

Procedimiento para la Detección Temprana de Interferencias Subterráneas en Proyectos de Infraestructura Urbana.

Ing. Diego T. Ficalora; Arq. Claudio E. Rimauro; Ing. Daiana P. Zafran
Piedras 1260 CABA, Argentina 011-4363-2872

dficalora@ausa.com.ar ; crimauro@ausa.com.ar ; dzafran@ausa.com.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta un procedimiento para la identificación, detección e incorporación como parte inicial en la elaboración de proyectos, de instalaciones y redes de servicios subterráneos que potencialmente podrían interferir o afectar la factibilidad de proyectos urbanos en zonas densamente pobladas.

La documentación conforme a obra que las prestatarias de servicios brindan usualmente difiere de los posicionamientos reales en campo. Por ello, se ve en juego tanto la viabilidad como el sistema estructural a utilizar para la construcción de un proyecto urbano. La elección de los mismos se encuentran altamente vinculados a la cantidad, tipo, y magnitud de los conductos de redes de infraestructura subterráneas en el área de la obra.

Se define como redes de infraestructura subterránea a conductos, cableados y estructuras tales como: cloacas, agua corriente, pluviales, energía, gas, telecomunicaciones, túneles, cámaras, y fundaciones de estructuras.

Actualmente no existe normativa tanto nacional como municipal que regule la utilización de los espacios subterráneos. Lo que actualmente se encuentra vigente es una serie de requerimientos exigidos por los Entes Nacionales que controlan a las empresas concesionarias en cuanto a materiales, separación a línea municipales, profundidades, protecciones, recaudos de seguridad, accesos, monitoreos, etc.

Se presentan en este trabajo diferentes casos donde este procedimiento ha sido aplicado.

1. Introducción

En este trabajo se presenta un procedimiento basado en 7 etapas para la identificación, detección e incorporación temprana a los proyectos de infraestructura urbana, del posicionado de redes de servicios subterráneos. Estas instalaciones deben ser identificadas para su evaluación, ya que pueden interferir con el desarrollo de los proyectos de construcción particularmente en zonas densamente pobladas.

La documentación conforme a obra que las prestatarias de servicios brindan usualmente difiere de los posicionamientos reales en campo. Por ello, se ve en juego tanto la viabilidad como el sistema estructural a utilizar para la construcción de un proyecto urbano. La aplicación del procedimiento reviste en importancia al constituirse como una herramienta de decisión para determinar la factibilidad física, económica y temporal de su ejecución. La elección de los proyectos a ejecutar se encuentran altamente vinculados a la cantidad, tipo, y magnitud de los conductos de redes de infraestructura subterráneas en el área de la obra. Se define como redes de infraestructura subterránea a conductos, cableados y estructuras tales como: cloacas, agua corriente, pluviales, energía, gas, telecomunicaciones, túneles, cámaras, y fundaciones de estructuras, entre otros

La remoción de las instalaciones que interfieran con el proyecto principal debe ser abordada mayormente al inicio de las obras. Es por ello, que el desarrollo incompleto de proyectos de infraestructura urbana pueden generar un efecto adverso al buscado, al ocasionar retrasos, si el plazo de ejecución, y por consiguiente molestias (cortes de calles, reducción de calzadas, y desvíos de tránsito), no se corresponde entre el estimado por el proyecto y el real ejecutado durante la etapa de construcción de la obra. Éstas son causas que retrasan el avance de obras necesarias en el desarrollo de las ciudades.

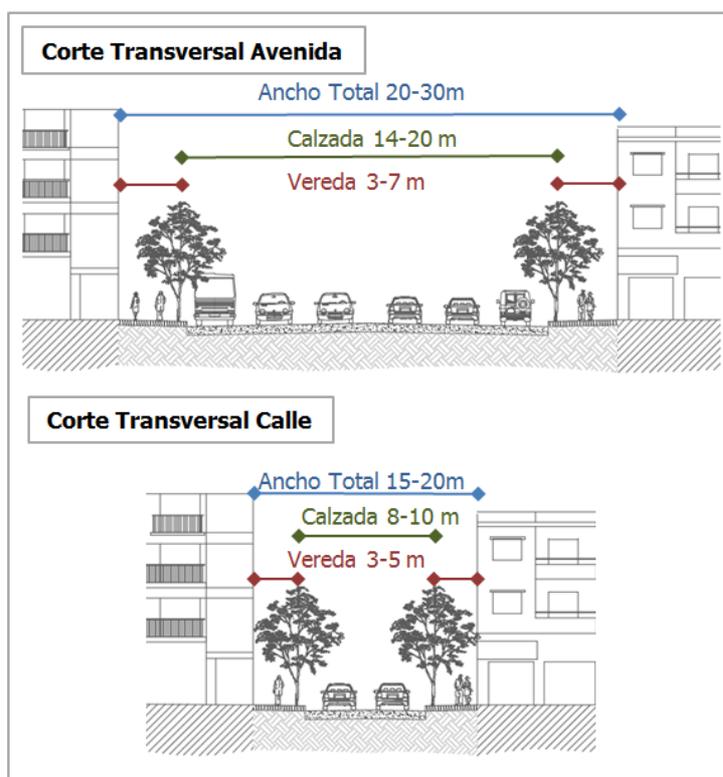
Con la implementación de esta metodología se pretende abordar este problema incluyéndolo dentro de los estudios iniciales en la ejecución de los anteproyectos licitatorios disminuyendo el nivel de incertidumbre. Este procedimiento ha sido de aplicación en más de 60 estudios de interferencias subterráneas realizados en el período 2010-2014 por la compañía Autopistas Urbanas S.A (AUSA) para la construcción de proyectos de infraestructura urbana en la Ciudad de Buenos Aires.

