

LA EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA COMO SOLUCIÓN EN LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS SANITARIAS EN LOS CRUCES DE AVENIDAS EN ÁREAS URBANAS DE PUERTO RICO

Pedro Vales Ortiz
Ingeniería Civil
Héctor J. Cruzado, Ph.D.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico

RESUMEN -En este estudio se presenta el beneficio que se logró al cambiar el método de trabajo en la instalación de una troncal sanitaria de 42" de diámetro en el centro comercial Las Catalinas de Caguas, Puerto Rico. El diseño propuesto por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico era la instalación de tubería usando el método de trinchera abierta. Después de realizar visitas al lugar y de un análisis se concluyó que no era el método adecuado para el área. Se preparó y sometió una Propuesta de Cambio usando la Ingeniería de Valor (PCIV), la cual fue aprobada. Esta propuesta sugería realizar los trabajos por medio de la excavación subterránea cumpliendo con los documentos de contrato. Se completaron todos los trabajos sin impactar la avenida Las Catalinas y no hubo reclamación por pérdidas en los negocios que se hubieran visto afectados.

Palabras claves -Dovelas de acero, excavaciones subterráneas, máquina caparazón de cara abierta, utilidades subterráneas.

INTRODUCCIÓN

Para muchos contratistas que realizan proyectos que conllevan la instalación de tuberías sanitarias, es un problema común tener que enfrentar el reto de hacer los trabajos en las avenidas y carreteras principales de centros urbanos usando el método tradicional de trincheras abiertas. Algunas de las dificultades de estos proyectos son encontrar utilidades subterráneas (tanto como eléctricas, de comunicación y de fibra óptica entre otras) y tener que realizar demoliciones de estructuras ya existentes como aceras, encintados, pavimentos y medianas.

La clave de poder completar el proyecto a tiempo y sin reclamaciones es tener en cuenta cómo afecta la instalación de la tubería sanitaria si esta cruza por debajo de una avenida comercial con un alto volumen vehicular. El reto como contratista es planificar por adelantado y coordinar tanto con el diseñador civil, los inspectores del proyecto, el dueño de la obra como con las personas que se ven afectadas por esta decisión.

La instalación de tuberías sanitarias típicamente se realiza por el método de excavación de trinchera abierta. En este proyecto se demuestra que la instalación de estas tuberías en áreas urbanas puede afectar menos al público si se realizan con el método de excavación subterránea.

TIPOS DE EXCAVACIONES

A continuación se definen dos tipos de excavaciones que existen en la construcción para la instalación de tuberías: la excavación de trinchera abierta y la excavación subterránea. El tipo de excavación más común para la instalación de utilidades eléctricas, para tuberías de agua potable y tuberías para aguas sanitarias es el método tradicional de trinchera abierta, mientras que en el caso de las tuberías eléctricas es más común el uso de las excavaciones subterráneas.

EXCAVACIÓN DE TRINCHERA ABIERTA

Las troncales sanitarias se diseñan de acuerdo con la capacidad de carga a la que se someten; si su flujo es por gravedad, entonces pueden ser colocadas a grandes profundidades. En un sistema de trinchera abierta (mostrado en la Figura 1) se debe tener en cuenta la base con el declive correcto y el ancho de excavación que cumpla con los códigos de diseño. El ancho de trinchera debe tomar en consideración el equipo que se va a utilizar para compactar el material de relleno. De usarse un material selecto para el relleno, que debe cumplir con los códigos de la ASTM Clase IA, Clase IB o Clase II, su colocación tiene que ser en capas según el estudio preparado por el ingeniero de suelos.

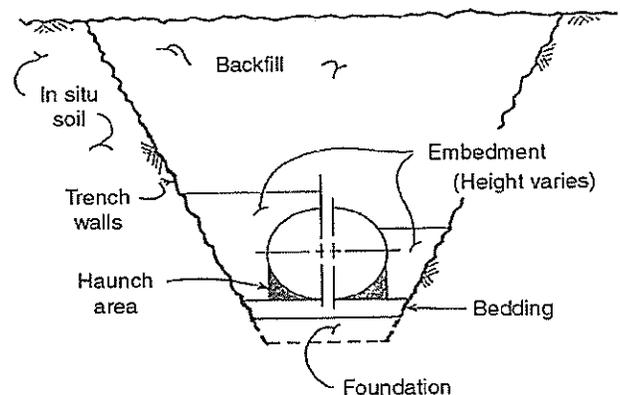


FIGURA 1
DIBUJO DEL DETALLE DE UNA EXCAVACIÓN DE TRINCHERA ABIERTA



El señor del primer día, 1990. Tinta sobre papel. 40" x 30".

