios. Los ramales secundarios son de tuberías de PVC de 2", 3" y 4" que van desde las cisternas a los edificios. A ningún edificio llega una tubería con diámetros inferiores a 2".

**2.1.1.2.3 Sistema de redes de desagüe.** Las tuberías del sistema son de diferentes diámetros y calidades. La mayoría de ellas son de asbesto cemento de 8". En los últimos edificios construidos todas las tuberías instaladas son de PVC de diámetros variables 8", 6" y 4".

**2.1.1.2.4 Sistema de redes de drenaje pluvial.** En algunos edificios existen tramos de tuberías que van desde dichos edificios a pozos percoladores cercanos.

**2.1.1.2.5 Sistema de redes de comunicaciones.** Los cables de acometida de fibra óptica son de las empresas proveedoras, algunos están enterrados directamente y otros tramos en ductos. La fibra óptica que va desde el Data Center principal a los edificios está instalada en ductos (se cuenta con un plano referencial del recorrido). Asimismo, existen algunos tramos de cables telefónicos que aún alimentan a algunos usuarios (estos cables deben desaparecer al incorporarse las redes de telefonía dentro de las instalaciones de data).

**2.1.1.2.6 Sistemas de redes de riego de áreas verdes.** La mayoría de los tramos de redes de agua de riego son de 2" y van desde las cisternas existentes a distintos ramales de riego. Algunos de estos ramales (por ejemplo: la cancha de futbol) tienen control automatizado.

**2.1.1.3 Unidades responsables de las instalaciones subterráneas.** Dentro de la organización de la Universidad de Piura existen 03 gerencias que se encargan del manejo de los sistemas subterráneos, ellas son: Gerencia de Infraestructura, Gerencia de TI y Gerencia Administrativa, las cuales dependen de la Administración General, como se indica en la Figura 2.

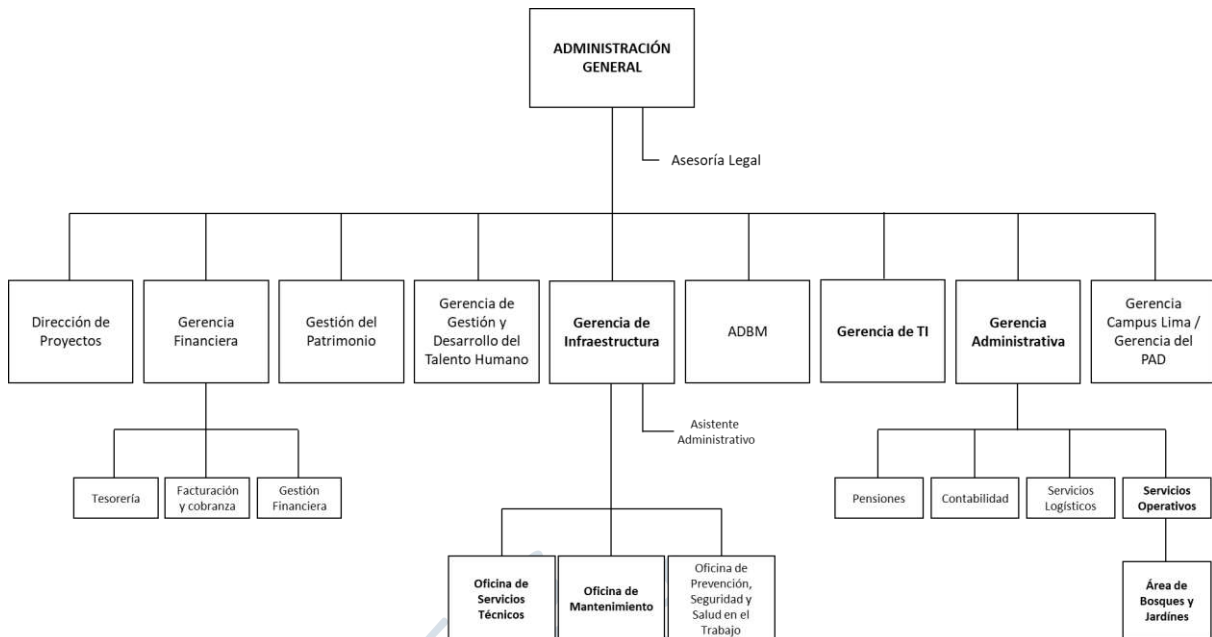


Figura 2. Organización de Administración General UDEP

Fuente: Información proporcionada por la Gerencia de Infraestructura de UDEP.

La Gerencia de Infraestructura tiene 03 oficinas a su cargo: Oficina de Servicios Técnicos, Oficina de Mantenimiento y Oficina de Prevención, Seguridad y Salud en el Trabajo. Las dos primeras se encargan de gestionar la mayor cantidad de instalaciones en la universidad. Los sistemas de redes eléctricas, agua, desagüe y drenaje pluvial son gestionados por Mantenimiento. En caso se construya un nuevo edificio o se realice un nuevo proyecto de redes subterráneas, interviene la Oficina de Servicios Técnicos. Luego, el proyecto ejecutado queda a cargo de Mantenimiento.

La Gerencia de TI se encarga de gestionar todas las redes de comunicaciones e interactúa con la Gerencia de Infraestructura para coordinaciones diversas.

Dentro de las dependencias de Gerencia Administrativa se encuentra el área de Servicios Operativos que está a cargo del área de Bosques y Jardines. Ésta última se encarga de gestionar los sistemas de redes de riego de áreas verdes.

La comunicación fluida entre estas gerencias, oficinas y unidades favorecerá la gestión de información de las redes subterráneas.

**2.1.1.4 Trabajos relacionados con instalaciones subterráneas.** En la universidad se han realizado diversos trabajos en redes subterráneas, entre ellos:

- Ampliación de servicios y nuevos proyectos de redes subterráneas, a cargo de la Oficina de Servicios Técnicos.
- Reparación a los grifos contra incendios de manera preventiva, a fin de garantizar la seguridad ante la ocurrencia de algún siniestro.
- Mantenimiento reactivo a los diversos sistemas de redes subterráneas, por ejemplo: la reparación de los sistemas de agua y alcantarillado, en atención a la disminución en la presión normal y estancamiento de flujo, respectivamente. Sin embargo, la mayoría de ellos no

tienen un programa de mantenimiento rutinario o preventivo. En el caso de elementos como cisternas o equipos de bombeo sí se realizan trabajos de mantenimiento rutinario. Estos trabajos están a cargo del área de Mantenimiento.

**2.1.1.5 Procedimientos relacionados a las redes subterráneas.** Existen algunos procedimientos empleados por las áreas que manejan redes subterráneas, así:

- En los últimos edificios construidos se ha implementado un formato de acta de entrega de los nuevos proyectos de la Oficina de Servicios Técnicos al área de Mantenimiento cuando éstos se han culminado.
- En ocasiones, se realiza un monitoreo general de las redes del campus para determinar la necesidad de un mantenimiento preventivo y se establecen prioridades para su ejecución en función al uso de cada servicio.
- La atención brindada ante algún inconveniente presentado se programa en función de la magnitud del problema y el uso del servicio. Puede trabajarse en la solución de manera inmediata o asignarse las labores para unos pocos días después. Asimismo, en base a los mismos criterios, se determinará si el trabajo se ejecuta por administración directa o por terceros.
- A veces, de manera complementaria a la ocurrencia de algún desperfecto en los sistemas, se recurre a la información disponible en planos para verificar la trayectoria de las redes y facilitar la detección de la zona específica del problema.