2. Proyectos Ejecutivos en Áreas Urbanas Densamente Pobladas

Las áreas densamente pobladas se caracterizan por una escasa disponibilidad del espacio público, acotada entre grandes edificaciones. La infraestructura correspondiente a distintos modos de transporte, la proyección de nuevas obras de tunelería como subterráneos, la ejecución de conductos pluviales, la ampliación e incorporación de nuevos trazados de redes (agua, cloaca, electricidad, gas, telecomunicaciones) y las obras de fundaciones de estructuras de gran porte; se disputan el uso del espacio subterráneo. Estas obras de infraestructura son llevadas a cabo por las administraciones públicas atendiendo a las demandas de poblaciones crecientes debido a una migración interna de zonas rurales hacia las grandes urbes y servicios obsoletos que deben ser reemplazados por nuevas tecnologías que permiten obtener mayor eficiencia de los recursos disponibles. En su gran mayoría, se intenta que los proyectos de infraestructura urbana sean planificados sobre el espacio público existente evitando expropiaciones de predios privados.

2.1 La Ciudad de Buenos Aires

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires cuenta con una superficie de 203,3km² y una población de 2.890.151 de personas, a las que se suman 1.204.533 adicionales que ingresan desde la Provincia de Buenos Aires a trabajar diariamente. Es un área con una densidad de habitante de 14.450,8 hab/km². La ciudad tiene un ejido urbano mayoritariamente del tipo cuadrícula que ha ido creciendo radialmente a su centro histórico por más de 200 años. [4],[5]



La Ciudad de Buenos Aires se encuentra en una llanura con variaciones de niveles muy pequeñas y suaves consecuencia del avance de la ciudad sobre el Río de la Plata y los cauces de ríos interiores de menor caudal hoy entubados.

El perfil transversal promedio del espacio público, de acuerdo a la cuadrícula urbana, suele ser el indicado en la Figura 1 con veredas y calzadas variables en ancho. Habitualmente una arteria principal suele tener veredas de 3 a 7m a ambos lados y una calzada central de 14 a 20m, generando una distancia subterránea pública disponible entre 20 y 30m entre líneas municipales. En cambio las arterias secundarias suelen tener un ancho de vereda de 3 a 5m y

un ancho de calzada entre 8 y 10m, generando una distancia subterránea disponible de unos 15 a 20m. Cabe destacar que las trazas troncales de las redes de servicios (mayores diámetros y peligrosidad) suelen estar emplazadas debajo de las calzadas de las arterias principales. Los servicios públicos domiciliarios se ubican debajo de las veredas. Por lo tanto, el espacio subterráneo disponible es escaso y tiene que ser estudiado en detalle.

2.2 Categorización de los Proyectos de Infraestructura Urbana

Con el fin de evaluar el potencial nivel de interferencia o superposición que el nuevo proyecto de construcción puede tener con aquellos existentes en las ciudades, es necesario efectuar una categorización de los proyectos de infraestructura subterránea en zonas urbanas densamente pobladas. La categorización de las obras subterráneas dispuesta en la Tabla 1 se efectúa en función del tipo de estructura a proyectar en relación a la magnitud y utilización del espacio subterráneo.

Tipo de Proyecto	Utilización del Espacio Subterráneo
Túneles	Extremadamente Alto
Redes Pluviales	Alto
Fundaciones de Puentes	Medio
Redes de Servicio Públicos	Medio
Fundaciones de Edificios	Bajo
Caminos	Bajo
Arquitectura	Nulo

Para todo tipo de proyecto es imprescindible la ejecución de un relevamiento topográfico completo del lugar. Este relevamiento debe permitir obtener los puntos característicos del área de influencia, y a su vez incorporar como puntos particulares todo tipo de cámaras, sumideros, bocas de registros, y gabinetes, que permitan advertir desde la etapa más temprana, la presencia de redes de servicios en la zona.

Tabla 1 Categorización de Proyectos.

Complementariamente y como trabajo preliminar para comenzar con el diseño y evaluación del nuevo proyecto, es necesaria la ejecución de un informe geotécnico mediante diferentes

estudios de suelos con sondeos y extracción de muestras en cantidad suficiente de acuerdo a la longitud de la traza de manera que permita identificar un perfil estratigráfico representativo. El estudio geotécnico debe informar la clasificación del suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (A. Casagrande), límites de Atterberg, ensayos triaxiales, y otros que permitan determinar las propiedades mecánicas y químicas del subsuelo a intervenir. [9],[10],[11], [12]

2.3 Características Geotécnicas de la Ciudad de Buenos Aires

Desde el punto de vista geológico, el perfil del subsuelo de la Ciudad de Buenos Aires se encuentra compuesto por la Formación Pampeano, la Formación PostPampeano y por debajo de ellas la Formación Puelchense. En algunos sectores la Formación Pampeano avanza en forma de talud y se intercala entre el Postpampeano y el Puelchense.

En los sectores próximos a la costa la Formación Postpampeano se compone de con materiales blandos, normalmente consolidados anisotrópicamente bajo condiciones de reposo. Por debajo de los 6 msnm ocupando los valles fluviales principales y la planicie estuárica del río de la Plata, aparecen depósitos limo-arenosos, de tipo ML de baja plasticidad y MH de alta plasticidad en los sedimentos arcillosos marinos. Todos los terrenos ubicados en cotas inferiores a 6 m poseen características desfavorables para la urbanización, dado las proporciones variables de arcillas expansibles y las malas condiciones de permeabilidad. Estos materiales aparecen principalmente en la zona norte y sur; la primera corresponde a una zona con una alta densidad poblacional (Belgrano, Nuñez, Saavedra y Palermo) por lo que al menos parte de los problemas edilicios en esas zonas se deben a las características geotécnicas del sustrato.

En cambio, sobre el sector adyacente a la costa de los ríos se encuentra la Formación Pampeano Se compone de un loess modificado preconsolidado por desecación y cementado con carbonatos de calcio y óxidos de magnesio. Éste se encuentra en los niveles superiores del perfil estratigráfico de la Ciudad de Buenos Aires, desde la superficie hasta una profundidad de 40 m y está compuesto por capas paralelas de arcillas y limos. Según su clasificación en la carta de plasticidad de Casagrande tanto los loess primarios como los redepositados se ubican muy cerca de la línea "A" y se los puede clasificar como ML, MH, CL o CH.

