



**Elaboración de una base de datos de rendimientos constructivos e indicadores de cambios de diseño para sistemas de acueducto y alcantarillado que ejecuta la DPASGLO2 en el departamento de Antioquia**

Juan José Sarria Montenegro

Informe de Práctica académica presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero civil

Asesores:

Alejandro de Jesús Molina González – Ingeniero Sanitario  
Nancy Johana Quintero Marín – Ingeniera Civil

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2021.

---

Cita

(Sarria, 2021)

**Referencia**

**Estilo APA 7 (2020)**

Sarria Montenegro, J. J. (2021). *Elaboración de una base de datos de rendimientos constructivos e indicadores de cambios de diseño para sistemas de acueducto y alcantarillado que ejecuta la DPASGLO2 en el departamento de Antioquia* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

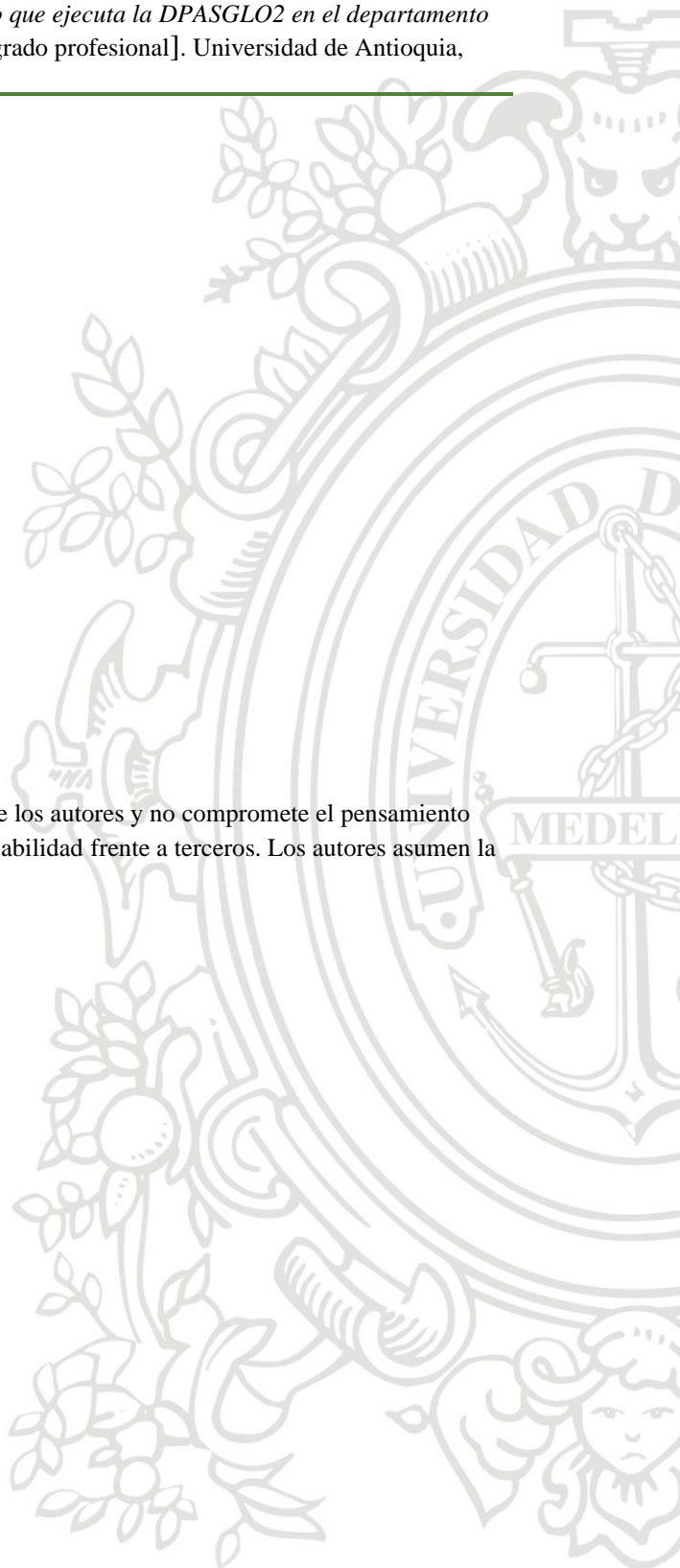
Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

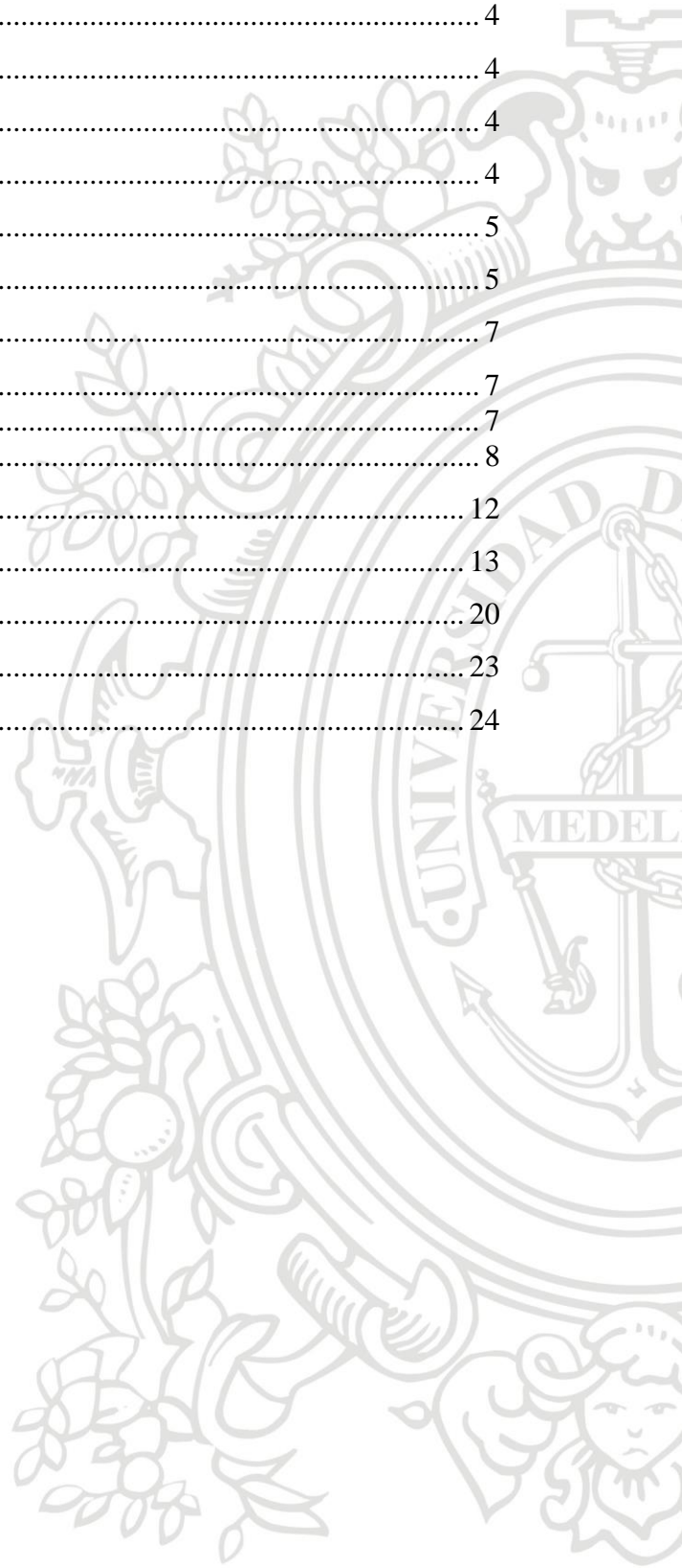
**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.



## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	3
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	4
LISTA DE GRÁFICAS .....	4
LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE ANEXOS .....	4
RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN .....	5
OBJETIVOS.....	7
General: .....	7
Específicos: .....	7
MARCO TEÓRICO .....	8
METODOLOGÍA .....	12
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	13
CONCLUSIONES .....	20
REFERENCIAS .....	23
ANEXOS.....	24



## **LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Información de tramos e indicadores de cambios de diseño según el proyecto. 13

## **LISTA DE GRÁFICAS**

Gráfica 1. Rendimientos en Tunnel Liner según el tipo de terreno. ....	14
Gráfica 2. Rendimientos en Pipe Bursting según el material de la tubería huésped. ....	16
Gráfica 3. Máximos rendimientos en CIPP según el diámetro de la tubería. ....	17
Gráfica 4. Rendimientos en zanja según el tipo de terreno. ....	18
Gráfica 5. Distribución porcentual de los indicadores de cambios de diseño. ....	20

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Rendimientos de pozo en Tunnel Liner según el tipo de terreno. ....	14
Tabla 2. Rendimientos de alcantarillado en PHD según tipo de terreno y pendiente. ....	16
Tabla 3. Rendimientos de alcantarillado en zanja según profundidad. ....	18

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Base de datos de rendimientos constructivos en Excel. ....	24
Anexo B. Resultados de rendimientos promedio arrojados con la tabla dinámica en Excel. ...	25

# **Elaboración de una base de datos de rendimientos constructivos e indicadores de cambios de diseño para sistemas de acueducto y alcantarillado que ejecuta la DPASGLO2<sup>1</sup> en el departamento de Antioquia.**

## **RESUMEN**

Se elaboró una base de datos de rendimientos constructivos en Excel para los contratos que ejecutaba en el momento de la práctica la DPASGLO2, relacionados con sistemas de acueducto y alcantarillado, adicionalmente se identificaron indicadores de cambios de diseño en los mismos proyectos. Para ello se analizaron los registros diarios de 5 proyectos diferentes, de donde se extrajo información de los tramos referente a la metodología constructiva empleada, diámetro, tipo de suelo, material de la tubería y profundidad de instalación. Se evidenció que las características del terreno son un factor que afecta directamente los rendimientos obtenidos en las metodologías sin zanja como Tunnel Liner y PHD. Los mejores rendimientos se obtuvieron para los sistemas de acueducto, sin embargo, en alcantarillado la metodología sin zanja CIPP presentó los mayores rendimientos. De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de los indicadores de cambios de diseño, se evidenció que las modificaciones en alineamiento de los diseños fueron originadas principalmente por minimizar impactos sociales, interferencias, variaciones en las condiciones del entorno, errores constructivos y permisos.

## **INTRODUCCIÓN**

Todo desarrollo de una obra de ingeniería que desee llevarse a cabo de una manera óptima y satisfactoria, depende de una correcta planificación, ya que ésta ayuda a establecer la prioridad y el orden de cada una de las actividades que se desarrollan a lo largo de la construcción, teniendo así un mejor control del tiempo a lo largo de la ejecución de la misma, y a su vez una información más acertada de los costos y el presupuesto necesario para llevar a cabo el proyecto, de manera que se pueda determinar la viabilidad del mismo.

De acuerdo con las cantidades de obra y los diseños de cada proyecto, se procede a realizar las proyecciones en tiempo y costo de éste, donde son relevantes los precios unitarios correspondientes a las diferentes actividades de la construcción. Para realizar esta tarea es

---

<sup>1</sup> Dirección Proyectos Agua Saneamiento Gas y Locativos 2



indispensable considerar los rendimientos de las obras a ejecutar, por lo cual, es necesario contar con una base de datos que permita obtener unos análisis más precisos de las actividades constructivas.

A pesar de que muchos contratistas de redes de acueducto y alcantarillado tienen una amplia experiencia respecto a los rendimientos de obra, los estimativos presentados pueden alejarse de la realidad, debido a la gran dispersión que se puede dar en los resultados obtenidos de un proyecto a otro. De manera que esta información debe estar fundamentada en observaciones y análisis estadísticos, en los cuales se tengan en cuenta las diferentes variables que puedan influir en los resultados, entre ellas se encuentran el tipo de tubería a instalar, el tipo de terreno, la profundidad de instalación y el método constructivo.

En el caso específico de la DPASGLO2 de EPM, actualmente no se cuenta con información de rendimientos sustentada en redes de acueducto y alcantarillado construidas anteriormente, por lo cual en la etapa de planeación de los proyectos se ha recurrido a la experiencia de los ejecutores de este, de manera que surge la necesidad de crear una herramienta que contenga dichos datos con el fin de obtener resultados más precisos en la proyección de estas obras.

En esta práctica académica se pretende elaborar una base de datos de acuerdo con la información de rendimientos de obra recolectada por los trabajos que ejecuta la Dirección Proyectos Aguas Saneamiento Gas y Locativos 2 de EPM, relacionados con la construcción de redes de acueducto y alcantarillado, mediante la cual se puedan conocer y clasificar los rendimientos por tipo de terreno, material de tubería, profundidades de instalación y método constructivo, además se determinarán indicadores de cambio de diseño que se logren identificar en cada uno de los proyectos que ejecuta la dirección, con el fin de utilizarlos en la planeación y elaboración de futuros trabajos de la DPASGLO2.

Para la realización de la base de datos, se programarán inicialmente reuniones con los diferentes equipos de trabajo encargados de los proyectos que ejecuta la DPASGLO2, con el fin de recolectar la información relacionada con los rendimientos constructivos e identificar los indicadores de cambios en los diseños que se tenían planteados inicialmente, para después analizar los datos obtenidos y con ellos crear una base de datos en Excel.

## OBJETIVOS

### *General:*

Elaborar una base de datos, la cual permita conocer los rendimientos para cada uno de los métodos constructivos empleados para la construcción, modernización y rehabilitación de redes de acueducto y alcantarillado, y determinar los indicadores de cambios de diseño en los proyectos que ejecuta la DPASGLO2.