**2.1.1.6 Problemas y necesidades.** Cuando se trabaja con redes subterráneas es posible que surjan algunos problemas y necesidades por motivos diversos. Entre ellos, los que se originan porque parte de la información subterránea se desconoce o no se conoce con exactitud.

Aunque la universidad no presenta puntos de congestión significativa de redes y cuenta con planos referenciales, el disponer de la ubicación precisa de los sistemas subterráneos puede reducir el tiempo que toma encontrar una red enterrada en un punto específico.

A continuación, se mencionan algunos inconvenientes experimentados en el campus universitario que están relacionados con instalaciones subterráneas, como se detalla:

- Demoras para solucionar fallas en las instalaciones. Pues no se dispone de la ubicación precisa de algunas redes subterráneas y, con ello, puede tomar más tiempo determinar el posible trayecto donde se ubique la falla generada.
- Daños a redes subterráneas a causa de agentes cercanos o, que se encuentran o circulan en superficie. Puede ser difícil establecer algún medio de prevención a estas exposiciones, pues no se dispone de la ubicación precisa de algunas redes subterráneas.
- Variaciones a algunos proyectos ejecutados. En diversos trabajos subterráneos programados no se consideró la posibilidad de reubicación de alguna instalación existente, pues se desconocía su presencia o no se disponía de su ubicación en la zona de trabajo.
- Ligeros sobrecostos en los trabajos de mantenimiento y reparación. En ocasiones, para realizar la proyección de estos trabajos no se considera la antigüedad de las redes subterráneas, pues, no siempre, se dispone de dicha información.

A partir de lo mencionado, se pueden identificar algunas necesidades sobre los sistemas subterráneos, tales como:

- Conocer la información precisa sobre la ubicación de las redes subterráneas para facilitar la localización de las fallas que puedan ocurrir en poco tiempo.
- Señalar el recorrido de los diversos tipos de instalaciones subterráneas existentes para facilitar su localización en el terreno y poder tomar precauciones ante la acción de algún agente externo.
- Disponer de una visualización general de los sistemas subterráneos que circulan en la universidad que permita determinar posibles conflictos en próximos proyectos a realizar.
- Conocer la información precisa o referencial sobre la antigüedad de redes subterráneas para programar trabajos de mantenimiento o reparación en plazos óptimos.

## **2.2 Unidad SUE en la Universidad de Piura**

En atención a las condiciones del campus universitario e infraestructura subterránea, así como los inconvenientes y necesidades antes expuestos, se plantea el establecimiento de una unidad que facilite la gestión de datos, considerando lo siguiente:

### **2.2.1 Justificación**

La UDEP es una institución que cuenta con más de 50 años de antigüedad, abarca una gran extensión y, progresivamente, ha desarrollado una infraestructura compuesta por edificios, caminos y áreas comunes. Para el buen funcionamiento y correcto desarrollo de las actividades diversas que allí se desarrollan, esta infraestructura se conecta a través de redes subterráneas de agua, desagüe, comunicaciones, electricidad, etc.

La inexistencia de registros de información subterránea o registros disponibles poco precisos pueden ocasionar diversos problemas: accidentes durante la ejecución de los proyectos, que implican daños a redes existentes, daños ambientales y daños a la superficie de trabajo; retrasos en el desarrollo de las actividades y, con ello, variaciones en la programación del proyecto; lesiones o accidentes al personal, incluso pérdidas de vida; interrupciones de los servicios ofrecidos; gastos adicionales por reparación y, con ello, variación en el presupuesto proyectado; etc.

La aplicación de la ingeniería de infraestructura subterránea o SUE, por medio de una unidad gestora de datos, reduce los inconvenientes mencionados. Emplear SUE para gestión de redes subterráneas en el campus universitario permitirá tomar mejores decisiones en las diversas fases del desarrollo de los proyectos, pues proporciona de un amplio conocimiento, preciso, confiable y actualizado de aquello que se extiende en el subsuelo. Permitirá también visualizar y analizar aquello que requiere mayor atención y cuidado, así como determinar posibles conflictos entre lo existente y lo proyectado. Durante la ejecución de los proyectos se pueden minimizar los daños ambientales, en la infraestructura y en la superficie de trabajo y, con ello, reducir costos de reparación y retrasos que eso implica; a la vez, se puede incrementar la seguridad en los proyectos, pues habrá una reducción en el riesgo de exposición a aquello desconocido que se encuentra en el subsuelo y evitará lesiones e, incluso, pérdidas de vida.

También, se pueden reducir los trabajos de reubicación de redes subterráneas durante la ejecución de proyectos y, con esto, los retrasos e incrementos de costos que supone realizar dichas labores. De esta manera, al reducir conflictos de infraestructura subterránea, retrasos y riesgos de seguridad, podrán elaborarse presupuestos y programaciones de proyectos más precisos y claros.

Incluso, el disponer de un conocimiento preciso y actualizado de la condición de las redes subterráneas permitirá determinar los trabajos que puedan atender las necesidades de mantenimiento, reparación o renovación de manera oportuna. Asimismo, la reducción de daños ocasionados a la infraestructura subterránea, como resultado de aplicar SUE, y la reducción del tiempo que de ello deriva, evitará interrupciones a los servicios básicos y otros servicios. Esto contribuiría a mantener las comodidades y el adecuado desarrollo de las actividades diversas realizadas en el campus universitario.

### **2.2.2 Propósito de la unidad**

El propósito general de la unidad gestora de información subterránea es registrar y proporcionar información referida a la ubicación y características de las redes subterráneas instaladas en el campus de la Universidad de Piura.

### **2.2.3 Políticas**

Es importante que la unidad gestora de información subterránea de la Universidad de Piura formule ciertas políticas de trabajo para favorecer el desarrollo de sus actividades de manera ordenada y eficaz, contribuir a la optimización de procesos, procedimientos y protocolos establecidos, y facilitar la adecuada interacción entre las personas que desempeñan funciones dentro de la unidad y la relación oportuna con las personas externas a la unidad.

A continuación, se sugieren algunas políticas de trabajo a establecer:

- Todo requerimiento de información sobre redes subterráneas debe ser canalizada a través de la unidad para obtenerla con la mejor calidad que esté disponible. Estos requerimientos servirán para orientar trabajos futuros de localización de redes.
- El cumplimiento de los plazos de atención establecidos permite que los centros que requieren servicios de la unidad puedan continuar con sus programas de trabajo.
- El conocimiento de los protocolos, procesos y procedimientos establecidos es importante para el desempeño del trabajo, por ello, la capacitación del personal en estas materias es necesaria.
- La supervisión de la aplicación adecuada de protocolos, procesos y procedimientos de manera permanente asegura los resultados previstos.
- La efectividad de protocolos, procesos y procedimientos implementados será revisada regularmente con la finalidad de mejorar el servicio.
- Los equipos son importantes para la ubicación confiable de las redes subterráneas, por ello, es necesario un oportuno mantenimiento, reparación, renovación u otra acción que asegure su confiabilidad.