3. Redes Subterráneas de Servicios Públicos

Actualmente las grandes ciudades cuentan con una amplia oferta de servicios públicos, los cuales en su mayoría se disponen con trazas subterráneas. Se define como redes de servicios subterráneos a conductos, cableados y estructuras tales como: sanitarias, pluviales, energía, telecomunicaciones, túneles, y fundaciones (puentes, edificios, torres, etc).

De acuerdo a los más de 60 estudios realizados por AUSA fue posible conformar un muestreo de 12 arterias principales y 53 calles secundarias. De este universo de proyectos se desprende que las interferencias típicas presentes en calles, son las instalaciones de distribución domiciliaria de agua, cloaca, gas y electricidad (pequeños diámetros), desagües pluviales (400mm a 600mm), redes de telecomunicaciones (triturbos de fibra óptica). Para avenidas es común encontrar las anteriormente mencionadas y conducciones de mayor porte y complejidad como ternas de alta tensión (bloques de hormigón de 1,20m x 1,00m con tres ternas de cables de aluminio), gasoductos de alta presión (24"), conducciones de cloaca y agua principales (600mm a 1300mm), y conductos pluviales troncales (Modelos 1 a 13, 2000mm, secciones rectangulares).

3.1 Antecedentes entregados por las Empresas Prestatarias de Servicios

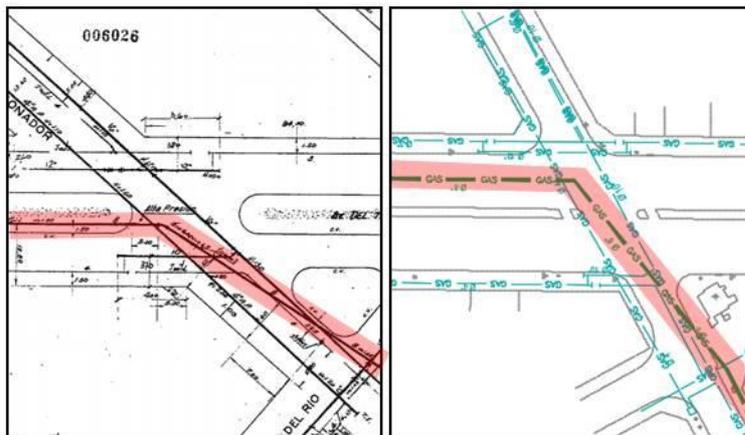


Fig. 2 Diferencia entre la documentación y el posicionamiento real.

La documentación conforme a obra que las prestatarias de servicios brindan usualmente difiere de los posicionamientos reales en campo. Habitualmente, las empresas de servicios envían documentación de sus instalaciones con referencias a puntos u objetos fijos con cotas, y longitudes imprecisas o inexistentes. A veces, las redes no cuentan con soporte digitalizado, ya sea por la antigüedad de su ejecución (en el casco histórico de la Ciudad llega a ser mayor a 100 años), porque no se exige

presentar planos, porque el posicionamiento detallado no es necesario para las empresas de servicios, porque los sistemas de tunelería dirigida generalmente no realiza líneas rectas o por la ejecución de planos conforme a obra mal ejecutados. Esto se debe a la falta de una normativa o legislación que obligue a utilizar posicionamiento tipo GIS para un buen planeamiento del espacio subterráneo urbano. [13]

El desconocimiento de las características de las redes (materiales, diámetros, tipos de cables, etc.) incrementa la incertidumbre y condiciona las alternativas de remoción y corrimiento de dichas instalaciones. Se puede observar en la Figura 2, a la izquierda, el plano otorgado por la compañía de proveedora de gas de la Ciudad de Buenos Aires donde se informa la traza de una gasoducto de alta presión y a la derecha, la real traza la red mencionada.

3.2 Normativa para la disposición de las trazas de redes

Actualmente no existe normativa a nivel nacional ni municipal que regule la utilización de los espacios subterráneos. La Ciudad de Buenos Aires dispone únicamente de una serie de requerimientos exigidos por los Entes Municipales y Nacionales (ENRE, ENARGAS, ERAS ENACOM, DG Hidráulica) encargados de controlar a las empresas concesionarias en cuanto a la utilización de materiales, la separación de los tendidos a líneas municipales, profundidades, protecciones, recaudos de seguridad, accesos, monitoreo, etc.

Ante la falta de un organismo de coordinación y una planificación urbana, es habitual la intervención sobre las redes de servicios de las empresas bajo el amparo de la emergencia que puede ocasionar a los usuarios el funcionamiento defectuoso o corte del servicio, implicando también riesgos de seguridad pública. Debido a ello, es común trabajar sin documentación ni planificación en cuanto al posicionamiento de los trazados incrementando la incertidumbre de la ubicación real de las trazas de las redes de servicio. Bajo estas circunstancias, resulta difícil realizar un control y seguimiento para las ciudades de la ubicación precisa de los servicios, los cuales podrían volcarse en un sistema GIS.

4. La Competencia por el uso del Espacio Subterráneo

Los proyectos de infraestructura urbana subterránea se intersectan en sus trazas con las redes de servicios públicos preexistentes. Por lo tanto, la escasez de espacio físico entre líneas municipales, genera una competencia por el uso del espacio subterráneo entre las prestatarias de los diferentes servicios públicos y las nuevas obras de infraestructura urbana.