Es importante tener en cuenta que en muchas de las excavaciones se tendrá que sobre-excavar si la capa de subsuelo es inestable. Se tiene que colocar un encamado de piedra o grava antes de instalar la tubería. Luego se tiene que rellenar hasta medio diámetro del tubo con la misma grava o piedras. Posteriormente se rellena con algún tipo de material aceptable y en concordancia con las especificaciones técnicas y códigos presentados por el diseñador.

El relleno final depende de si la trinchera es a campo traviesa o si es por debajo de una carretera. Si es debajo de una carretera, el diseñador puede pedir un material estable que resista la carga del tráfico de camiones. Por último, la importancia de los sistemas de protección es que, además de proveer seguridad para los empleados, también protegen los trabajos ya completados de la posibilidad de que ocurra un derrumbe o se socave una o ambas de las paredes de la trinchera debido a que el material existente sea inestable o rocoso.

Excavación subterránea

La excavación subterránea es un proceso de excavar horizontalmente por medio del uso de maquinaria especializada donde el caparazón de cara abierta sirve para proteger al empleado de posibles derrumbes. La maquinaria cuenta con espacio suficiente para hacer la excavación por medio de orugas y/o brazo mecánico, también requiere el uso de equipo de aire comprimido para mover la máquina durante la construcción del túnel. En las excavaciones subterráneas se aplican otros principios de diseño para cumplir con los códigos y reglamentos, además de los estándares por los cuales se rige la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Puerto Rico (Puerto Rico OSHA). En la Figura 2, se presenta un flujograma decisional de Najafi [1] donde se escoge el mejor método de excavación de acuerdo con ciertas condiciones que limitan el trabajo de instalación

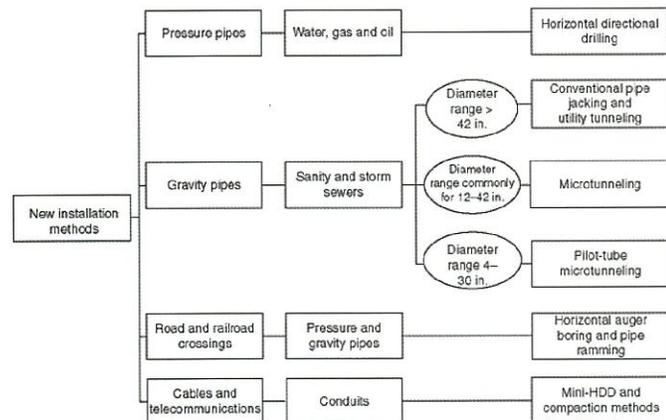


FIGURA 2 GRÁFICA PARA ESCOGER MÉTODO DE EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA

de tubería por método de excavación subterránea. En el mismo hay parámetros como diámetros, material del tubo y razón del uso de la tubería.

Antes de comenzar los trabajos de una excavación subterránea, se debe planificar de forma estratégica la ubicación de los pozos de accesos para la entrada y salidas tanto del personal de trabajo como para la máquina y los materiales. En la fosa de entrada tiene que haber espacio suficiente para la construcción de una base de concreto en el fondo de la fosa que servirá de punto de apoyo para la maquina cuando esté empujando al penetrar dentro de la capa de subsuelo.