- El empleo efectivo de equipos y software requiere que el personal que lo utilice se encuentre capacitado.

#### **2.2.4 Funciones de la unidad**

La unidad gestora de información subterránea de la Universidad de Piura tendría las siguientes funciones:

**2.2.4.1 Recopilación de información.** Para conformar una base de datos que permanezca consistente, actualizada y confiable, es necesario recopilar datos de manera efectiva. Ello implica buscar, reunir y verificar la información disponible de todos los sistemas subterráneos del campus universitario, así como una correcta toma de datos de los proyectos en ejecución y a futuro.

**2.2.4.2 Registro de información.** La información subterránea recopilada debe ser registrada y consolidada a través de una representación general que facilite el manejo de los datos y brinde una visualización amplia sobre las redes del campus. Esto contribuirá a la buena toma de decisiones para la ejecución de proyectos, detección de posibles conflictos en las diversas etapas de un proyecto, entre otras ventajas.

**2.2.4.3 Almacenamiento de información.** Cuando se conoce el grado de precisión, confiabilidad y se dispone de ciertas características sobre la información subterránea, conviene almacenarla de manera organizada; pues esto permitirá disponer de ella de manera efectiva y que aquel que la tome como referencia conozca el respaldo significativo que la información puede ofrecer.

**2.2.4.4 Entrega de información.** La información subterránea almacenada puede ser requerida por otras áreas de la universidad, personas o empresas externas. Esto implica que debe formularse algún tipo de solicitud o consulta, detallada y clara, para poder proporcionar, de manera ordenada, la información específica disponible y que esta satisfaga las necesidades del solicitante.

**2.2.4.5 Marcado y supervisión.** Previo a la formulación o ejecución de un proyecto, es necesario realizar una visita al terreno en cuestión para determinar ciertos alcances. En el caso de UDEP, para proyectos subterráneos, se podrá recurrir a la información disponible en la unidad gestora de información subterránea.

La información oportuna, señalización de redes en el terreno y supervisión apropiada, contribuirán a que los trabajos de inspección o verificación en campo se realicen eficientemente.

#### **2.2.5 Organización del trabajo**

Dado que la gerencia que gestiona la mayoría de las redes en el campus universitario es Infraestructura, se propone que la unidad gestora se incorpore a ella (ver Figura 3). Esto facilitaría la gestión de gran parte de toda la información subterránea disponible con un mayor alcance y con la posibilidad de permanecer informados sobre los trabajos subterráneos para llevar un seguimiento de los mismos. Así, se podría disponer de información sobre nuevos proyectos, trabajos de mantenimiento o reparación de redes subterráneas, según estos se vayan realizando.

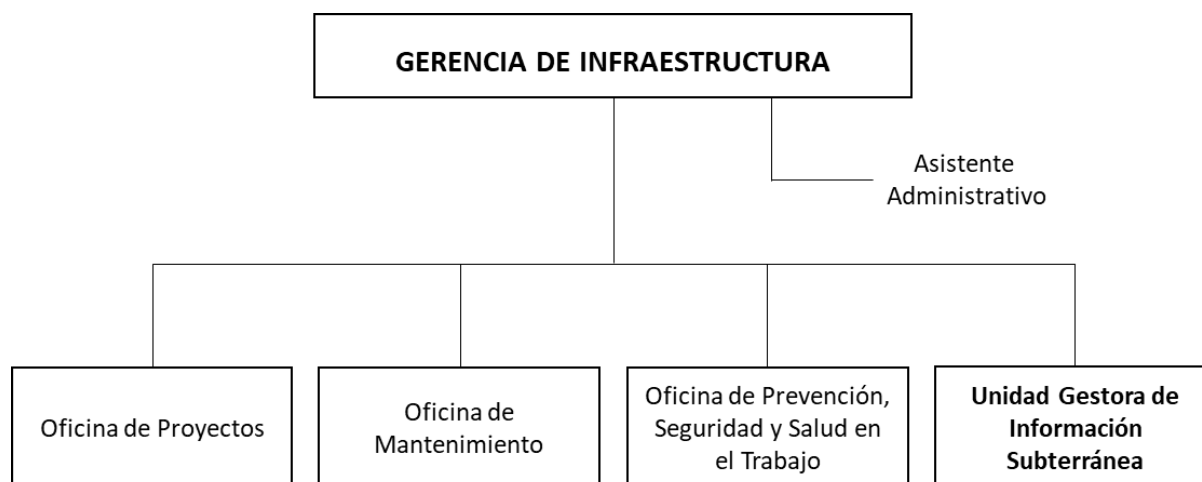


Figura 3. Esquema de Gerencia de Infraestructura de UDEP que considera la implementación de la unidad gestora de información subterránea.

Fuente: Información proporcionada por la Gerencia de Infraestructura de UDEP.

La unidad gestora de información subterránea de UDEP debe interactuar con las áreas que manejan redes subterráneas en la universidad, ello facilitará el acceso a toda la información subterránea, se tendrá una visión global de las redes del campus universitario y una representación más precisa y confiable.

### 2.2.6 Procesos

Para el desarrollo del trabajo de la unidad gestora de información subterránea se requieren algunos procesos, cuya ejecución ordenada, oportuna y eficiente, permitirán alcanzar el objetivo planteado. Estos procesos están relacionados con las funciones establecidas para la unidad gestora.

- Recopilación de información: búsqueda y reunión de datos sobre todos los sistemas subterráneos del campus universitario.
- Verificación de la información: contraste visual de diversos datos en terreno, con respecto a la información que se ha recopilado.
- Revisión y análisis de la información: selección de la información disponible que se va a representar.
- Representación de la información: procesamiento de la información seleccionada para visualizarla en 2D y 3D, acompañado de un informe que complementa lo que se ha trabajado.
- Almacenamiento de la información: archivo de datos, organizados según sus características y niveles de calidad de la información: A, B, C y D.
- Recepción de consultas o solicitudes: admisión de requerimientos por parte del constructor, que pueden ser presentados de manera física, virtual o telefónica.
- Provisión de información: provisión de información requerida por el solicitante, es decir, datos subterráneos seleccionados.
- Marcado de terreno: marcado en superficie de las redes subterráneas.

- Registro de información: registro de información sobre las características de las nuevas redes subterráneas

### 2.2.7 Recursos

**2.2.7.1 Personal.** Los profesionales que desempeñen tareas propias de la unidad gestora deberán poseer las siguientes competencias:

- Conocimientos generales sobre:
  - Conceptos de ingeniería de infraestructura subterránea.
  - Trabajos en redes subterráneas.
  - Instrumentos para detección de servicios subterráneos, así como sus capacidades y limitaciones.
  - Topografía: manejo de equipos, instrumentos y datos topográficos.
  - Manejo de uno o más softwares de diseño en computadora para representación de redes subterráneas.
- Capacidad para realizar las siguientes tareas:
  - Análisis, interpretación y síntesis de información subterránea, y resolución de posibles conflictos.
  - Otorgar confiabilidad y respaldo respecto a la información subterránea que se recopile, procese, represente, almacene, organice y distribuya.
  - Recopilar información subterránea disponible y aquella que se obtenga de manera posterior, durante la ejecución de trabajos.

**2.2.7.2 Equipos.** Para la ejecución de las tareas que contribuyan al buen funcionamiento de la unidad gestora propuesta para la Universidad de Piura se requerirá de diversos equipos, instrumentos y recursos particulares.