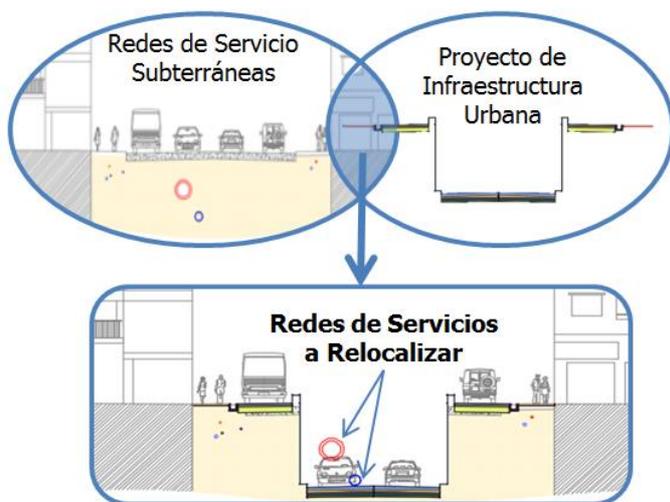


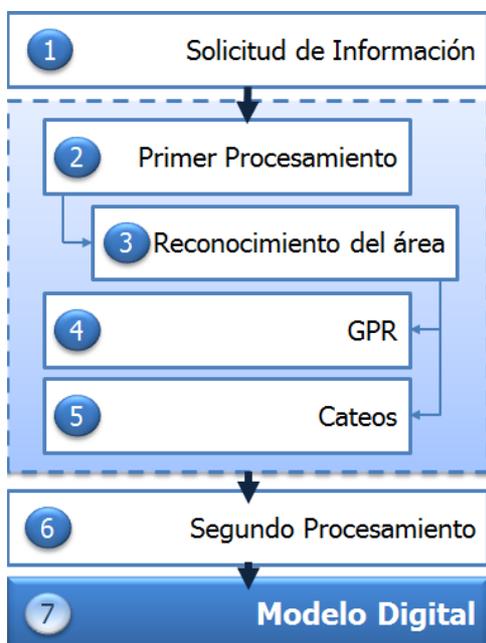
Fig. 3 Interferencia entre Redes de Servicios y Proyectos.

La falta de coordinación entre las redes de servicios y los nuevos proyectos de infraestructura urbana genera una disputa constante en el uso del espacio subterráneo, como se observa en la Figura 3. El no considerar su existencia o valerse únicamente de la información de las instalaciones documentada en los planos conforme a obra por parte del proyectista conlleva a un error de diseño. La magnitud, necesidad, complejidad, o plazo de remoción de las redes condicionará la factibilidad de las obras.

Todas estas características traen como consecuencia dos factores críticos a los proyectos de infraestructura urbana: aumentos no planificados en los presupuestos y partidas presupuestarias y demoras en los plazos.

5. Procedimiento de Detección de Interferencias

Se propone una solución a esta problemática mediante la incorporación al desarrollo de los proyectos de un *Procedimiento para la Detección Temprana de Interferencias Subterráneas*.



Este Procedimiento debe ser realizado en la etapa inicial del diseño y estudio del proyecto. Cuenta con 7 sub-etapas alternando trabajos de oficina y trabajos de campo en el lugar de la futura obra. Con los resultados obtenidos es posible estimar los costos que la remoción y/o corrimiento de las redes de servicio traerán aparejadas y el plazo que demandarán. A su vez, permiten estudiar variantes en cuanto al sistema constructivo, el sistema estructural adoptado y otros.

Para poder iniciar el procedimiento, es necesario contar con una topografía detallada de la zona, un estudio de suelos que permita la determinación de la napa freática y la clasificación del perfil estratigráfico sobre toda la traza potencial, y contar con esquemas básicos del proyecto que permitan identificar las superficies y volúmenes subterráneos a afectar con la nueva estructura. Las etapas del procedimiento y su diagrama de flujos pueden observarse en detalle en la Figura 4.

Fig. 4 Diagrama de Flujo de 7 Etapas

Este procedimiento ha sido incorporado como en práctica usual en los proyectos gestionados por la empresa AUSA en la Ciudad de Buenos Aires. Gracias a ello fue posible disminuir la dispersión presupuestaria y las extensiones en los plazos de manera considerable. En el Capítulo 7- Antecedentes se presentan diferentes ejemplos.

5.6 Etapa 1: Solicitud de documentación de las redes de servicios.

El proyectista solicita a las empresas prestatarias de los servicios la documentación de los tendidos de las redes en la zona de afectación del proyecto. Esta documentación puede ser recibida en formato digital o en papel. En esta etapa, se pretende recopilar de la forma más precisa posible toda la información disponible de las instalaciones en planta y en profundidad, y las características de las conducciones (diámetro, materiales, etc.).

5.2 Etapa 2: Modelo digital inicial del proyecto

Mediante la utilización de un software específico para ingeniería civil y valiéndose del relevamiento topográfico y los croquis preliminares del proyecto se genera un modelo digital del terreno del área a intervenir, en el cual se incorpora la información de las redes de servicio obtenidas en la Etapa 1.

El software utilizado para el procedimiento fue el AutoCAD Civil 3D. Un software de diseño y documentación de ingeniería civil que opera con flujos de trabajo bajo el sistema de Modelización de Información de Construcción o BIM (Building Information Modeling) por sus siglas en inglés.

5.2.1 Características de los Software BIM

Un modelo BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Es un recurso de datos compartido de la información sobre una instalación formando una base confiable para la toma de decisiones en la etapa de proyecto.

Mediante el sistema BIM, es posible trabajar los proyectos en un modelo en tres dimensiones espaciales (ancho, altura, profundidad) y con la posibilidad de incluir el tiempo y el costo como la 4ta y 5ta dimensión, respectivamente. BIM posibilita no solo trabajar con la geometría, sino con relaciones espaciales, información geográfica, y cualidades y propiedades de los componentes de las redes de servicios y representar el diseño como una combinación de objetos que portan la geometría, relaciones y atributos. Los software de diseño BIM permiten la extracción de diferentes vistas de un modelo de construcción para la generación de planos u otros usos. Estas diferentes vistas son automáticamente consistentes, basándose en una sola definición de cada instancia del objeto. Por lo tanto, se actualizan de manera automática ante cualquier corrección o modificación de los datos ingresados. Los software BIM también definen objetos paramétricamente, es decir, los objetos son definidos como parámetros y relaciones a otros objetos, entonces, si un objeto relacionado es modificado, los dependientes también cambiarán automáticamente.