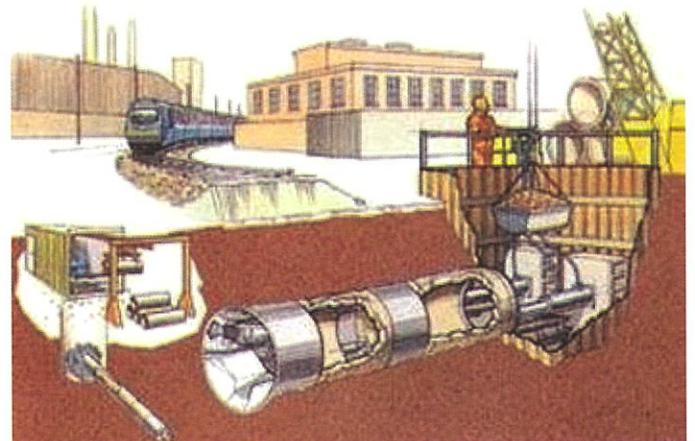


FIGURA 3 ESQUEMÁTICO DE EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA

Cuando se trabaja dentro de las fosas de acceso es importante planificar la logística de movimiento, ya que se tiene un carrito de carga, herramientas y conductos del sistema de ventilación (ver Figura 3)[2]. Todo el material ya excavado se maneja por un sistema de rieles y un carrito eléctrico de batería que tiene su compartimiento para cargar la tierra excavada. Diariamente se tienen que poner las baterías a cargar y es recomendable tener otra batería adicional cuando se trabaja.

A diario la brigada y el superintendente de la obra pueden ver físicamente el tipo de material en donde se está excavando antes de comenzar su jornada. De haber alguna roca o bolos de río, el capataz puede además utilizar sus herramientas hidráulicas y agua a presión para manejarlas y sacarlas del medio. Como se ha expuesto, en esta área de trabajo convergen muchas tareas como excavaciones y botado de tierra, soldaduras y corte de acero estructural, entrada de aire y salida de gases y movimiento de los trabajadores.

Se deben tener en cuenta todos los pormenores de la máquina a usarse para hacer el tipo de túnel ya descrito. Najafi [1] ha escrito que los trabajos usando métodos sin trincheras se han convertido en la alternativa preferida para reemplazar los modos tradicionales como las trincheras abiertas. Usar la alternativa de excavación subterránea ha permitido utilizar mejores tipos de tuberías y las cargas por manejo de los suelos y tráfico se han reducido, lo cual redundará en un aumento a la vida útil del tubo que a su vez reduce el ciclo de costo del proyecto.

Najafi [1] continúa mencionando que hay un estudio que demuestra que hasta la vida útil del pavimento se reduce hasta un 60% debido a agrietamiento después de hacer cortes en el pavimento para la instalación de tuberías usando el método de trinchera abierta. Najafi [1] recomienda realizar los trabajos de instalación de utilidades por el método de excavación subterránea pues es el mejor para lograr costo-efectividad del proyecto y su impacto a las áreas existentes es menor.

En las excavaciones subterráneas es sumamente importante mantener un control adecuado del sistema de bombeo para desagüe del pozo, ya que el contratista tendrá que manejar las aguas subterráneas para mantener el túnel seco y para que los empleados puedan acceder las fosas de entrada y salidas. Se debe controlar en todo momento el que no se sobre-excave el fondo de la trinchera. De ser necesario, se debe crear diques y canales que ayuden al flujo del agua.

La seguridad y la salud son prioritarias en los trabajos dentro de los túneles. Los trabajadores van a estar continuamente en un cambio climatológico ya que la condición afuera no va a ser la misma que dentro del túnel. La exposición a gases como la falta de oxígeno en el aire son situaciones que pueden darse diariamente, la buena iluminación dentro del túnel es fundamental, pero no puede convertirse en un factor de calor porque afecta la condición de trabajo y salud de los empleados.

Este tipo de trabajo va a requerir muchas soldaduras de acero. En los trabajos en espacios confinados, los sistemas de iluminación y comunicación son parte importante del plan de trabajo. Es fundamental que un capataz mantenga un registro de toda la información, como el registro de entrada y salida al túnel por grupo de trabajo. Se tienen que proveer los equipos de seguridad personal para estos trabajos en específico en cumplimiento con los requisitos y códigos del OSHA 29 CFR 1926.800.

MÁQUINAS DE EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA

Existen diversos equipos de excavación subterránea. Este estudio se limita a presentar solo tres de ellos porque son los que están disponibles en Puerto Rico.

Caparazón de cara cerrada

El caparazón de cara cerrada presentado en la Figura 4 permite trabajar en un medio más controlado, ya que el método de trabajo controla la condición de suelo, la excavación es mecánica y la extracción del material sobrante se realiza por medio de un equipo de succión. El material excedente tipo sopa presurizada se bombea a través de mangas hacia un receptor donde se procesa para ser secado.