### *Específicos:*

- Identificar las diferentes metodologías constructivas utilizadas en los proyectos de acueducto y alcantarillado que ejecuta la DPASGLO2.
- Recolectar la información relacionada con los rendimientos de construcción y cambios de diseño en cada uno de los proyectos de acueducto y alcantarillado que ejecuta por la DPASGLO2.
- Identificar los diferentes indicadores de cambios de diseño presentados durante la ejecución de los contratos de la DPASGLO2.
- Clasificar los cambios de diseño presentados teniendo en cuenta su origen.
- Analizar la información clasificando los rendimientos según el tipo de terreno, profundidades, clase de tubería y metodología aplicada, durante la construcción de redes de acueducto y alcantarillado.
- Crear una base de datos por medio de la cual se puedan conocer los rendimientos por tipo de tubería, tipo de terreno, profundidades y método constructivo, en la ejecución de sistemas de acueducto y alcantarillado.

## MARCO TEÓRICO

La planeación de todo proyecto es una etapa fundamental para lograr unos resultados satisfactorios en el desarrollo de este, debido a que con ello se logra una correcta programación y control de las diferentes actividades que se llevan a cabo, por lo cual es muy importante tener presente diversos factores que se ven involucrados en la ejecución de los diferentes procesos constructivos, entre los cuales se encuentran las cantidades y los rendimientos de obra.

“La cantidad de tiempo que emplea un obrero para ejecutar una determinada cantidad de obra se denomina rendimiento y puede establecerse mediante encuestas y mediciones realizadas en el puesto de trabajo” (Consuegra, 2002).

“La mano de obra, como uno de los componentes en el proceso productivo, aparece como una de las variables que afectan la productividad. Como uno de los objetivos de todas las empresas es ser más competitivos, mejorando la productividad de sus procesos productivos, se hace necesario conocer los diferentes factores que afectan la mano de obra, clasificándolos y determinando una metodología para medir su afectación en los rendimientos y consumos de mano de obra de los diferentes procesos de producción” (Botero, 2002).

El rendimiento de construcción es un concepto que se ha estudiado a lo largo de la historia para la elaboración de obras ingenieriles, llegando a proponer para su cuantificación métodos de estudio como por ejemplo el mencionado en el documento “rendimientos y consumos de mano de obra”, el cual fue elaborado por los ingenieros Antonio Cano y Gustavo Duque, y “permite obtener de una manera más normalizada los datos de rendimientos en las obras” (Cano & Duque, 2000) o el método de promedios nombrado en el libro “presupuestos de construcción” elaborado por Consuegra. Estos estudios se deben a que dicha variable es muy importante a la hora de realizar una planeación, programación y el cálculo del presupuesto de un proyecto, ya que en la mayoría de las actividades ejecutadas en el proceso constructivo se encuentra la participación de los empleados, influyendo directamente en la productividad de una empresa.



“Al analizar la mano de obra de un proyecto, se nota que es quizás el rubro con mayor dificultad para calcular, ya que al ser un recurso humano son muchas las variables que lo afectan, por lo tanto, al obtener rendimientos no será un único valor por actividad. Por esta razón es recomendable que cada empresa maneje sus propios rendimientos de mano de obra dependiendo el tipo de proyecto, considerando las condiciones de su personal. Dentro de los factores que afectan los rendimientos de mano de obra se pueden mencionar: Clima, forma de pago (Contrato o pago por horas), herramientas y equipo utilizado, capacitación del personal de trabajo, incentivos, condiciones de trabajo, materiales utilizados y ubicación del proyecto” (Brenes, 2014).

A pesar de los estudios realizados para determinar los rendimientos en obra, aún no es posible establecer un valor generalizado debido a que éste puede ser afectado por diversos factores, por esta razón se recomienda que cada empresa tenga su propia base de datos con la información recolectada de los proyectos realizados.

En el caso de los rendimientos calculados para los proyectos de acueductos y alcantarillados que se ejecutan actualmente, además de tener en cuenta factores como el tipo de terreno, la profundidad y el material de la tubería, es de gran importancia tener en cuenta la metodología que se utiliza para llevar a cabo los procesos constructivos, debido a que se cuenta con dos metodologías diferentes para realizarse, las cuales son: tecnología sin zanja y con zanja.

“Las zanjas son espacios confinados que se excavan, generalmente, para la colocación y renovación de redes de distribución, canalizaciones de agua, desagües, drenajes, conducciones de gas, electricidad y comunicaciones, así como la ejecución de cimentaciones tradicionales y especiales en edificación. Estas zanjas, normalmente, tienen una profundidad inferior a 6 metros” (Léxico, s.f.), resaltando que generalmente las mayores profundidades corresponden a tramos de alcantarillado, mientras que las menores de acueducto (entre 1-2m).

La excavación con zanja ha sido utilizada a lo largo de la historia como metodología para la construcción, rehabilitación o reemplazo de redes de servicio, por lo cual es importante tener en cuenta las consideraciones y normativas que se rigen para la elaboración de estas actividades; Para el caso de los trabajos realizados por la DPASGLO2, la normativa que rige

esta metodología está plasmada en la NEGC<sup>2</sup>, en donde se tienen en cuenta características del proyecto como diámetro de tubería, tipo de terreno y demás especificaciones de la obra, para determinar el ancho y la profundidad de las zanjas excavadas.

Por otro lado, “las tecnologías sin zanja representan un conjunto de procedimientos cuya finalidad es construir, reemplazar o reparar todo tipo de tuberías de pequeño diámetro (menor de 3-4 metros en algunos casos): alcantarillados, acueductos, redes eléctricas, de comunicaciones, redes de gas natural, entre otras. Como su nombre lo indica, este tipo de procedimientos tienen como finalidad la construcción o instalación de dichos conductos sin recurrir a zanjas; sin embargo, normalmente es necesaria la excavación de un foso de entrada y un foso de salida para la colocación de los equipos a utilizar” (Mínguez, 2015). “Esta metodología se comienza a implementar por la necesidad de minimizar los impactos ocasionados al realizar una excavación con zanja, trayendo beneficios como evitar la ruptura de hormigón en asfaltos, capas granulares de pavimento y grandes movimientos de tierra, además también disminuye las afectaciones a los transeúntes, contaminación sonora, riesgos laborales, entre otros” (Arce, 2017). “Entre los métodos sin zanja utilizadas en proyectos de acueductos y alcantarillados se encuentran: métodos de renovación de instalaciones existentes (Pipe Bursting, Relining, Sliplining, Cured in place pipe, Thermoformed pipe) y métodos constructivos sin zanja (Thrust boring, Impact moling, HDD, Pipe Ramming, HAB, MPJ, MT)” (Mínguez, 2015).