5.2.2 Modelización de las Redes de Servicios y el Anteproyecto

Valiéndose del relevamiento topográfico, se generará la superficie (Surface) base del terreno, con sus respectivas líneas características tales como líneas de cordón, línea municipal, etc. Luego, sobre esta base serán volcados el croquis preliminar de proyecto y la información de interferencias recopilada en la Etapa 1.

Del primero se proyecta una traza preliminar (Alignment) el perfil longitudinal (Profile), y el o los perfiles transversales tipo (Assembly) de la nueva estructura. Es decir, se establece un primer diseño de la traza del eje, el gálibo, los futuros anchos de calzadas y veredas, el perfil estructural, y las pendientes de manera aproximada. Para las redes de servicio (Pipe Networks), identificando cada una de acuerdo al tipo de servicio, diámetro y material, se ubica su traza en planta y profundidad, en base a la documentación conforme a obra obtenida. Esta información se visualiza en la planta y perfil longitudinal del Proyecto. Por último se constituye el corredor (Corridor) de análisis del Proyecto. Se asignan líneas de muestreo (Sample Lines) con el fin de obtener los perfiles transversales del Proyecto (Section Views), en los cuales se visualiza la ubicación de las redes de servicios, completando con esto el primer modelo digital.

El modelo en 3D permite ver las zonas de intersección del proyecto con todas las redes

existentes y a su vez, permite analizarlas una a una por separado. Gracias a ello, es posible realizar una primera evaluación de las potenciales instalaciones a reubicar, de modo de realizar sobre las mismas un análisis más exhaustivo en las etapas de campo, y prever ajustes en parámetros geométricos o estructurales del proyecto.

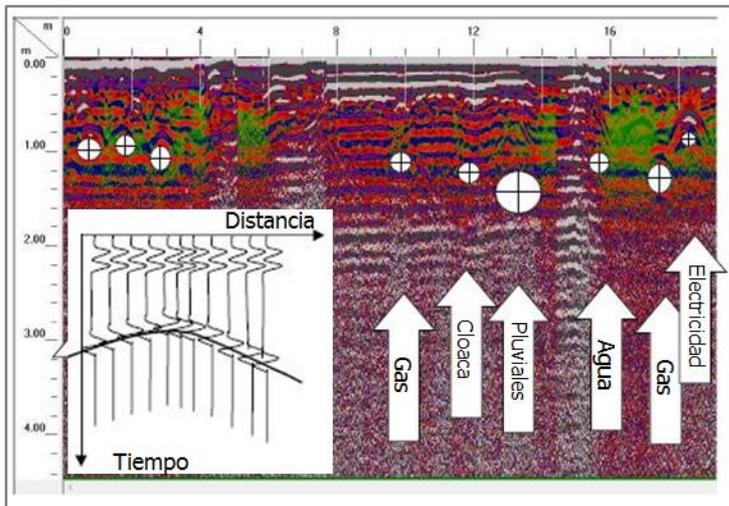
5.3 Etapa 3: Relevamiento visual de las redes de servicios

Esta etapa consta de la realización de un relevamiento visual de la zona del proyecto con la documentación obtenida y generada en las Etapas 1 y 2. Se debe confirmar posicionamiento y existencia de cámaras, bocas de registro, y todo otro elemento físico de las trazas de las instalaciones de servicios de acuerdo a la documentación otorgada por las compañías y volcada en el modelo digital así como detectar existencias no informadas.

Si bien esta etapa parecería redundante y ya haberse realizado al obtener la topografía del área, es conveniente repetirla con la nueva documentación generada y ser evaluada por el proyectista.

5.4 Etapa 4: Prospección superficial con GPR

Esta etapa permite detectar la existencia y ubicación de las redes de servicios informadas hasta el momento y otras no informadas en la documentación. Se utiliza la técnica de prospección con Georradar o Ground Penetrating Radar (GPR), ya que presenta la ventaja de ser rápida, no invasiva, y por ende no generar molestias. Se debe generar una cuadrícula para asegurar la prospección de toda el área de interés, ejecutándose en consecuencia las pasadas del GPR en cantidad y repetición necesarias.



5.4.1 Fundamentos teóricos del funcionamiento

El GPR es una técnica de prospección geofísica de alta resolución electromagnética. La técnica está basada en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas. Básicamente consiste en un radar tradicional, pero el medio de propagación es el suelo (material heterogéneo) y el radar es móvil sobre una superficie.

La incidencia de la onda electromagnética emitida por el equipo sobre los elementos heterogéneos (conductos, fundaciones, cableados, y hasta el mismo suelo) provocan fenómenos de reflexión, refracción y difracción. Estos son los tres principios de la física (óptica geométrica y teoría de los campos electromagnéticos). Las características de cada suelo o medio de propagación son la conductividad, la permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética. Como se puede observar en la Figura 5 cuando el GPR pasa sobre un objeto de perfil circular, se presenta una discontinuidad o anomalía del tipo parabólico que es proporcional al diámetro de la tubería. [3]

Rango de Profundidad	1ra Antena	2da Antena	Elemento Buscado
----------------------	------------	------------	------------------

0-0,5m	1600 MHz	900 MHz	Hormigon Armado, pavimentos
0-1m	900 MHz	400 MHz	Hormigón Armado, suelos superficiales
0-9m	400 MHz	200 MHz	Redes de servicios públicos, Geología superficial
0-9m	200 MHz	100 MHz	Geologogia, redes de servicios, Ambiental
0-30m	100 MHz	Sub-Echo 40	Perfil Geologico
Mas de 30m	MLF (80,40,32,20,16 MHz)		Perfil Geologico

De esta forma pueden determinarse cambios de estratigrafías, niveles freáticos, inclusiones enterradas, oquedades, etc. Dependiendo del objetivo de la prospección, se selecciona la frecuencia de trabajo del GPR. En general, en la Geotecnia se utilizan frecuencias entre 25 Mhz y 500 Mhz. Para ensayos de elementos estructurales pueden emplearse frecuencias hasta 1 Ghz. De acuerdo a las características de los objetos buscados, su profundidad y la

presencia predominante del medio (loess pampeano) se utilizó un GPR GSSI, con una antena de 400MHz, basándose en las recomendaciones indicadas en la Tabla 2. [14].