Los recursos que se mencionan a continuación pueden emplearse para una primera etapa de implementación de la unidad y será necesario que se mantengan en óptimas condiciones para su uso.

**2.2.7.2.1 Computadoras.** Es necesario disponer de una computadora para realizar las funciones básicas donde se considere lo siguiente: elaboración de documentación general, almacenamiento, envío y recepción de la información subterránea, etc.

Será necesario también un equipo que cuente con gran capacidad de procesamiento y almacenamiento para poder recopilar, guardar y procesar la información sin complicaciones.

**2.2.7.2.2 Plotter e impresoras.** El plotter facilitará que la información consolidada y representada de manera digital pueda visualizarse a través de un medio físico, en campo, para realizar las diversas actividades que allí se programen. Asimismo, será necesario contar con una impresora para poder imprimir documentación diversa que sea requerida.

**2.2.7.2.3 Software.** La representación de los datos subterráneos requiere un software que permita modelar superficies, generar perfiles longitudinales, diseñar sistemas de redes subterráneas con elementos como tuberías, accesorios, buzones, cajas y otros, visualizar los sistemas en planta, perfil y secciones transversales, indicar propiedades a los elementos del sistema (diámetro, pendiente, material, tipo, etc.), etc.

Una opción viable es AutoCAD Civil 3D, con una tarjeta de video de gama alta para una correcta visualización de la información representada. Se puede trabajar de manera complementaria al Civil 3D con softwares que faciliten la ejecución de algunas tareas, tales como análisis de conflictos entre tuberías en Autodesk Navisworks, visualización detallada y efectiva del diseño en Autodesk Infracore, entre otras.

**2.2.7.2.4 Equipos e instrumentos topográficos.** Es necesario disponer de teodolitos, niveles topográficos, miras, niveles de mano, GPS en condiciones correctas para su uso y manejados por personas capacitadas.

**2.2.7.2.5 Instrumentos de detección y herramientas para excavaciones.** Es necesario disponer de palanas, brochas y pisón de mano para realizar pequeñas excavaciones manuales que permitan la exposición de redes o estructuras subterráneas y el posterior relleno. Ello contribuirá a determinar de manera visual alguna característica particular que se estime necesaria y, a la vez, validar y completar información que se tuviera disponible.

En ocasiones, de manera previa o complementaria a la exposición de redes en el terreno, o con la finalidad de evitar esta labor, se puede considerar emplear algunos instrumentos de detección no destructivos para determinar la presencia de las redes y algunas de sus características.

La determinación de los equipos a emplear resulta una decisión compleja pues ello dependerá de la actividad para la cual se requiera y del tipo, material, profundidad y otras características de las redes subterráneas.

En el campus universitario, tuberías de asbesto cemento y de PVC han sido instaladas para los sistemas de agua, riego y desagüe; asimismo, otros sistemas, como los de electricidad y comunicaciones, están compuestos por cables metálicos o fibra óptica. De acuerdo a esto, los instrumentos y métodos de detección más apropiados deberían ser los siguientes:

Si se trata de profundidades no mayores a 1.80m es conveniente trabajar con un radar de penetración terrestre porque permite detectar redes de diferentes materiales: metálicas y no metálicas (PVC o asbesto cemento, por ejemplo) y no requiere de manera indispensable un punto de acceso a la red. Este instrumento operará con mayor precisión si se trata de un suelo con baja conductividad y alta resistividad. Sin embargo, puede ser complicado detectar tuberías de alcantarillado con este equipo pues suelen tener tramos profundos. En tal caso, dado que se trata de tuberías parcialmente llenas, convendría utilizar la inserción de sonda. Este método alcanza una profundidad de hasta 4.60 m y podría aplicarse con redes metálicas y no metálicas donde haya algún espacio para que la sonda pueda desplazarse en los conductos o tuberías, por ejemplo: en los sistemas eléctricos o de telecomunicaciones. Asimismo, si se dispone de una sonda especial la profundidad de trabajo puede llegar hasta 15.20 m. En caso se trate de tuberías llenas con agua podrían emplearse emisiones acústicas con una profundidad de hasta 2.00m.

Si se trata de redes metálicas a profundidades no mayores de 4.60 m podrían emplearse detectores de cables y tuberías o medidores de conductividad del suelo, o si las redes son superficiales (hasta 0.60 m) sería posible emplear detectores de metales. Al utilizar estos dispositivos, habrá que tener especial cuidado en los pavimentos de concreto armado pues pueden afectar e impedir el paso de señales electromagnéticas en el suelo. En estos casos se requerirá de alguna fuente de información para determinar la ubicación de redes, como son:

medidores y cajas de fusibles (sistema eléctrico), cajas de empalme y de registro (sistema de comunicaciones), etc.

Asimismo, de manera posterior, podrían emplearse detectores de cables y tuberías, para redes no metálicas (PVC, concreto, asbesto cemento, etc.) donde se hayan instalado cintas metálicas o cables de rastreo que faciliten su detección; también podrán colocarse marcadores electrónicos para detectarlos a través del sistema de marcador electrónico. Ello permitiría detectar el recorrido de las redes en sistemas de agua, desagüe, riego, etc. donde se tome como referencia válvulas y cabezales de rociadores (sistemas de agua y riego), buzones (sistema de desagüe), etc.

Además de estos equipos y métodos, existen algunos ya descritos que pueden emplearse en situaciones particulares o cuyo uso no es frecuente porque su costo es muy elevado.

En función a la información disponible por parte de las áreas encargadas, pueden determinarse factores adicionales a los indicados previamente, como son: el tipo de suelo, la profundidad de la infraestructura, concentración de objetos circundantes a la infraestructura y otros que contribuirán de manera mucho más precisa a la selección del equipo de detección adecuado. Este deberá encontrarse en condiciones adecuadas para su uso y ser manipulado por personal capacitado.

La decisión final, sin embargo, debe tomar en cuenta también la disponibilidad del equipo, el presupuesto y el plan de implementación.

Debido a la poca frecuencia de uso que se espera, lo recomendable es alquilarlas. Alternativamente se puede contratar los servicios de detección no destructiva: excavación aire/vacío o excavación agua/vacío. Esta solución permite inicialmente, mientras se adquiere experiencia, garantizar información fidedigna.

## **2.3 Estrategia de Implementación**

Tomado en consideración los requerimientos previos de información - características y cantidad - así como su proyección futura, se propone una implementación progresiva de la unidad en dos grandes etapas:

### **2.3.1 Constitución de la unidad gestora SUE y registro de información disponible**

Esta primera etapa comprende la asignación de recursos, determinación de actividades, programación de capacitaciones y desarrollo de procedimientos y protocolos, necesarios para que la unidad gestora de información subterránea pueda constituirse y mantener un funcionamiento adecuado.

Asimismo, la unidad gestora, en esta fase, estará orientada al registro de la información que se encuentra archivada por las diferentes oficinas que manejan las redes subterráneas en el campus universitario. Lo cual implicará analizar y seleccionar la información física y digital disponible provista en función a una estructura de datos establecida que facilite el procesamiento de la información de manera centralizada en el software propuesto. Para ello se pueden considerar las siguientes categorías de información: completa e incompleta, y validada o no validada, a partir del nivel de calidad que se defina para cada registro en específico.