Como se puede evidenciar, las excavaciones sin zanja traen varios beneficios con respecto a las posibles afectaciones sociales que se presentan al usar las excavaciones con zanja, por lo cual esta metodología es utilizada constantemente en los proyectos ejecutados por la DPASGLO2, debido a que la mayoría de éstos se llevan a cabo en zonas generalmente pobladas. Es importante resaltar que mientras que para la metodología con zanja existe la normativa NEGC, para las tecnologías sin zanja aún no se tiene definida una normativa específica, por lo cual EPM actualmente ha establecido especificaciones particulares con el fin de tener un documento base para las intervenciones que se realicen con dicha tecnología. Finalmente cabe resaltar que, de los métodos existentes de excavación sin zanja, los más utilizados dentro de la DPLASGLO2 son PHD, Tunnel Liner, Pipe Bursting y CIPP.

---

<sup>2</sup> Normas y Especificaciones Generales de Construcción

El CIPP (Cured in place pipe) “es una técnica de rehabilitación dentro de una tubería, en la cual se inserta una manga sin juntas, sin costura, aplicable en diámetros entre 0.1 a 3.8 metros. Un tubo de filtro de poliéster y/o tela de fibra de vidrio saturado de resina para la impregnación de la misma, se inserta o se introduce en una tubería dañada y se cura, según la técnica, por medio de calor (CIPP - vapor) o por luz ultravioleta (CIPP - UV)” (DPASGLO2, 2020).

La metodología Pipe Bursting consiste en “una técnica para romper el tubo existente mediante la fractura (neumático) o el corte (estático) de éste, usando la fuerza mecánica desde el interior, de tal manera que los restos de la tubería existente queden incrustados en el suelo circundante. Al mismo tiempo, una nueva tubería, del mismo diámetro o más grande, es halada detrás de la herramienta de ruptura. Para esta técnica se utilizan tubos de PVC o PEAD” (MARIN, 2018).

PHD (Perforación horizontal dirigida) “es una tecnología sin zanja muy versátil que se utiliza para la instalación desde conexiones de servicio a residencias y edificios, hasta tuberías y cables debajo de los caminos y ríos. PHD es el método más adecuado para la instalación de tuberías a presión y conductos donde no se requiere garantizar una pendiente” (MARIN, 2018).

Tunnel Liner “es una técnica de excavación con protección de una camisa de acero ensamblada en sitio. Se realiza por métodos manuales y es una de las primeras TSZ<sup>3</sup> que surgieron para la instalación de otros servicios” (DPASGLO2, 2020).

---

<sup>3</sup> Tecnologías Sin Zanja

## METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir los objetivos antes indicados para esta práctica empresarial, inicialmente se programaron reuniones con los equipos de trabajo designados por la dirección para la ejecución de los proyectos: “Interceptor Sur”, “Planes Maestros Caldas y Barbosa”, “Otras Cuencas”, “La Iguaná” y “Rodas, Piedras Blancas y El Salado”, mediante las cuales se obtuvo la información de los controles de cambios de diseño y de los registros diarios relacionada con las actividades realizadas, la metodología empleada, el tiempo de ejecución, las cantidades de obra, el tipo de terreno encontrado, las novedades, contratiempos y demás datos de interés, que fueron de utilidad para la determinación de los rendimientos constructivos.

A medida que se concretaron las reuniones con los equipos de trabajo, se procedió a realizar una identificación de las metodologías constructivas e indicadores de cambio de diseño que se presentaron durante la ejecución de los 5 proyectos, acompañados de una constante revisión bibliográfica con el fin de comprender mejor los procesos realizados a la hora de llevar a cabo los contratos de acueducto y alcantarillado.

Una vez se recolectó la información necesaria obtenida de los proyectos que se ejecutan en la dirección, se inició con la elaboración de la base de datos de rendimientos e indicadores de cambio de diseño en el programa de Excel, de manera que dicha información fuera analizada, clasificada y tabulada, de tal forma que con ayuda de las tablas dinámicas en Excel se pudieran obtener promedios representativos para las actividades realizadas y metodologías aplicadas, teniendo en cuenta las diferentes variables definidas para los 5 proyectos, como la profundidad, material de tubería, tipo de terreno, diámetro de tubería, entre otras.



## RESULTADOS Y ANÁLISIS

La información recolectada para la elaboración de la base de datos en Excel se constituye de un total de 2659 tramos, de los cuales 909 son redes de acueducto y 1750 redes de alcantarillado. Por otro lado, los indicadores de cambios de diseño se determinan a partir de un total de 176 cambios registrados en los proyectos analizados. La distribución por proyecto de los tramos e indicadores de cambios de diseño se puede observar en la Ilustración 1.

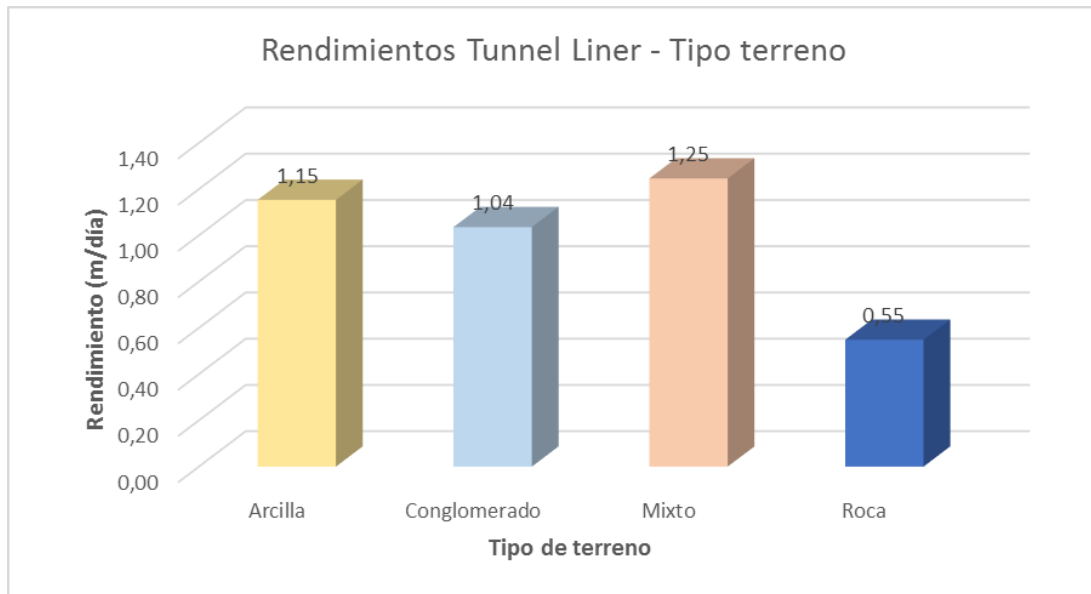


**Ilustración 1.** Información de tramos e indicadores de cambios de diseño según el proyecto.

Durante la revisión de los proyectos se identificaron varios tipos de tecnologías implementadas: para sistemas de alcantarillados se trabajaron tramos en Tunnel Liner (91), Pipe Bursting (55), PHD (2), CIPP (165) y Zanja (1437); Mientras que para sistemas de acueducto los tramos fueron elaborados en Pipe Bursting (15), PHD (1) y Zanja (893).