Table 2 Frecuencia de Antena GPR.

constante dieléctrica en el loess pampeano

Para poder interpretar con claridad la información obtenida por el GPR es necesario efectuar una correcta calibración. Los parámetros del suelo pueden ser correlacionados con el informe geotécnico elaborado. Es posible calibrar la constante dieléctrica mediante la aplicación de la técnica desarrollada en [3], ya que en los distintos tipos de suelos, este parámetro no es constante y dependen principalmente de la frecuencia de medición, contenido de humedad, granulometría y concentración de sales en el fluido intersticial. En la Tabla 3 [14] pueden observarse los valores típicos para distintos tipos de suelos y materiales.

Material	Constante Dielectrica	Conductividad (mS/m)
Aire	1	0
Agua	81	0.5
Arena Saturada	20-30	0.1-1.0
Arcilla saturada	15	2-1000
Metal	1	
PVC	8	
Hormigon	5.5	

Table 3 Parametros del medio para GPR.

toda la energía impuesta retorna sino que parte se pierde debido a la propagación esférica del frente y otra parte no es reflectada completamente en las interfases debido a la forma de la inclusión). La profundidad de penetración es muy sensible al contenido de humedad del suelo y a la frecuencia de medición. Solo para bajos contenidos de humedad es posible tener penetraciones menores a 7 m.

Finalmente, adicionalmente al criterio de reflectividad antes expuesto, debe verificarse que el tamaño de la inclusión sea lo suficiente grande como para reflectar gran parte de la energía emitida. Para ello se requiere que el menor lado de la inclusión sea mayor a 1:10 de la profundidad. Según este criterio para un suelo tipo loess para la frecuencia de 200 MHz y una penetración de 1m, la menor dimensión de la inclusión debería ser mayor a 10 cm. Sin embargo, este valor no puede ser menor a la longitud de onda para poder ser "visto" por la

5.4.2 Calibración de la

La profundidad de penetración a la cual decae la onda es teórica y de razonable aproximación. Un valor más real está dado por la resolución de los conversores analógicos de los equipos de prospección. En general, un conversor de 16 bit, permite resolver 96 dB. Adicionalmente, se deben computar atenuaciones debido a la dispersión geométrica y la disipada en las interfases (no

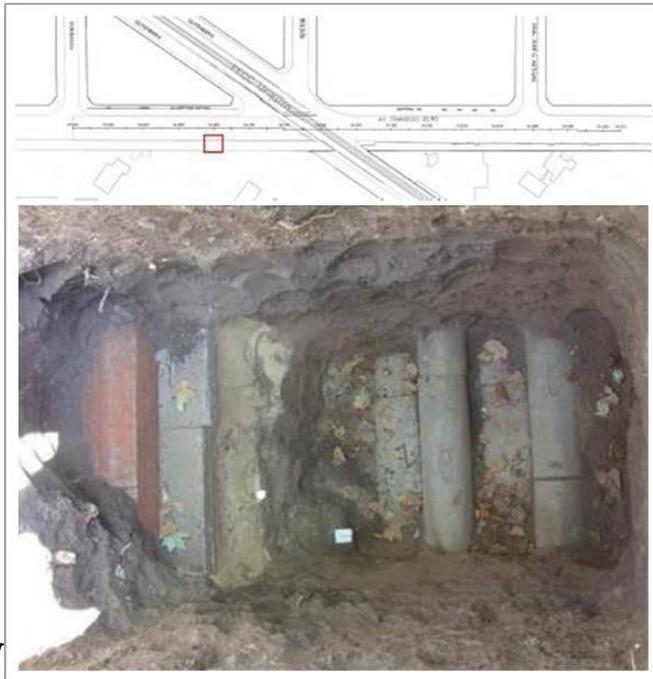
onda.

De los estudios realizados, se pudo advertir que el loess es difícilmente penetrado por las ondas electromagnéticas. A las menores frecuencias de trabajo del GPR (25 MHz) la penetración calculada es menor a 7 metros de profundidad y disminuye rápidamente con el contenido de humedad del suelo. La baja frecuencia no permite detectar anomalías con profundidades menores a 2 metros.

Los resultados de este estudio permiten recomendar que de emplearse el GPR en loess se deberá utilizar las antenas de frecuencias menores a 400MHz. En el caso de la antena de 25 MHz, se podrán detectar inclusiones de gran diámetro equivalente que se encuentren muy superficiales (menos de 3,00 m). Las antenas de mayores frecuencias solamente pueden emplearse para la detección de inclusiones menores (cañerías y tendidos eléctricos a profundidades menores de aproximadamente 50 cm.

5.5 Etapa 5: Ejecución de cateos

Esta etapa comprende la realización de calicatas de prospección o cateos manuales



realizados por operarios sobre veredas y calzadas a una profundidad media de 1,5m a 2m. Esta es la profundidad característica donde se encuentran ubicadas la gran mayoría de las instalaciones. A su vez, esta dimensión de calicata evita la ejecución de entibaciones del suelo para prevenir desmoronamientos de taludes. Es conveniente la ejecución perpendicular a las calzadas, Figura 6. La ubicación que permite la mayor identificación suele ser en las bocacalles. Para aquellas interferencias de mayor magnitud en cuanto a diámetro o profundidad, se deberán ejecutar sondeos especiales con mayores recaudos de seguridad. En estos casos se recomienda un cateo de profundidad y diferentes sondeos de pequeño diámetro con sacabocados para determinar traza y profundidad exacta.