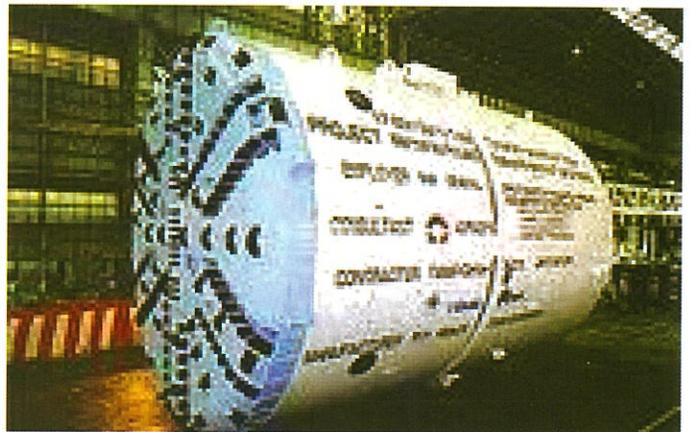


FIGURA 4
MÁQUINA TÚNEL CAPARAZÓN DE CARA CERRADA

Lo más importante es mantener un control balanceado en las presiones en la tierra. La máquina provee un sistema que puede manipular las presiones y evitar el derrumbe y entrada de aguas de escorrentía por dentro de la máquina. Si se analiza el costo de adquisición de esta máquina, la accesibilidad y todos los equipos adicionales que se requieren, esta opción posee un costo bien alto.

La compañía The Midwest Mole cotizó un millón de dólares para traer la máquina de los Estados Unidos a Puerto Rico. Esto no incluye los trabajos de excavación subterránea que tienen un costo adicional. A continuación se presentan algunos de los beneficios e inconvenientes del uso del equipo caparazón de cara cerrada.

- **Los beneficios:** este equipo es completamente a control remoto. Tiene una cabina de control aparte donde el operador maneja la dirección y controla la velocidad de la oruga o cabezal principal que se encuentra en la cara del caparazón. Sus sensores permiten saber el tipo de material en el cual se está trabajando. De haber algún diferencial en dureza, el equipo se detiene y emite una

señal para que el operador sepa del cambio de condición. Cuenta con un sistema de mover el material excavado sin tener que emplear a personas para este trabajo.

- **Los inconvenientes:** el costo de mantenimiento es muy alto. Habría que adiestrar a los operadores de equipo en los Estados Unidos. De necesitar piezas de reemplazo, habría que comprarlas y traerlas del exterior. La máquina no trabaja bien en los suelos orgánicos y blandos debido a su peso. El alto costo de adquisición y arrendamiento no la hace competitiva si el costo del proyecto es bajo.

Caparazón cara abierta con brazo mecánico

Este sistema, presentado en la Figura 5, consiste de un caparazón que tiene un sistema integrado de un brazo mecanizado o barrenador para hacer los trabajos de excavación. Además, dentro de la máquina se incluye un sistema de poleas para mover el material excavado y poder disponer de él. Sus ventajas es el mínimo trabajo físico por parte de la parte de mano de obra en comparación con la de excavación a mano.

Esta máquina no está disponible en la isla, por lo tanto tendría que adquirirse o pagar por transportarla y arrendarla por la duración del contrato. Según estimado por un suplidor, el costo de adquirir los aditamentos y adaptarlos a equipo existente en Puerto Rico es de unos doscientos cincuenta mil dólares.

El costo de esta máquina es dos veces más que el



FIGURA 5
MÁQUINA CAPARAZÓN CARA ABIERTA CON BARRENADOR MECANIZADO DE EXCAVACIÓN

caparazón de cara abierta sin implementos. Tiene que usar una fuente de alimentador de aceite hidráulico para el equipo del brazo mecánico.

- **Los beneficios:** en el caso de este equipo su tecnología es simple. Tiene un brazo mecánico que hace las excavaciones. Un operador dentro del caparazón maneja el equipo y el brazo. Su funcionamiento es similar a las excavadoras, por lo tanto un buen operador no debe tener problema en trabajarlo. El uso y el manejo dentro de las fosas de entrada y de salida son más fáciles debido al peso de la máquina. Durante la excavación, el operador puede remover enormes piedras o bolos de río con el brazo mecánico.