Es decir, que esta primera etapa abarcará el registro digital preliminar consolidado de todos los datos y la asignación de las categorías indicadas. Esto permitirá determinar aquello que se encuentra pendiente y progresivamente, validarlo como parte una segunda etapa de implementación.

### **2.3.2 Operación y registro progresivo de información subterránea**

En paralelo a la operación de la unidad, se plantea la elaboración de un plan de registro de información, así como la ejecución progresiva de actividades que contribuyan al mantenimiento y validación de dicho registro de manera ordenada y efectiva.

La información registrada durante esta fase comprenderá aquella que resulte de nuevos trabajos subterráneos: mejoramientos, ampliaciones, etc., y aquella que permita completar y validar los datos disponibles para actualizar las categorías de información establecidas, cuyo procesamiento se inició en la primera etapa. Asimismo, podrá incorporarse información que surja durante la validación y que no haya sido registrada previamente.

Así, de acuerdo a las actividades determinadas, se podrá evaluar la posibilidad de alquiler de equipos para obtención de datos en situaciones particulares; o si se considera oportuno, dado que sería para proyectos específicos, la recopilación y registro digital de la información pueden ser solicitados a terceros, teniendo claro el plan de registro establecido y el compromiso requerido para mantener la precisión y confiabilidad de los datos.

En el apartado 2.4.3. se precisan más detalles sobre el plan de operación.

## **2.4 Actividades iniciales**

Para desarrollar la estrategia de implementación propuesta, en ambas etapas y de manera ordenada, se requiere definir un conjunto de actividades necesarias para su materialización, elaborar un presupuesto y un programa de ejecución. En seguida se describen aquellas actividades que se consideran las más importantes.

### **2.4.1 Plan de desarrollo de la unidad**

Comprende el período donde se establecen las primeras consideraciones para la constitución de la unidad y registro de información disponible. Se han considerado las siguientes actividades:

**2.4.1.1 Especificaciones para el registro, representación y almacenamiento de información.** Para facilitar la gestión de datos, conviene establecer ciertas consideraciones que permitan organizar toda información inicial subterránea del campus universitario y, a la vez, tomar decisiones apropiadas de manera previa a su representación. Para tal labor, se puede tomar como referencia una estructura de datos subterráneos donde se considere: tipo, diámetro, profundidad, antigüedad, material, nivel de calidad de la información, etc.

Cuando se ha organizado y seleccionado dicha información, se podrá iniciar la elaboración del diseño que la consolide de manera clara y ordenada, se deberá definir códigos de colores, características de las líneas, estructura de capas para la representación de las redes, etc. En este proceso deberá evaluarse las capacidades del software disponible.

Conviene que la información representada sea complementada con un documento que indique la cantidad de información que se ha procesado hasta dicha fecha, la estructura de datos considerada, los puntos donde existe mayor congestión de redes y otros alcances que faciliten la interpretación de lo procesado.

Cuando ya se haya establecido como se representará la información de las redes, se deberá definir como se almacenará y organizara los archivos. Para ese propósito deberá tomarse en cuenta el tipo de red, el nivel de calidad de la información y cualquier otra característica que se vea conveniente para disponer de la información de las redes con facilidad.

**2.4.1.2 Desarrollo de procedimientos.** Conviene establecer procedimientos que permitan la ejecución ordenada y consistente de las funciones propuestas para la unidad gestora. Su desarrollo será progresivo, de acuerdo con los resultados obtenidos se deberá hacer modificaciones. Se necesitarán procedimientos para:

**2.4.1.2.1 El levantamiento, registro, representación y almacenamiento de información disponible.** La unidad gestora de información se encargará de recopilar la información disponible de manera física o digital que se haya consolidado en expedientes, planos, informes, etc.

El procedimiento de levantamiento debe contemplar la participación de las diferentes oficinas que manejan redes subterráneas. Debe determinarse el medio a través del cual la información será proporcionada, el tiempo necesario para su disponibilidad y la condición o estado de la información (sin información, incompleta a nivel de anteproyecto, completa a nivel de anteproyecto, incompleta a nivel de proyecto, etc.)

Se deberá establecer, para etapas futuras, procedimientos para el cambio de condición o estado de la información.

También se deberá establecer procedimientos para la recopilación de información durante la ejecución del proyecto, de preferencia a zanja abierta, para garantizar su precisión y confiabilidad, en los niveles de calidad deseados, bajo la supervisión adecuada. Es importante que el procedimiento contemple el contraste de los datos recopilados por la unidad, con respecto a los datos del ejecutor del proyecto para evitar incongruencias e inconvenientes posteriores. Los procedimientos que se desarrollen deben propiciar una comunicación constante en las diversas fases del proyecto, entre la unidad y el ejecutor (directo o externo), principalmente, para mantener la precisión y confiabilidad de los datos.

Finalmente, los procedimientos para el registro, representación y almacenamiento de la información deberán adecuarse a lo establecido para ese propósito.

**2.4.1.2.2 La atención a consultas o solicitudes para la prestación de servicios.** Las solicitudes o consultas deberían poderse presentar de manera física, virtual o telefónica. Estas deberían proporcionar descripciones y referencias adecuadas para una buena atención.

Dependiendo del tipo de solicitud o consulta formulada, se debe establecer su período de atención, cómo se proporcionará la información almacenada (impresa o digital), cómo se realizarán las visitas técnicas o inspecciones a la zona en cuestión, y cómo se realizará el marcado en terreno para la ubicación de las redes subterráneas.

Previo a la ejecución del proyecto, es posible que el ejecutor requiera información subterránea que ya se tiene almacenada o solicite alguna visita, inspección preliminar o marcado de las redes en el terreno que le permita organizar actividades en campo, identificar posibles accesos, priorizar trabajos en zonas despejadas, incrementar el cuidado con zonas de alta congestión de redes, etc. Las tareas solicitadas deberán realizarse con la supervisión respectiva por parte de la unidad y de acuerdo a los procedimientos establecidos para ese propósito.

**2.4.1.3 Selección y provisión de recursos.** Para la operación de la unidad será necesario proveerla de recursos (software, equipos, y personal). Previamente deberá evaluarse las alternativas disponibles y seleccionar lo más adecuado para la operación inicial.

Un software viable para el registro digital de la información es AutoCAD Civil 3D. En la universidad ya se tiene experiencia trabajando con softwares de Autodesk para la representación, visualización y almacenamiento de información.

AutoCAD Civil 3D ha sido empleado de manera exitosa en proyectos que involucran redes subterráneas, tales como *Factory site design & precise pipeline management system* [Diseño del terreno de fábrica y sistema de gestión de tuberías, con precisión] en Corea, *region of Peel Ontario – Water distribution* [Sistema de distribución de agua en la región de Peel, Ontario] en Canadá, *Subsurface utility engineering investigation – Alexander street* [Investigación de ingeniería de infraestructura subterránea en la calle Alexander] en Estados Unidos, etc., donde facilitó el modelado y visualización de redes subterráneas y la simulación de condiciones superficiales en la zona de instalación (Autodesk, 2013). El software mencionado permite, además, incorporar atributos sobre las redes subterráneas (tipo, material, antigüedad, nivel de calidad de la información, etc.), diferenciarlas a través de capas, asignación de colores, tipos de línea, inserción de símbolos, etc.