Los tramos construidos en Tunnel Liner se analizaron según los rendimientos de excavación, los cuales comprenden la actividad de excavación e instalación de anillos, y presentaron valores que varían desde 0.55 m/día hasta 1.25 m/día. Se puede observar en la Gráfica 1 los rendimientos obtenidos para cada tipo de terreno encontrado, siendo el rendimiento en “Roca” el menor valor, mientras que el rendimiento en terreno “Mixto” es el mayor valor calculado; Esto se debe a que evidentemente la roca es un material difícil de perforar, lo cual genera que los rendimientos disminuyan considerablemente.





**Gráfica 1.** Rendimientos en Tunnel Liner según el tipo de terreno.

Para esta tecnología también se calculó el rendimiento de la excavación e instalación de anillos en el pozo de entrada y de salida, según el tipo de terreno como se muestra en la Tabla 1; En este caso el suelo se clasificó como material común (arcilla, conglomerado, limo, mixto) y roca, obteniendo como resultado que los menores avances se realizaban en roca, ya que se lograba instalar aproximadamente 1 anillo diario (0,47m), lo cual se debe a la dureza de ésta.

**Tabla 1.** Rendimientos de pozo en Tunnel Liner según el tipo de terreno

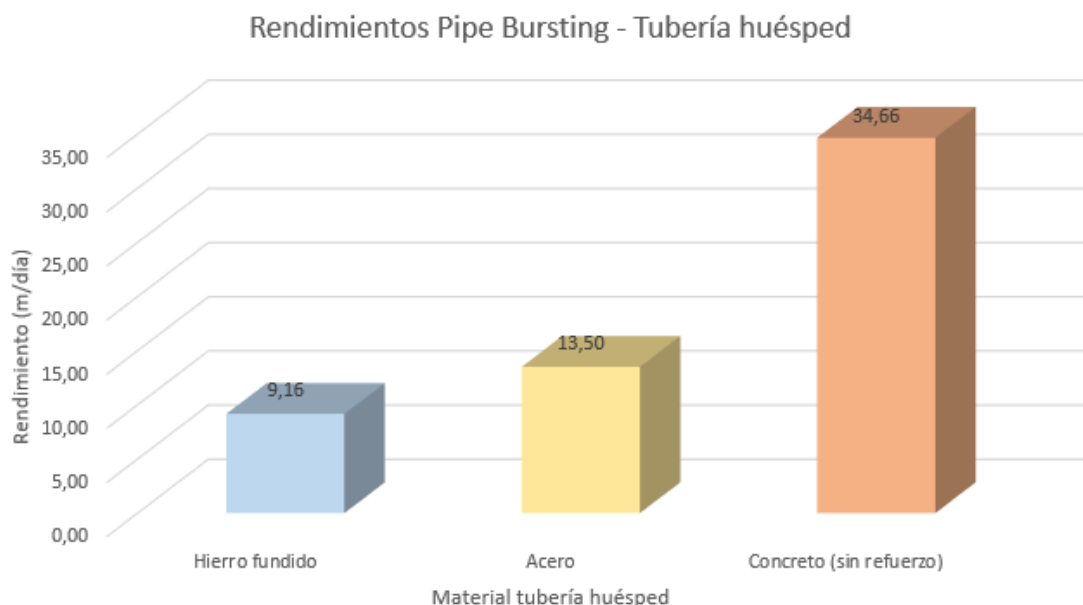
Rendimientos Tunnel Liner - Pozo - Tipo de terreno		
Tipo de terreno	Rendimiento (m/día)	Cantidad de tramos
Material común (Arcilla, Conglomerado, Limo, Mixto)	0,82	14
Roca	0,45	9
<b>Total general</b>	<b>0,67</b>	<b>23</b>

Los resultados de la actividad de instalación de tubería en Tunnel Liner se presentan en la Tabla 2, en donde se muestran los rendimientos según el diámetro del tramo, obteniendo un promedio general de 3,69m/día que, en comparación con las actividades mencionadas anteriormente, son valores más altos, lo que implica que no marca significativamente el avance de la obra.

**Tabla 2.** Rendimientos de instalación de tubería en Tunnel Liner según diámetro de tubería

Rendimientos Tunnel Liner - Instalación de tubería - Diámetro		
Diámetro (mm)	Rendimiento (m/día)	Cantidad de tramos
120	4,01	2
200	3,88	1
250	1,94	1
400	6,50	1
450	2,97	1
600	4,28	2
638	3,25	7
650	2,85	1
675	2,34	1
750	4,26	5
<b>Total general</b>	<b>3,69</b>	<b>22</b>

Por otro lado, para la tecnología Pipe Bursting los rendimientos se calcularon en base a la actividad de destruir la antigua tubería e instalar la nueva. La clasificación de los rendimientos se realiza según el material de la tubería huésped, es decir la tubería destruida durante la instalación, obteniendo los resultados ilustrados en la Gráfica 2, en donde puede observarse que el menor rendimiento se obtiene para los tramos construidos sobre una tubería de hierro fundido; mientras por otro lado, el mayor rendimiento corresponde a los tramos construidos sobre tuberías en concreto no reforzadas, lo cual se debe a la característica del concreto de ser un material frágil.



**Gráfica 2.** Rendimientos en Pipe Bursting según el material de la tubería huésped.

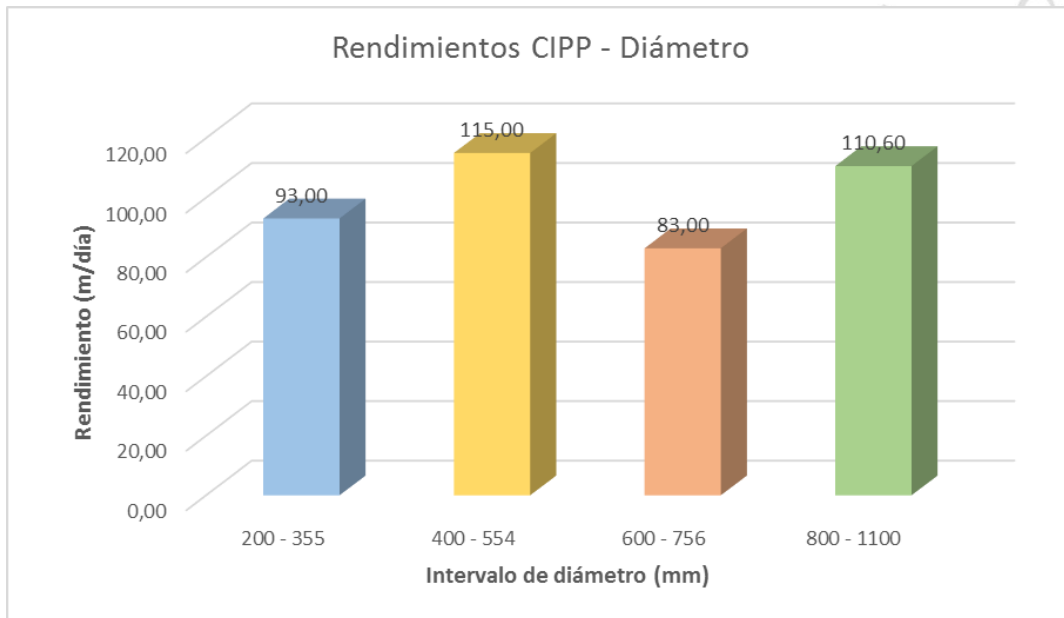
Otra de las tecnologías implementadas en los proyectos de la dirección fue la PHD (Perforación Horizontal Dirigida), con la cual se construyeron solamente 3 tramos. En todos los casos el tipo de terreno contenía bolos de rocas, lo cual generó un bajo rendimiento con un valor promedio de 2.43 m/día, debido a la dificultad de excavar con la presencia de rocas. Además, cabe resaltar que 2 tramos correspondían a alcantarillado, y en ambos casos se logró conservar la pendiente, lo cual es un dato importante ya que esta tecnología se caracteriza por ser utilizada cuando no se necesita garantizar una pendiente, pero en esta ocasión ambas pendientes eran muy bajas (Tabla 3), lo cual puede ser el motivo de que se utilizara esta metodología y que se lograra cumplir esta característica de la red.