- **Los inconvenientes:** las piezas de reemplazo hay que traerlas del exterior. No hay técnicos de mantenimientos para el brazo y los sistemas de poleas. El sistema de cara abierta presenta problemas con el control de las aguas subterráneas y el control de los suelos que son inestables o que tienen grandes contenidos de arena y finos.

Caparazón de cara abierta

Presentada en la Figura 6, esta máquina es muy liviana, convirtiéndose en la mejor opción cuando se trabaja dentro de las fosas de acceso. Este equipo solo utiliza un sistema de empuje hidráulico que hace que tenga el más bajo costo en el mantenimiento. El uso no requiere de expertos para manejarla en comparación con los otros dos equipos que requieren operadores especializados. Este equipo, al igual que todos, solo trabaja en una dirección.



FIGURA 6
MÁQUINA DE TÚNEL CAPARAZÓN DE CARA ABIERTA

- **Los beneficios:** la tecnología es simple y conocida en el mercado local. Este método es ideal para tramos cortos. El uso y el manejo dentro de los pozos de entrada y de salida son más fáciles debido al peso de la máquina. Durante la excavación, en el caso de encontrarse con enormes piedras o bolos de río, el operador tiene más espacio para sacarlas por dentro del armazón. El equipo

es versátil y sus costos de adquisición y arrendamiento son los más económicos.

- **Los inconvenientes:** uno de los mayores problemas en el sistema de cara abierta es el control de las aguas subterráneas y el control de los suelos que son inestables o que tienen grandes contenidos de arena y finos. El inconveniente mayor es que el equipo de excavación es con sistema de aire comprimido y esto es altamente riesgoso para la seguridad y salud de los empleados.

ESTUDIO DE CASO

Como parte del programa de mejoramiento y cumplimiento con la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA) otorgó a la compañía de este autor un contrato para la instalación de una troncal sanitaria de 42" diámetro en el municipio autónomo de Caguas. Este tramo es la Fase II de la alineación de la troncal desde la urbanización Idamaris Gardens hasta la avenida Luis Muñoz Marín en la urbanización Caguas Norte. El proyecto maestro es una troncal que conecte y mejore el servicio del municipio de Aguas Buenas cuando sea conectado a la troncal del municipio autónomo de Caguas.

La tubería especificada por el diseñador es de hormigón reforzado y pretensado (PCCP). El manual para la instalación de tuberías [3] requiere que este tubo sea diseñado como una estructura rígida que va a resistir simultáneamente aplicaciones de cargas externas con presiones internas. Entre las consideraciones de cargas vivas se encuentran el tráfico vehicular, ferrocarril y el movimiento de equipos de construcción. Para cumplir con los requisitos mínimos de presión con los estándares de la AWWA 304, se hizo parte del diseño el tener en cuenta la presión y el efecto martillo debido al uso de bombas.

En este proyecto se impactarían dos centros comerciales: Las Catalinas Mall y Villa Blanca Shopping Center. En la Fase II se encuentra el tramo que mayor impacto tiene que es el que discurre entre el edificio que tiene el comercio de Home Depot, el edificio del Banco Popular, el edificio del McDonalds y el edificio del Caribbean Cinema del centro comercial Las Catalinas Mall en la avenida las Catalinas y la entrada de Home Depot. En este estudio solo se analiza el impacto que tiene un segmento definido sobre la totalidad del proyecto.

El método para colocar la tubería propuesto por el diseñador es el tradicional de trinchera abierta usando como sistema de protección la instalación de tabla-estacado de acero para proteger la excavación profunda

de deslizamientos y/o derrumbes. Una de las restricciones en los documentos del contrato son los acuerdos entre los dueños de las propiedades y la AAA. Todos los acuerdos son responsabilidad directa del contratista. El horario de trabajo es un punto controversial. Se tiene que comenzar a las 10:00 p.m. y terminar para las 6:00 a.m. del siguiente día. Es imperativo que se permita un flujo vehicular aun siendo de tránsito limitado.

Como parte del contrato había que instalar la tubería en tres cruces con carreteras. El primer cruce es con la carretera estatal PR-1, cerca del centro comercial Villa Blanca Shopping Center; el segundo es con la autopista PR-52 cerca del centro comercial Las Catalinas; y el tercero es con la avenida Las Catalinas entre las facilidades de Autoridad de Energía Eléctrica y el establecimiento de Church's Fried Chicken en Las Catalinas Mall.