Al finalizar la primera etapa de implementación, la carga de trabajo estará en función a las necesidades, proyección y presupuesto del área responsable. Se contempla tareas como la validación de la información consolidada y el registro de información recientemente identificada, los trabajos de ampliación o mejoramiento, el requerimiento de datos disponibles, etc. En atención a ello y dependiendo de la magnitud, dichas labores podrían asignarse a un miembro de la Oficina de Servicios Técnicos. El personal de esta oficina tiene la formación básica necesaria para llevar adelante las tareas de la unidad y cuenta con equipo de cómputo en el que se podrá instalar el software para el registro de la información sobre redes subterráneas.

Si las actividades de recopilación y registro de información son subcontratadas, habrá que solicitar la documentación que acredite que quienes están trabajando en ello cuenten con el conocimiento debido para que la actividad se realice de manera eficiente y se conforme una base de datos consistente y de calidad.

A futuro deberá evaluarse la conveniencia de la detección y localización de las redes con recursos propios o a través de subcontratos. De acuerdo a ello se podrá adquirir progresivamente los equipos necesarios.

**2.4.1.4 Capacitación.** Es necesario diseñar y poner en marcha un programa de capacitación que le permita al personal designado a la unidad realizar sus tareas de forma

correcta y eficiente. Debería contemplarse una capacitación general sobre ingeniería de infraestructura subterránea y sobre el uso del software seleccionado.

#### **2.4.2 Implementación cronograma-presupuesto**

Conviene establecer un orden de ejecución de actividades según un cronograma que podrá ajustarse en función al rendimiento que se verifique durante el desarrollo de labores. Así mismo, es importante elaborar un presupuesto para conocer las implicancias económicas vinculadas a la implementación de la oficina. Para ello se sugiere considerar los siguientes ítems que contemplen las actividades iniciales, como se indica:

#### **Primera etapa: Constitución de la unidad gestora SUE y registro de información disponible**

Constitución de unidad SUE

- Personal
- Recursos
- Capacitaciones
- Desarrollo de especificaciones y procedimientos

Registro de información disponible

Análisis de datos

- Recopilación de información física y digital disponible
- Definición de niveles de calidad y estructura de datos para representación
- Selección y organización de información

Digitalización de datos

- Representación de la información en el software seleccionado

#### **2.4.3 Plan de operación**

La principal actividad en esta etapa es el desarrollo del programa de localización y registro de las redes subterráneas.

Este programa debería ser consensuado con las partes interesadas y la secuencia que se establezca debe responder a algún criterio de prioridad, por ejemplo: la antigüedad de red subterránea, pues contribuirá en la toma de decisiones referentes al mantenimiento, renovación o ampliación de las redes, de manera oportuna. Asimismo, facilita la posibilidad de prevenir, anticiparse o brindar pronta atención a eventuales fallas en los sistemas. Otros criterios de prioridad que pueden considerarse serían: el tipo de material y profundidad de red subterránea, pues contribuirán a la selección apropiada de métodos de detección de manera posterior y permitirán tomar las precauciones necesarias para evitar inconvenientes en caso se realicen trabajos poco profundos en la zona de las redes existentes.

Deberá considerarse en el programa, la precisión con la que se localizará y registrará las redes subterráneas. Se puede tomar como referencia los niveles de calidad de información de SUE. Zonas con mayor congestión de redes subterráneas, de difícil acceso, de tránsito

superficial frecuente, etc. requerirán gran precisión, habrá otras que por el contrario no requerirán un nivel elevado de precisión. Datos asociados a los diferentes niveles de calidad y precisión deberán ser establecidos.

El programa debe incluir lineamientos para definir si la localización se realizará de manera directa, solicitando el alquiler de equipos de detección o empleando los equipos e instrumentos topográficos y las herramientas para excavaciones, sugeridos, o si esta se hará mediante terceros. En este último caso, se deberá establecer los criterios para evaluar las capacidades técnicas y económicas de las propuestas.

Asimismo, se puede analizar la posibilidad de que la actividad de registro se maneje por proyectos: un proyecto inicial que implique la localización y el registro de información disponible, y proyectos posteriores, de magnitud menor al proyecto inicial, a través de los cuales, se vaya incorporando registros a la data, en función a la ejecución de proyectos con redes subterráneas. Esto último, correspondería a una segunda etapa de implementación.



## **Conclusiones**

SUE puede ser una herramienta efectiva para la gestión de redes en instituciones cuyas instalaciones están conformadas por varias edificaciones y sistemas subterráneos diversos, que abarcan extensiones considerables y que tienen proyecciones de crecimiento a nivel de infraestructura.

El conocimiento sobre las condiciones de las instalaciones subterráneas, adquirido a través de entrevistas o consultas escritas a las unidades responsables de las redes, la organización de las mismas, recursos disponibles, así como el conocimiento general sobre SUE, son fundamentales para formular sugerencias y propuestas sobre la implementación de una unidad gestora de redes subterráneas, acorde a las necesidades de las instituciones.

La información disponible y los antecedentes sobre las fallas o inconvenientes con redes subterráneas permiten establecer prioridades para la recopilación y registro de datos como parte de la labor de la unidad gestora de información subterránea.

El disponer de una estructura organizada encargada de las redes subterráneas, así como de recursos particulares, entre ellos, un software para representación, supone una ventaja para el monitoreo general y gestión de datos, pues independientemente de la ejecución de las labores (administración directa o por terceros) se podrá recurrir a la oficina propuesta y verificar la información subterránea consolidada a través del software disponible.

La implementación de la unidad gestora en dos etapas facilita el registro e incorporación progresiva de la información de manera ordenada y eficiente. La información disponible y aquella que resulte de futuros proyectos se encontrará consolidada y actualizada, de manera precisa y confiable.



## Referencias bibliográficas

- 24 Horas. (19 de abril de 2017). *Sedapal realiza operativo contra conexiones clandestinas de agua en San Luis* [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=8fE7x5CvUIA>
- 3D-Radar AS. (2019). *Examiner. 3D GPR data processing and analysis software* [Archivo PDF]. [http://3d-radar.com/wp-content/uploads/2019/03/Examiner3\\_Brochure\\_v01.pdf](http://3d-radar.com/wp-content/uploads/2019/03/Examiner3_Brochure_v01.pdf)
- American Association of State Highway and Transportation Officials & Federal Highway Administration. (diciembre de 2018). *2018 Implementation Highlights* [Archivo PDF]. [http://shrp2.transportation.org/Documents/home/SHRP2\\_2018\\_AnnualReport\\_web.pdf](http://shrp2.transportation.org/Documents/home/SHRP2_2018_AnnualReport_web.pdf)
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). [Descripción sobre AASHTO Scan]. <http://web.transportation.org/nchrp/20-68A/>
- American Society of Civil Engineers. (2002). *Standard Guideline for the Collection and Depiction of Existing Subsurface Utility Data: (ASCE/CI 38-02)*. Reston, Va.
- Anspach, J. (2010). *Utility location and highway design*. Bend, Oregon.
- Anspach, J., & Murphy, R. (2012). *Subsurface utility engineering information management for airports*. Washington D. C.
- Arcand, L. (2004). Subsurface utility engineering services gaining momentum in Ontario. *The Ontario Land Surveyor*. Summer 2004, 20-21.
- Australian Standards. (2013). *Classification of Subsurface Utility Information (SUI)*. Sydney.
- Autodesk. (2015). *Autodesk Infraworks* [Archivo PDF]. <https://www.cadstudio.cz/infraworks>
- Behzadan, A., & Kamat, V. (2009). *Interactive Augmented Reality Visualization for Improved Damage Prevention and Maintenance of Underground Infrastructure*. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41020%28339%29123>
- Bentley Systems Incorporated. (2003). *InRoads storm and sanitary* [Archivo PDF]. <http://www.ioes-co.com/src/contentfile/61.pdf>
- Bentley Systems Incorporated. (2009). *General Concepts* [Archivo PDF]. [http://www.cpp.edu/~hturner/ce127/pdf/02\\_General%20Concepts.pdf](http://www.cpp.edu/~hturner/ce127/pdf/02_General%20Concepts.pdf)