**Tabla 3.** Rendimientos de alcantarillado en PHD según tipo de terreno y pendiente

Rendimientos PHD - Tipo de terreno			
Tipo de terreno	Rendimiento (m/día)	Cantidad de tramos	Pendiente tramos (%)
Bolos de roca	2,45	2	2,27
<b>Total general</b>	<b>2,45</b>	<b>2</b>	<b>2,27</b>

A pesar de que la mayoría de las metodologías sin zanja dependen del tipo de terreno, la rehabilitación de tuberías con la tecnología CIPP es la excepción, debido a que en este caso no se realiza ningún tipo de excavación, por este motivo se calculan los rendimientos según la actividad de instalación de manga y curado a vapor, los cuales se clasifican de acuerdo con el diámetro de la tubería, como se muestra en la Gráfica 3. Se puede observar que los

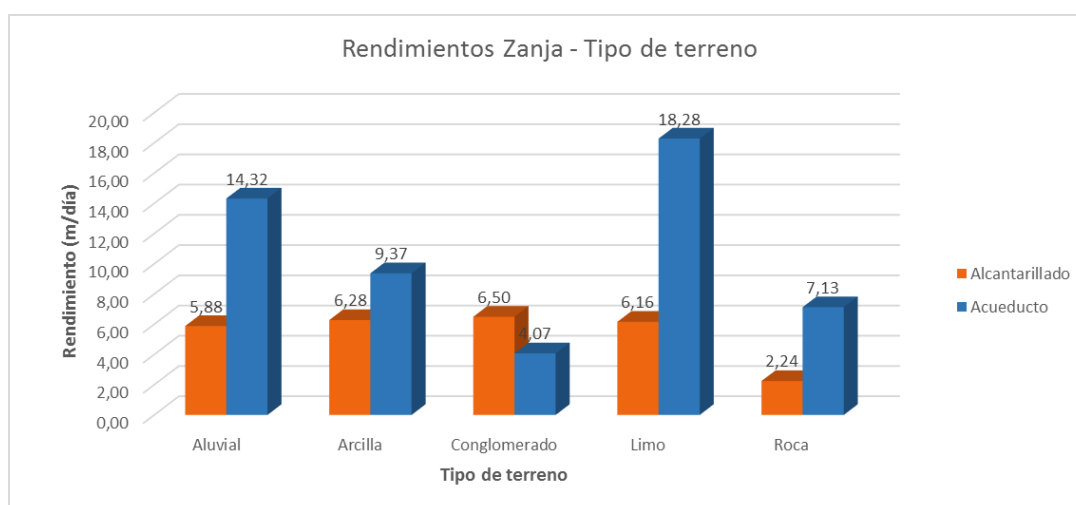
rendimientos obtenidos con CIPP son muy buenos, tanto así que los tramos intervenidos se rehabilitaron en un solo día, por lo cual lo que realmente se ilustra son los máximos rendimientos obtenidos en cada intervalo de diámetro.



**Gráfica 3.** Máximos rendimientos en CIPP según el diámetro de la tubería.

La última de las tecnologías utilizadas en la ejecución de los proyectos es la metodología con zanja, para la cual se calcularon los rendimientos teniendo en cuenta las actividades de excavación, instalación de tubería y lleno de la zanja. En este caso se decide realizar el análisis por separado para acueducto y alcantarillado, debido a que los rendimientos para cada tipo de red tenían diferencias notables, además la clasificación se realiza por tipo de terreno.

En la Gráfica 4 se observa la clasificación por tipo de terreno, en donde se evidencia que en general los rendimientos obtenidos para redes de acueducto son mayores que los obtenidos para alcantarillado, siendo la diferencia mucho más notoria en los terrenos Limo, Aluvial y Roca; En el tipo de terreno conglomerado es la única excepción a la afirmación anterior, sin embargo para el caso de terreno conglomerado de acueducto apenas se tuvo la información de 2 tramos, lo cual puede hacer que la información no sea muy confiable, debido a que son muy pocos tramos. También puede notarse que los rendimientos de alcantarillado son muy similares para los diferentes tipos de terreno, a excepción del tipo de terreno roca, ya que en este los rendimientos son mucho menores, debido a que el suelo es más duro y por ende genera una mayor dificultad para excavar.



**Gráfica 4.** Rendimientos en zanja según el tipo de terreno.

También se analizó el rendimiento en zanja para alcantarillado de acuerdo con la profundidad de excavación, agrupando los tramos en 3 categorías distintas, como se muestra en la Tabla 4. Sin embargo, los resultados obtenidos no son los esperados, ya que los mejores rendimientos fueron los de profundidades superiores a 5m, lo cual según la experiencia en obra no es cierto, por lo tanto, esta clasificación no es muy confiable y se recomienda tomar más datos de la categoría >5m, debido a que una de las posibles razones de que este valor sea el más alto, es la poca cantidad de tramos que se analizaron (17) en comparación a las otras categorías.