Se evaluó usar el método de excavaciones subterráneas en vez del método propuesto por el diseñador debido a las condiciones antes expuestas. Como parte de la evaluación se consideró que el contratista tiene una máquina tipo caparazón de cara abierta sin ningún tipo de aditamento adicional. Por lo tanto, el plan fue hacer la excavación por medio de herramientas de impacto que usan aire comprimido. Luego de un análisis exhaustivo y reuniones entre la oficina de gerencia, el contratista y la AAA, se decidió que el mejor método para llevar a cabo el trabajo era por medio del uso de la máquina del caparazón de cara abierta.

Al momento de la planificación, se tuvo en cuenta el largo del túnel para hacer los ajustes tanto en los largos en mangas hidráulicas que alientan el caparazón con aceite hidráulico en el momento de empujar en dirección horizontal la máquina cuando se incrusta en la tierra, como en los largos de rieles. Otro cambio que el contratista sometió y se aprobó fue el uso de una tubería en fibra de vidrio con poliéster reforzado suplida por O-Tek y manufacturada en Colombia. Dado que este material es un nuevo concepto en el mercado, se tiene que utilizar un estándar para poder clasificarlo. En el caso del material, el tubo cumple con ANSI NSF61. Con respecto a la presión, este tubo cumple con AWWA C950-07.

El tubo de fibra de vidrio con poliéster reforzado es recomendable para excavaciones subterráneas por lo liviano y lo fácil de manejar. Según el manual de instalación de tuberías [3], el tubo en fibra de vidrio tiene una alta resistencia a la corrosión y es baja en las pérdidas por fricción, además de que es más económico en comparación con la PCCP.

Los cambios al proyecto fueron sometidos y aprobados mediante una Propuesta de Cambio usando la Ingeniería de Valor (PCIV). En la siguiente sección se presenta un análisis de costos que demuestra que adoptar el método de excavación económica resultó en beneficios económicos para el contratista y el dueño.

ANÁLISIS DE COSTOS

Para poder hacer un análisis preciso y asertivo se tiene que estudiar toda la información que ofrece el estimado original (presentado en la Tabla 1) que fue aceptado como parte de los documentos de contrato y era de un total de \$907,565. En el desglose por partidas unitarias presentado hay trabajos que son partes de otras partidas, pero están considerados dentro del costo unitario. En la instalación del sistema del tabla—estacado hay trabajo de soldaduras y piezas de acero que están consideradas en el precio. Al eliminarse el costo del material y la instalación del sistema, pero tomando en cuenta que los trabajos dentro del túnel y las fosas de accesos tienen trabajos de soldadura, se estimó una reducción de un 30% de los trabajos en soldaduras.

También en este sistema se toman en consideración la excavación de trinchera abierta, que es un volumen de trabajo, equipos como excavadora Caterpillar 375 sugerida para alcanzar la profundidad y poder levantar la tubería. Estos trabajos se redujeron a un 45% del material de excavación. Solo se utilizaría la excavadora para la excavación de las fosas de acceso. Por lo tanto, se eliminó la protección en la excavación con tabla-estacados en acero para la protección de la excavación que representa un cambio significativo en su totalidad de veinte por ciento.

ITEM	DESCRIPTION	Qty	Unit	Cost	Total
I	TOTAL TRAMO HOME DEPOT				\$ 907,565.00
A	RECONSTRUCCION				\$ 120,125.00
1	Trench Asphalt Pavement	725.00	CM	\$ 150.00	\$ 108,750.00
2	Base Course	325.00	CM	\$ 35.00	\$ 11,375.00
B	LINEA SISTEMA SANITARIO:				\$ 779,940.00
1	Sanitary Manholes H= 5 - 6 r	1.00	EA	\$ 11,010.00	\$ 11,010.00
2	Sanitary Manholes H=6 - 7 n	4.00	EA	\$ 18,000.00	\$ 72,000.00
3	Sanitary Manholes WT H= 6	1.00	EA	\$ 23,000.00	\$ 23,000.00
4	Sanitary Manholes WT H= 7	1.00	EA	\$ 26,000.00	\$ 26,000.00
5	Sanitary Manholes H= 9- 10	1.00	EA	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
6	Trench Excavation	2250.00	CM	\$ 20.00	\$ 45,000.00
7	Bedding	633.00	CM	\$ 35.00	\$ 22,155.00
8	Backfill	1250.00	CM	\$ 20.00	\$ 25,000.00
9	24" diam. PCCP PIPE	511.00	LF	\$ 500.00	\$ 255,500.00
10	Steel Plates Protection	511.00	LF	\$ 525.00	\$ 268,275.00
C	MITIGACION DE TRAFICO				\$ 7,500.00
1	Signs, Drums, Flagmen, other	5.00	MO	\$ 1,500.00	\$ 7,500.00