- Bentley Systems Incorporated. (2014). *Bentley subsurface utility engineering. Intelligent 3D feature-based modeling of the buried construction zone* [Archivo PDF]. [https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/files/documents/product-data-sheet/pds\\_bentley\\_subsurface\\_utility\\_engineering\\_ltr\\_en\\_lr.pdf?la=en&modified=20181026131152](https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/files/documents/product-data-sheet/pds_bentley_subsurface_utility_engineering_ltr_en_lr.pdf?la=en&modified=20181026131152)
- Bentley Systems Incorporated. (2017). *Software de modelado para el diseño y análisis de alcantarillado sanitario*. <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/sewerCAD>
- Bentley Systems Incorporated. (2017). *WaterGEMS CONNECT Edition. Modelado y gestión de sistemas de distribución de agua* [Archivo PDF]. [https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/files/documents/product-data-sheet/pds\\_watergems\\_ltr\\_es\\_lr.pdf?la=es-es&modified=20180116163226](https://prod-bentleycdn.azureedge.net/-/media/files/documents/product-data-sheet/pds_watergems_ltr_es_lr.pdf?la=es-es&modified=20180116163226)
- Bentley Systems Incorporated. (2021). *About Bentley Systems, Incorporated*. <https://www.bentley.com/en/about-us>
- Bentley Systems Incorporated. (2021). *OpenRoads - Civil Design Software for Road Networks*. <https://www.bentley.com/en/products/brands/openroads>
- Canadian Standards Association. (2011). *CSA S250 Mapping of Underground Utilities*. Mississauga.
- Comité técnico de ingeniería subterránea. (2015). *Ingeniería de infraestructura subterránea. Detección y mapeo de servicios básicos o infraestructura subterránea*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN.
- Dadafshar, M. (2014). *Accelerometer and gyroscopes sensors: operation, sensing, and applications* [Archivo PDF]. <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN5830.pdf>
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (2020). *Frecuencias*. <https://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum17/vdm020.htm>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken.
- Elizondo, J. (2019). *Tecnologías Sin Zanja. Sentido común*. <https://www.obrasurbanas.es/tecnologias-sin-zanja-sentido-comun/>
- Environmental Systems Research Institute. (2016). *Sistema de coordenadas State Plane*. <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/state-plane-coordinate-system.htm>
- Environmental Systems Research Institute. (2002). *¿Qué es ArcGIS?* [Archivo PDF]. [http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao\\_/what-is-arcgis-spanish.pdf](http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/what-is-arcgis-spanish.pdf)

- Farjas. (s.f.). *Método de Poligonación* [Archivo PDF].  
[http://ocw.upm.es/pluginfile.php/399/mod\\_label/intro/Teoria\\_Tema\\_6\\_Polig.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/399/mod_label/intro/Teoria_Tema_6_Polig.pdf)
- Farjas. (s.f.). *Aplicaciones Topográficas del GPS* [Archivo PDF].  
[http://ocw.upm.es/pluginfile.php/399/mod\\_label/intro/Teoria\\_GPS\\_Tema\\_12.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/399/mod_label/intro/Teoria_GPS_Tema_12.pdf)
- Farrera, L. (s.f.). *Conductores semiconductores y aislantes* [Archivo PDF].  
[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/\\_27503.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/_27503.pdf)
- Federal Highway Administration. (27 de junio de 2017). *SUE brochure*.  
<https://www.fhwa.dot.gov/design/sue/suebrochure.cfm>
- Ferreira, R., & Santos, V. (21 de septiembre de 2011). *State of the art total stations*.  
<https://www.gim-international.com/content/article/state-of-the-art-total-stations>
- Florida Department of Transportation. (Noviembre de 2016). *FDOT GEOPAK drainage for design* [Archivo PDF]. [https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/cadd/cadd/downloads/documentation/fdotgeopakdrainage/files/fdotgeopakdrainage.pdf?sfvrsn=4efdc545\\_0#page=5](https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/cadd/cadd/downloads/documentation/fdotgeopakdrainage/files/fdotgeopakdrainage.pdf?sfvrsn=4efdc545_0#page=5)
- Folger, P. (8 de junio de 2009). *Geospatial information and geographic information systems (GIS): current issues and future challenges* [Archivo PDF].  
<https://fas.org/sgp/crs/misc/R40625.pdf>
- Garrido, A. (2006). *Fundamentos de programación en C++*. Madrid.
- General Electric (GE). (2015). *Smallworld Core* [Archivo PDF].  
[https://www.ge.com/digital/sites/default/files/brochure\\_Smallworld\\_Core\\_GEA12683BE.V1.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/brochure_Smallworld_Core_GEA12683BE.V1.pdf)
- Geoavance. (2018). *¿Qué es y para qué se usa un distanciómetro?*.  
<https://geoavance.es/topografia/distanciometro/>
- GeoPotential. (s.f.). *Subsurface Utility Engineering and Glossary of Terms* [Archivo PDF].  
<https://www.geopotential.biz/PDF/SUE.pdf>
- Gido, J., & Clements, J. (2012). *Administración exitosa de proyectos*. México D.F.
- Gindis, E., & Kaebisch, R. (2018). *Up and running with AutoCAD 2018: 2D drafting and design*.
- Grinderud, K., Rasmussen, H., Nilsen, S., Lillethun, A., Holten, A., & Sanderud, O. (2009). *GIS: The Geographic Language of Our Age*. Oslo.
- Hatzopoulos, J. (2008). *Topographic mapping: covering the wider field of geospatial information science & technology (GIS&T)*. Boca Raton.
- Horenburger, R. (2011). *Subsurface Utility Engineering*. Philadelphia.
- Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento satelital*. Rosario.
- Integrgraph Corporation. (2014). *GEOMEDIA Powerful, Reliable GIS Management* [Archivo PDF]. <https://www.omnilink.com.au/docs/GeoMedia-Brochure-Partner-Omnalink.pdf>