**Tabla 4.** Rendimientos de alcantarillado en zanja según profundidad.

Rendimientos Zanja - Profundidad		
Profundidad (m)	Rendimiento (m/día)	Cantidad de tramos
0-2	6,21	471
2-5	5,70	786
>5	6,38	17
Sin información	6,29	28
<b>Total general</b>	<b>5,91</b>	<b>1302</b>

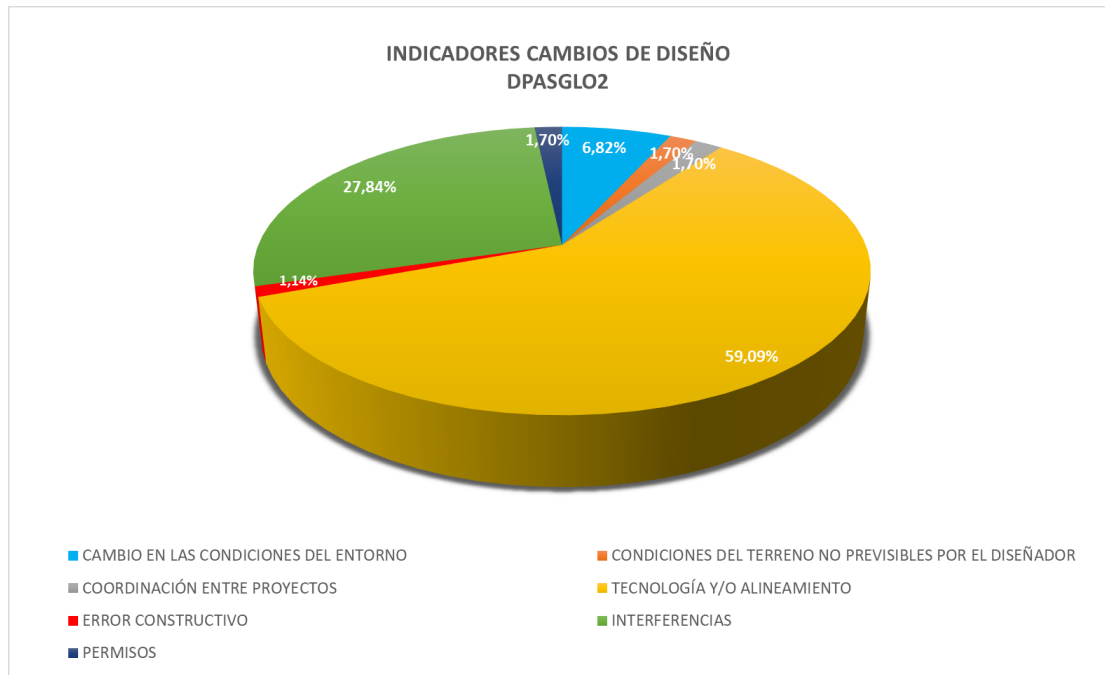
Finalmente, se analizaron los cambios de diseño para cada uno de los proyectos, y se logró clasificarlos en 7 indicadores, que se relacionan a continuación:

- Cambio en las condiciones del entorno: Abarca los cambios de topografía, construcción o expansión de viviendas y crecimiento de individuos arbóreos, que no se encontraban a la hora de realizar el diseño.



- Condiciones del terreno no previsible por el diseñador: Abarca los cambios de tipo de terreno en la longitud de los tramos, que no fue posible identificar con los estudios realizados.
- Coordinación entre proyectos: Abarca los cambios en las condiciones del terreno o en las redes que se pensaban intervenir, provocados por la intervención de otro proyecto.
- Tecnología y/o alineamiento: Cambios de tecnología y alineamiento, realizados con el fin de minimizar el impacto en las condiciones del entorno.
- Error constructivo: Abarca los cambios en las condiciones del terreno y cotas de diseño de las tuberías, provocados por una mala ejecución en obra por parte del personal.
- Interferencias: Abarca la presencia de coberturas, estructuras, redes de acueducto y redes de gas, que interferían con el alineamiento de los tramos y no era posible identificar desde la fase de diseño.
- Permisos: Abarca los cambios generados por respuestas negativas a permisos de cierre vial o altos costos en la implementación de PMT requeridos.

Los resultados obtenidos para el análisis de indicadores de cambios de diseño se observan en la Gráfica 5, en donde se puede evidenciar que el 59.09% corresponden al cambio de tecnología y/o alineamiento, seguido de las “interferencias” con el 27.84% de las variaciones realizadas. Esto indica que la mayor cantidad de modificaciones en los proyectos se realizaron con el fin de mitigar el impacto al entorno, de manera que ésta es una variable importante a tener en cuenta en la ejecución de una obra, que para el caso de sistemas de acueducto y alcantarillado se ha logrado manejar con la ayuda de las tecnologías sin zanja.



**Gráfica 5.** Distribución porcentual de los indicadores de cambios de diseño.

## CONCLUSIONES

Lo expuesto anteriormente permite concluir que la estimación de los rendimientos constructivos en una obra es de gran importancia para mantener un adecuado control del tiempo y presupuesto requerido para la elaboración de un proyecto, por lo cual un trabajo como el presentado en este informe toma valor, no sólo por la experiencia adquirida como practicante, con respecto a los procesos empleados en la construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado, sino también, porque los resultados obtenidos pueden ser de gran utilidad para la planeación de futuros trabajos en la dirección.

Durante la etapa de recolección de información para la elaboración de la base de datos, se pudo observar que los formatos empleados para los registros diarios de cada proyecto eran diferentes, no sólo en el orden, sino también en su contenido, lo cual generó un poco de dificultad a la hora de extraer la información de éstos, de manera que se recomienda diseñar y utilizar un único formato en la dirección para futuros proyectos. En especial, la información referente al tipo de terreno encontrado durante la construcción de la obra, no se encontraba especificada en ningún registro diario, por lo cual se recurrió a consultar otros documentos como los de georreferenciación, sin embargo, este proceso retardó un poco el avance de este proyecto e incluso en algunos casos, no fue posible determinar el tipo de terreno debido a

razones como cambios en los IPID de diseño con respecto a los de georreferenciación, o porque no estaba actualizada la base de datos; Por lo cual si se diseñara un nuevo formato de registro diario, sería de gran utilidad para el cálculo de los rendimientos registrar el tipo de terreno encontrado en cada tramo.

Se evidencia que las características del terreno son un factor que afecta directamente los rendimientos obtenidos en las metodologías sin zanja como Tunnel Liner y PHD, debido a que una mayor dureza del terreno se ve reflejada en una mayor dificultad para excavar y por ende resultan rendimientos más bajos. También se recomienda hacer un estudio más detallado de este tipo de tecnologías porque se puede observar en el caso del Pipe Bursting, que hay factores como el material de la tubería huésped que también influyen en los rendimientos, sin contar parámetros que no fue posible determinar como el tipo de maquinaria utilizada.