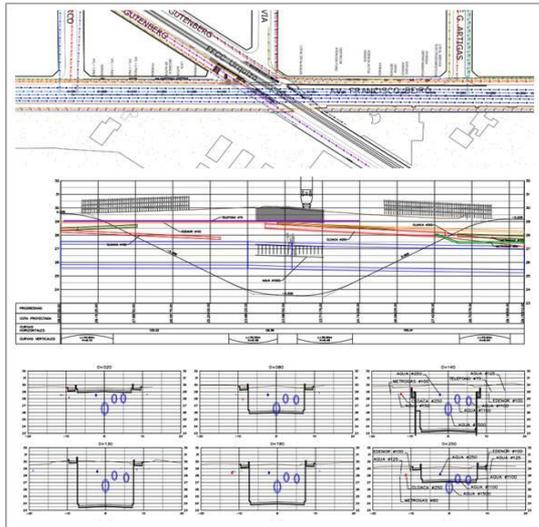
Fig. 6 Ejecución

Existe una serie de cateos en sectores críticos que su ejecución no puede ser evitada. Se entiende como sectores críticos a las ubicaciones de trazas potenciales que no hayan sido confirmados por el GPR e instalaciones que por su magnitud y complejidad de remoción puedan poner en riesgo el proyecto principal.

Si bien las bocas de registros, tapas y cámaras permiten determinar en muchos casos las trazas y profundidades, no todas las instalaciones cuentan con cámaras accesibles. A pesar de ello, es conveniente abrir y tomar mediciones de todos los conductos que acometen a ellas. Es fundamental su ejecución ya que permite corroborar lo indicado en los planos, lo detectado por el GPR; y, a su vez, descubrir tendidos de redes no mencionadas o previstas en la documentación. Bajo ningún concepto debe eliminarse esta etapa de campaña exploratoria, ya que es la única que permite confirmar fehacientemente todo el trabajo previamente realizado. Deben ejecutarse en cantidad y profundidad tal que permitan otorgar certeza al proyecto. No es conveniente la utilización de maquinaria ya que puede derivar en una rotura o corte de las instalaciones.

5.6 Etapa 6: Corrección del Modelo Digital Básico

Con la información obtenida de la campaña exploratoria se ajustan las posiciones en planta y en profundidad, y se agregan las nuevas apariciones en el modelo digital básico. Como se mencionó previamente, el empleo del software BIM permite la corrección en las trazas (ahora confirmadas) y la inclusión de nuevas originalmente no previstas y la regeneración de todo el modelo de manera automática optimizando tiempo y recursos del proyectista.

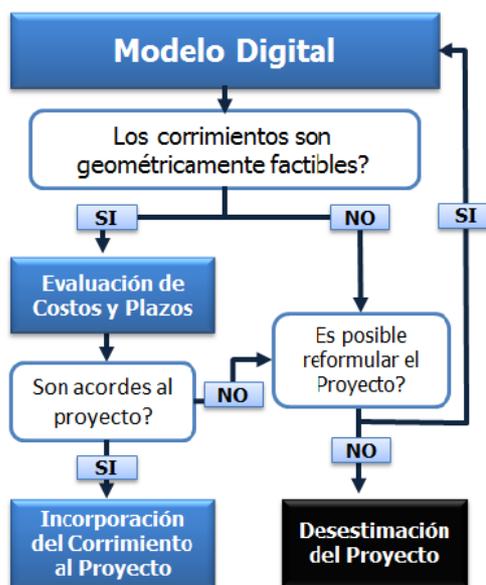


5.7 Etapa 7: Modelo Digital Final: Plantas y Perfiles con redes y proyecto superpuestos

Una vez ajustado el modelo digital en la Etapa 6 es posible obtener una planialtimetría de todas las instalaciones de servicios con la información principal de cada una de ellas y los cortes transversales con el espaciamiento necesario (recomendado cada 5m) con la superposición de los esquemas del nuevo proyecto.

6. Aplicación del procedimiento y volcado de los resultados al proyecto

confirmada y generada la documentación posicionamiento de las instalaciones de distintos servicios es posible estudiar y los costos de remoción y los plazos adicionales que estos trabajos le añadirían al proyecto principal. Para ello estudiar en conjunto con las compañías servicios y sus especialistas la factibilidad, tiempo y costos de la remoción de los servicios. No siempre la remoción y reubicación de las redes responde exclusivamente a la viabilidad soluciones técnicas, sino que puede condicionada por el corte o restricción del y las afectaciones que ello puede sobre los usuarios o la comunidad. Es que en determinados períodos de alta demanda, los cortes para ejecución de empalmes de las nuevas trazas desplazadas no sean permitidos. Su resolución es muy específica y solo puede ser validada teniendo en cuenta el funcionamiento de la red principal.



Una vez con el los evaluar se debe de de estar servicio generar probable

Fig. 8 Aplicación del Diagrama de Flujos.

En la Tabla 4 puede observarse un cuadro que permite al proyectista identificar si de acuerdo al tipo de obra a ejecutar el procedimiento debe ser aplicado.

Tipo de Obra	Conflicto del Proyecto con Redes de Servicios	Aplicación del Procedimiento
Túneles	importantes	indispensable
Hidráulicas	medios	necesario

Puentes	medios	necesario
Servicios	menores	conveniente
Viales	menores, superficiales	conveniente
Arquitectura	muy menores	innecesario

Complementando la tabla de aplicación del procedimiento se describe en la Figura 8 un diagrama de flujo integral a utilizar que permite decidir en relación al proyecto de infraestructura urbana

incorporar la documentación generada.

Table 4 Tabla de decisión para la aplicación del procedimiento. **7. Antecedentes**

Durante el período 2008 – 2014 la empresa Autopistas Urbanas S.A. ha desarrollado y perfeccionado este procedimiento en más de 60 proyectos de infraestructura urbana, principalmente en pasos vehiculares bajo nivel de las vías de los ferrocarriles urbanos línea Mitre, Urquiza, San Martín y Sarmiento. Actualmente 25 de ellos se encuentran finalizados y liberados al uso público y 6 en ejecución. También se han estudiado los túneles de interconexión Norte-Sur entre autopistas por debajo de la Av. 9 de Julio y un Túnel Intercambio Modal en la zona de Retiro.