TABLA 1
ESTIMADO DEL TRABAJO ORIGINAL

Una de las partidas de trabajo que se va a ver afectada está dentro del trabajo de la excavación de trinchera: la parte del botado del material excedente producto de las excavaciones. En la nueva propuesta, la cantidad se reduce a menos de la mitad del material a botarse, dado que hubo una reducción en la excavación.

Otra partida en que hubo un notable cambio en el costo del material fue la de tubería PCCP, después de un análisis del costo y manejo del material se decidió no utilizarla. Este caso es el de mayor diferencial dado que el costo en hormigón es diez veces mayor al de fibra de cristal. Las partidas del material de relleno y del material de la encamada en piedras se vieron afectadas o eliminadas por completo debido a la aceptación al cambio propuesto en el método de construcción solicitado por el contratista.

Otras de las partidas afectadas fueron la remoción de asfalto de pavimento, la demolición de las aceras y encintados de concreto y la remoción de las áreas verdes y árboles. Las áreas de las fosas de acceso hubo que volver a restaurarlas luego de ser impactadas.

El manejo del tráfico vehicular y peatonal en la avenida y sus nuevos desvíos se estimó en unos cinco meses inicialmente, pero con la nueva propuesta se reduce por la mitad y el nuevo movimiento vehicular a ser implantado es más sencillo, y requiere menos rotulación.

También hubo cambios en las partidas del asfalto y de agregado base (mogolla). Ambas se redujeron, ya que el contratista no tuvo que romper todo el largo del segmento de este tramo que se realizó por medio de una excavación subterránea.

El acuerdo contractual de la AAA fue de cero aumentos al costo original del contrato y cero días de extensión al contrato por reclamación. En el contrato hay un hito de entrega, de cumplir con parte del proyecto en un periodo específico. Este se eliminó, lo que permitió trabajar sin las presiones de ese hito histórico.

En la Tabla 2 se presenta el nuevo estimado que fue aceptado junto a un acuerdo de cero dineros en cambio de orden y una extensión de ochenta días adicionales. Según el desglose, el contratista tiene un estimado que redundará en ganancias de unos cincuenta mil dólares (\$50,000.00). En el cambio de material en la tubería, dado que como parte de la construcción del túnel se instalan unas dovelas de acero que se quedan dentro de la excavación, se aceptó el uso de tubos en fibra de cristal. Otros cambios fueron las reducciones en asfalto, material

de relleno y piedra triturada como encamado. Se añade otro material que es un hormigón de poca resistencia (500psi), pero con un aditivo expansivo cumpliendo con los requisitos de la ASTM.

ITEM	DESCRIPTION	Qty	Unit	Cost	Total
I	TOTAL TRAMO HOME DEPOT				\$ 857,590.00
A	RECONSTRUCCION				\$ 27,580.00
1	Trench Asphalt Pavement	175.00	CM	\$ 150.00	\$ 26,250.00
2	Base Course	38.00	CM	\$ 35.00	\$ 1,330.00
B	LINEA SISTEMA SANITARIO:				\$ 824,010.00
1	Sanitary Manholes H= 5 - 6 r	1.00	EA	\$ 11,010.00	\$ 11,010.00
2	Sanitary Manholes H=6 - 7 n	4.00	EA	\$ 18,000.00	\$ 72,000.00
3	Sanitary Manholes WT H= 6	1.00	EA	\$ 23,000.00	\$ 23,000.00
4	Sanitary Manholes WT H= 7	1.00	EA	\$ 26,000.00	\$ 26,000.00
5	Sanitary Manholes H= 9- 10	1.00	EA	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
6	Shaft Excavation	1550.00	CM	\$ 20.00	\$ 31,000.00
7	Grouting	250.00	CYD	\$ 200.00	\$ 50,000.00
8	Backfill	1050.00	CM	\$ 20.00	\$ 21,000.00
9	24" diam Fiberglass PIPE	600.00	LF	\$ 125.00	\$ 75,000.00
10	72" diam Liners Plates	600.00	LF	\$ 805.00	\$ 483,000.00
C	MITIGACION DE TRAFICO				\$ 6,000.00
1	Signs, Drums, Flagmen, other	5.00	MO	\$ 1,200.00	\$ 6,000.00