- James Clerk Maxwell Foundation. (2015). *Electromagnetic Theory* [Archivo PDF]. <https://clerkmaxwellfoundation.org/Electromagnetics.pdf>
- Jeong, H., Abraham, D., & Lew, J. (marzo/abril de 2004). Evaluation of an Emerging Market in Subsurface Utility Engineering. *Journal of Construction Engineering and Management-ASCE*, 130, 225-234.
- Jeong, H., Arboleda, C., Abraham, D., Daniel, H., & Bernold, L. (2003). *Imaging and Locating Buried Utilities*. West Lafayette.
- Johnson Engineering. (2009). *Subsurface Utility Engineering*. <http://www.johnsonengineering.com/pdfs/Subsurface%20Utility%20Engineering%20Insert.pdf>
- Kaur, M., Sandhu, M., Mohan, N., & Sandhu, P. (febrero de 2011). RFID Technology Principles, Advantages, Limitations & Its Applications. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 3, 151 -157.
- Kemp, K. (2007). *Encyclopedia of geographic information science*.
- Lockhart, J. (2004). *Subsurface utility engineering: a feasibility study and guideline for Naval Facilities Engineering Command*. West Lafayette.
- Mercado, D. (20 de enero de 2019). Sedapal inicia evaluación de tuberías en San Juan de Lurigancho. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/1397729-aniego-san-juan-lurigancho-sedapal-inicia-evaluacion-tuberias-san-juan-lurigancho/>
- Mid-America Regional Council. (junio de 2003). *Potholing Practice* [Archivo PDF]. <http://www.marc.org/Government/Local-Government-Services/pdf/Potholing.html>
- Milla, J. (1 de junio de 2017). Detectan conexiones clandestinas de agua y desagüe en la Calle de las Pizzas. *RPP NOTICIAS*. <https://rpp.pe/lima/actualidad/detectan-conexiones-clandestinas-de-agua-y-desague-en-la-calle-de-las-pizzas-noticia-1054796>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Viceministerio de Transportes. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014). *Manual de carreteras. Diseño geométrico. DG-2014*.
- Mohammad, A. (2008). *Mapping the underworld: Integrated GNSS based positioning and GIS based GNSS simulation*.
- National Mapping and Spatial Data Committee. (2006). *Standard guideline for underground utility mapping*.
- Nawari, N., & Kuenstle, M. (2015). *Building Information Modeling: Framework for Structural Design*.
- Nodo Central de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú. (s.f.). *¿Qué son los metadatos?*. <http://www.geoidep.gob.pe/conoce-las-ides/metadatos/que-son-los-metadatos>

- Pachas, R. (23 de 11 de 2009). El levantamiento topográfico: uso del GPS y estación total. *Academia*, 3, 29-45.
- Pachas, R. (2010). Posicionamiento estático diferencial: errores y postproceso. *Academia*, 3, 5-19.
- Pallejá, E., Rodríguez, R., Usandivaras, J., Mayer, F., Cerrato, Á., & Parachú, O. (1996). *Estándares geodésicos (GPS)*. Buenos Aires.
- Peñafiel, J., & Zayas, J. (2001). *Fundamentos del Sistema GPS y aplicaciones en la topografía*. Madrid.
- Pitney Bowes Software Inc. (2015). *MapInfo Pro Version 15.0* [Archivo PDF]. <https://www.pitneybowes.com/content/dam/support/software/product-documentation/public/mapinfo-pro/v15-0-0/nl/mapinfo-pro-v15-0-0-user-guide-nl.pdf>
- Prakash, A. (2001). *Geographical information systems an overview*. [https://pdfs.semanticscholar.org/3bb7/20bab6f2564358923e6d07ce2f3bcb51352b.pdf?\\_ga=2.55876843.1352464777.1526385882-1777737732.1526385882](https://pdfs.semanticscholar.org/3bb7/20bab6f2564358923e6d07ce2f3bcb51352b.pdf?_ga=2.55876843.1352464777.1526385882-1777737732.1526385882)
- Procimec Ingeniería. (2019). *PROCIMEC*. <http://procimecingeneria.com/servicios/>
- Purdue University. (1999). *Purdue University Study. Cost Savings On Highway Projects Utilizing Subsurface Utility Engineering*. <https://www.fhwa.dot.gov/programadmin/pus.cfm>
- Rana, S. (Enero de 2011). *Subsurface Utility Engineering – A Cost Effective Method To Investigate Underground Without Excavation* [Archivo PDF]. <https://geospatialworldforum.org/2011/proceeding/pdf/Sanjay%20RanaFull%20Paper.pdf>
- Rao, G. (2010). *Global navigation satellite systems with essentials of satellite communications*. Visakhapatnam.
- Real Academia Española. (2021). <https://dle.rae.es>
- Rezendes, G. (2017). *Subsurface Utility Engineering “Damage Prevention Through Quality Engineering”*. Worcester.
- Scott, P., & Johnson, C. (2006). The many benefits of subsurface utility engineering. *Right of Way Magazine*.
- Servicio Geológico Mexicano. (2016). *¿Qué es la geofísica?* [Archivo PDF]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157796/Que-es-la-Geofisica.pdf>
- Singer, V. (2016). *The Subsurface Utility Engineering Process*. [https://cdn.ymaws.com/www.njspls.org/resource/resmgr/2016\\_SurvCon\\_Handouts/The\\_SUE\\_Process\\_December\\_201.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.njspls.org/resource/resmgr/2016_SurvCon_Handouts/The_SUE_Process_December_201.pdf)
- Sinha, S., Thomas, R., Wang, M., & Jung, Y. (2007). *Subsurface utility engineering manual*. Pennsylvania.

- Slaninka, K. (5 de marzo de 2013). *Subsurface Utility Engineering*.  
<https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1261&context=roadschool>
- State of Florida Department of Transportation. (27 de enero de 2020). *FDOT CADD Manual* [Archivo PDF]. [https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/cadd/downloads/publications/caddmanualfdm/caddmanualfdm-20210115.pdf?sfvrsn=d314eb3d\\_2](https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/cadd/downloads/publications/caddmanualfdm/caddmanualfdm-20210115.pdf?sfvrsn=d314eb3d_2)
- Sterling, Anspach, Allouche, Simicevic, Rogers, Weston, & Hayes. (2009). *Encouraging Innovation in Locating and Characterizing Underground Utilities*. Washington.
- SUE LATAM. (2017). *SUE LATAM*. <http://www.suelatam.com/>
- The British Standards Institution 2014. (2014). *Specification for underground utility detection, verification and location*.
- U.S. General Services Administration. (s.f.). *GSA*. <https://www.gsa.gov/>
- Uslu, B., & Sinha, S. (noviembre de 2015). *Subsurface Utility Engineering for Drinking Water and Wastewater Utilities* [Archivo PDF]. [https://www.researchgate.net/publication/287965557\\_Subsurface\\_Utility\\_Engineering\\_for\\_Drinking\\_Water\\_and\\_Wastewater\\_Uilities](https://www.researchgate.net/publication/287965557_Subsurface_Utility_Engineering_for_Drinking_Water_and_Wastewater_Uilities)
- Vine, K. (2014). *Subsurface Utility Engineering (SUE): Avoiding 4 Potential Pitfalls to Ensure a Successful Program* [Archivo PDF]. <http://conf.tac-atc.ca/english/annualconference/tac2014/s-18/vine.pdf>
- Witten, A. (1992). *Geophysical diffraction tomography: theory, implementation and results*. Oak Ridge.
- Zamarripa, M. (2010). *Apuntes de Topografía* [Archivo PDF]. <https://www.udocz.com/pe/read/98585/libro-apuntes-de-topografia-1>

**Anexo**