La valoración más positiva se obtuvo para los pasos bajo nivel de los ferrocarriles (túneles menores a 100m generalmente mediante la técnica de cut and cover), ya que la superficie pública a afectar disponible entre líneas de edificación de propiedades privadas representaba casi una totalidad. Se presentan a modo de ejemplo casos de éxito en los cuales la aplicación del procedimiento permitió la evaluación y toma de decisiones en la etapa inicial del proyecto.

7.1 Casos de detección temprana e incorporación exitosa a los proyectos

Previo a la construcción del Paso Bajo Nivel Av. Federico Lacroze y cruce con FFCC Mitre Ramal José León Suárez se aplicó el procedimiento y se pudo identificar que la traza del túnel (más específicamente una línea de pilotes) coincidía con una cloaca máxima a 15m de profundidad. Mediante la detección temprana de la misma fue posible una modificación a la ingeniería del proyecto prolongando el largo de los pilotes, de manera de tener una cota de fundación más profunda que la cloaca y demostrando que las cargas transmitidas al conducto con el bulbo de tensiones del pilote eran lo suficientemente bajas de manera de no verse afectada su estructura y evitar la ejecución de una obra de refuerzo.

El proyecto del Paso Bajo Nivel Av. Congreso y cruce con FFCC Mitre Ramal Tigre fue modificado gracias a advertir en la Etapa 1 del procedimiento la existencia de un desagüe pluvial de gran diámetro. La remoción del mismo resultaba inviable. Por ende se decidió modificar el inicio y la pendiente de la rampa de ingreso al túnel, acortándolo de manera de pasar por encima del conducto con una tapada suficiente segura. Complementariamente se debió generar un cambio de sentido de la calle transversal (divergente de la rampa de ingreso) para darle seguridad al ingreso del mismo

La obra del Paso Bajo Nivel Av. Beiró y cruce con el FFCC Urquiza es un túnel corto de 4 carriles apto para vehículos pesados. Mediante la aplicación del procedimiento se identificaron dos conducciones principales de agua que abastecen la zona oeste de la ciudad. Luego de consultar con los especialistas de la empresa concesionaria AySA los tiempos y plazos de remoción, se decidió desplazar la traza original del proyecto evitando que las rampas de acceso y el túnel intersecten las dos instalaciones maestras. La ejecución de la obra fue posible gracias al desplazamiento lateral de la traza sobre dos espacios verdes previo el acuerdo con las instituciones que lo explotaban. Las obras de remoción hubiesen implicado duplicar el costo y el plazo al proyecto principal.

7.2 Casos de detección temprana incompatibles con los Proyectos

El proyecto del Paso Bajo Nivel Av. Beiró y cruce con el FFCC San Martín presentaba el mismo problema de interferencias de conducciones de agua principales que el explicado para el cruce de dicha avenida con el FFCC Urquiza. Sin embargo, en este proyecto no existía la posibilidad de desplazar la traza del túnel por la presencia de edificios de propiedad privada que deberían ser expropiados. Los plazos que estas acciones judiciales y administrativas podían llevar hacían inviable la obra. Actualmente se está evaluando la ejecución del cruce mediante un puente sobre la traza original del túnel.

La obra del Paso Bajo Nivel Monroe y cruce con el FFCC Mitre ramal Tigre se detectó de manera temprana la existencia de un desagüe pluvial maestro que imposibilitaba la ejecución del túnel. Al tratarse de una calle secundaria no existía espacio suficiente para ajustar los parámetros geométricos, ni el sistema constructivo del proyecto. La remoción del conducto implicaba obras complejas de muy alto costo y excesivo plazo, mayores aún a la obra principal.

8. Conclusiones

En este trabajo se presentó la problemática que genera el desarrollo de proyectos de infraestructura urbana debido a la competencia por el uso del espacio subterráneo en las grandes de las ciudades.

Se presentó una solución mediante la aplicación de un Procedimiento de 7 etapas para la Detección Temprana de Interferencias Subterráneas y los criterios para su aplicación. A su vez, se recomendó la utilización de una frecuencia de antena y la calibración de la constante dieléctrica de un suelo tipo loess para obtener una lectura más clara del GPR.

Por último y a modo de ejemplo se presentaron antecedentes con casos de éxito para la aplicación del procedimiento. Finalmente, si bien la los antecedentes y la aplicación descrita en este trabajo fue realizada en la Ciudad de Buenos Aires, es posible extrapolar los resultados a otros grandes centros urbanos.

9. Referencias

- [1] Caincedo Hornaza, Mancera Carmona, Tristancho; “Aplicaciones del Georadar de Subsuelo en Obras Civiles
- [2] Daniels; “Ground Penetrating Radar Fundamentals”; 2000
- [3] Rinaldi; “Límites y Potenciales Aplicaciones del Georadar (GPR) en Limos Loessicos Colapsables”; 2006.
- [4] Diario Clarín, “Casi la mitad de quienes trabajan en Capital llega desde el GBA”, 20/09/2013
- [5] INDEC, Censo República Argentina, 2010.
- [6] Rimoldi, Morrás; “Caraterísticas Geotécnicas Atlas Ambiental Buenos Aires”
- [7] Dr. V. Rimoldi SEGEMAR; “Carta Geológico-Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires” 2001
- [8] PNUMA, IMAE, USAL, GCBA, Banco Mundial; “Perspectivas del Medio Ambiente Urbano:GEO Buenos Aires”
- [9] Quaglia; “Rigidez Inicial y Cohesión Efectiva de la Formación Pampeano”; 2009.
- [10]Nunez, E., “Geotechnical conditions in Buenos Aires City”. V Intern. Congress IAEG, IV, 1986.
- [11]Bolognesi, A. y O. Moretto, “Propiedades del subsuelo del Gran Buenos Aires”, 1959.
- [12]Sfriso; “Caracterización de la Formación PostPampeano”; 2008.
- [13]Bolstad, P.; “GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems”; 2005.
- [14]Reynolds, J. M., An Introduction to Applied and Environmental Geophysics: John Wiley & Sons, 1998.