TABLA 2
ESTIMADO CON TÚNEL CAPARAZÓN CARA ABIERTA

El ahorro significativo del contratista se debió a que él cuenta con la máquina de caparazón de cara abierta y no tuvo que hacer inversiones en este renglón en específico.

EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Todo el tiempo el contratista mantuvo una bitácora de trabajo donde se registraba el tiempo de trabajo versus la instalación de las anillas de acero por la brigada de trabajo en su periodo de ocho horas de trabajo teniendo en consideración una condición normal de trabajo. El promedio de la instalación por esta brigada fue de tres circunferencias de anillas y la brigada está compuesta de siete trabajadores, dos operadores y su capataz. Luego de varios días de observación se concluyó que la instalación de tornillo era un proceso largo y repetitivo. Se usó pistola de impacto para reducir el tiempo de atornillar las dovelas de acero. Se logró mejorar la cantidad de circunferencia instaladas por la misma brigada en un ciclo de ocho horas.

Se añadió otra brigada de trabajo con la misma cantidad de empleados, con la diferencia que esta brigada trabajaba en el segundo turno comenzando a las 3:00 p.m. hasta 11:00 p.m. cumpliendo con su periodo de ocho horas. Según los datos recopilados por el contratista, esta segunda brigada mantuvo el ritmo de trabajo de completar tres circunferencias de anillas de acero en su periodo de ocho horas de trabajo. El propósito de esta segunda brigada es el poder adelantar el tiempo de trabajo dentro del túnel. Una de las soluciones es hacer todos los trabajos necesarios antes de comenzar las

tareas de la instalación de anillas de aceros, tales como preparativos del material suelto como la tornillería y las piezas de anclajes.

Otra de las alternativas es el localizar todo este material para que estuviese más accesible y fácil de maniobrar dentro del túnel. Se utilizó como herramienta de motivación la rivalidad positiva en la competencia entre ambos turnos para ver cuál brigada está instalando más anillas de acero. Al finalizar, ambas brigadas fueron reconocidas por el grupo de trabajo durante una visita de campo hecha por la alta gerencia de la AAA. Para mejorar la productividad se recomienda implementar que los trabajos sean estandarizados.

CONCLUSIÓN

Para el proyecto presentado en este artículo, el cambio de excavación de trinchera abierta a excavación subterránea trajo beneficios económicos al contratista y al dueño. Además, se debe considerar que el cambio de método de excavación tuvo el beneficio de no afectar las ventas de los negocios. Por lo tanto, se evitó que hubiera reclamaciones por merma en ventas por parte de los dueños de los negocios. Tampoco se vieron afectados los empleados de estos establecimientos, pues al no ocurrir mermas en ventas, no vieron sus horarios de trabajo afectados. Por último, tampoco se afectaron los profesionales que usan la ruta que pasa por el proyecto, quienes hubieran perdido tiempo de viaje por los tapones que hubiera provocado la excavación a trinchera abierta.

REFERENCIAS

- [1] N. Mohammad. (2010). *Trenchless technology piping: installation and inspection*. McGraw Hill [E-book]. Disponible en Access Engineering Library: <http://accessengineeringlibrary.com>
- [2] The Pipe Jacking Association. (2009). *An introduction to pipe jacking and micro tunneling design* [En línea]. Disponible en: <http://www.pipejacking.org/documents/PJAmicrotunnelling.pdf>
- [3] A. P. Moser. (2008). *Buried pipe design*, (3er edition). McGraw-Hill. [E-book]. Disponible en Access Engineering Library: <http://accessengineeringlibrary.com>