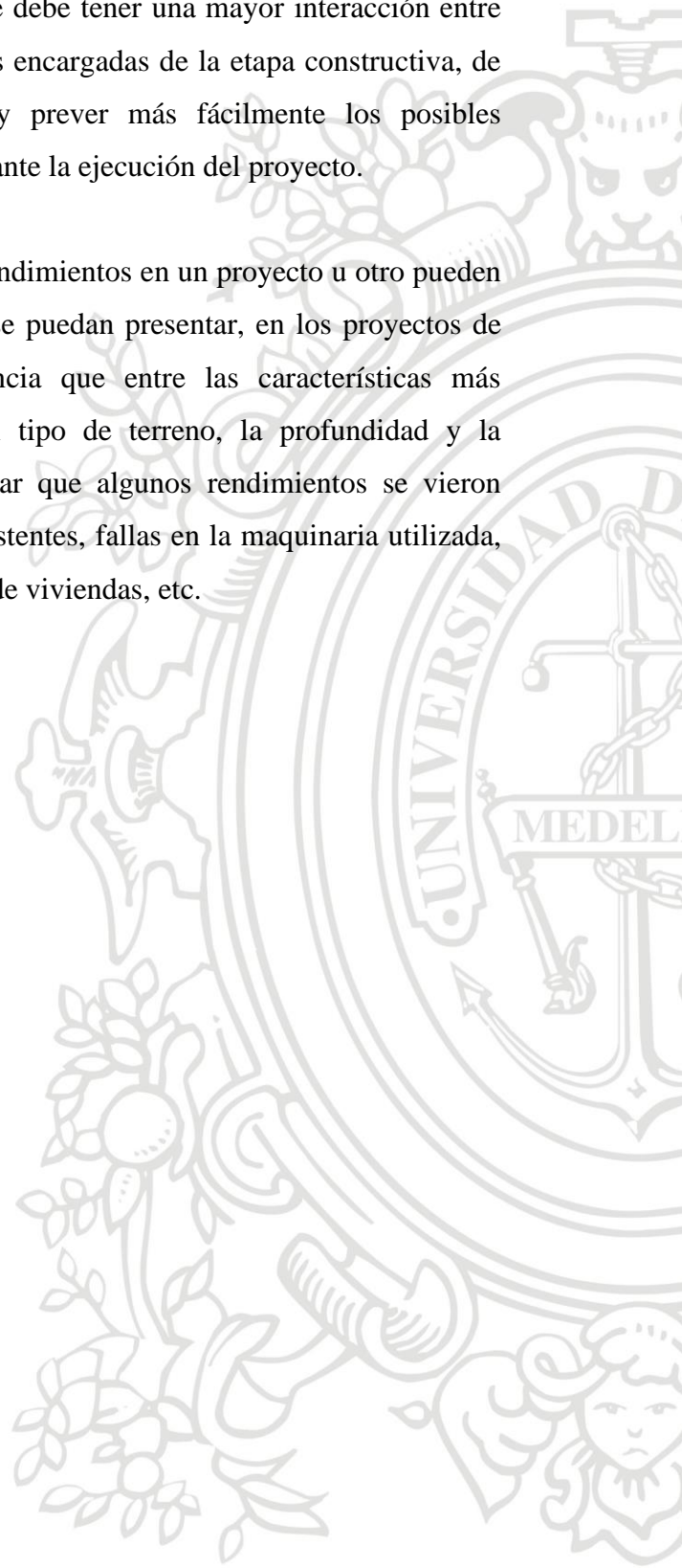
La tecnología CIPP es la metodología sin zanja en la que se obtuvieron los mejores rendimientos, debido a que la rehabilitación de los tramos se lograba realizar en un solo día, lo cual la hace una tecnología muy útil. Así mismo, es importante tener en cuenta que con esta tecnología de rehabilitación de tuberías se tiene una pérdida mínima de la sección, disminución de rugosidad de la pared interna y, por tanto, un incremento en la capacidad original de transporte.

En la aplicación de metodologías con zanja, se concluye que evidentemente los rendimientos obtenidos para redes de acueducto son mayores que los obtenidos en redes de alcantarillado, y esto se debe a que generalmente las profundidades de redes de alcantarillado son mayores que las de acueducto, por lo cual se tienen que realizar unas mayores excavaciones, mayores cantidades de llenos y se presenta una mayor dificultad en la instalación de la tubería.

Por otro lado, respecto al objetivo enfocado en determinar los indicadores de cambios de diseño, éste se realizó con facilidad debido a que los equipos de trabajo de cada proyecto contaban con la información de controles de cambio de manera detallada y organizada, además porque se tuvo una buena comunicación permitiendo así comprender mejor cada uno de los cambios realizados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de los indicadores de cambios de diseño, se puede concluir que la mayor cantidad de cambios de diseño se presentaron como cambios de tecnología y alineamiento, por lo cual se debe tener una mayor interacción entre los diseñadores, las zonas a intervenir y las personas encargadas de la etapa constructiva, de manera de que se puedan complementar ideas y prever más fácilmente los posibles contratiempos que impliquen futuros cambios de durante la ejecución del proyecto.

Finalmente, como se menciona en la literatura, los rendimientos en un proyecto u otro pueden tener variaciones por diferentes características que se puedan presentar, en los proyectos de sistemas de acueducto y alcantarillado se evidencia que entre las características más relevantes para los rendimientos se encuentran el tipo de terreno, la profundidad y la metodología constructiva; Además se pudo observar que algunos rendimientos se vieron afectados por razones como afectaciones a redes existentes, fallas en la maquinaria utilizada, presencia de coberturas, presencia de cimentaciones de viviendas, etc.





## REFERENCIAS

- Arce, J. (2017). *Aplicación de la tecnología sin zanja para mejorar la productividad en la rehabilitación de redes de alcantarillado*. Lima.
- Botero, L. F. (2002). *Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción*.
- Brenes, J. O. (2014). *Análisis de rendimientos y productividad de mano de obra para la empresa La Puerta del Sol Equipo Constructor S.A.*
- Cano, A., & Duque, G. (2000). *Rendimientos y consumos de mano de obra*.
- Consuegra, J. G. (2002). *Presupuestos de construcción - Segunda edición*. Bhandar editores.
- DPASGLO2. (2020). *Metodología constructiva redes alcantarillado*. Medellín.
- Léxico. (s.f.). Obtenido de <https://www.lexico.com/es/definicion/zanja>.
- MARIN, J. R. (2018). *Informe Practica Empresarial, tecnologías sin zanja*. Medellín.
- Mínguez, F. (2015). *Métodos de excavación sin zanjas*.





## ANEXOS

### Anexo A. Base de datos de rendimientos constructivos en Excel.

PROYECTO	TIPO DE REL	ACTIVIDAD EJECUTADA	TRAMO	TIPO TECNOLOGÍA	DIAMETR (mm)	MATERIAL TUBERÍA	DÍAS TRABAJADOS	LONGITUD CONSTRUIDA (m)	Profundidad Promedio (m)	TIPO DE TERRENO	RENDIMIENTO (mL_tubería_inst/ día)
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	CA491D - CA491C	Zanja	200	PVC	2,00	10,33	1,07	Limo	5,17
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E1061 - E471	Zanja	730	PVC	3,00	19,50	2,24	Limo	6,50
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E471 - E472	Zanja	730	PVC	1,00	18,00	2,93	Limo	18,00
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E472 - A473	Zanja	730	PVC	2,00	27,80	3,55	Limo	13,90
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E445 - E445N	Zanja	898	PVC	3,00	18,00	5,00	Limo	6,00
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E1061 - E469	Zanja	730	PVC	2,00	14,40	2,20	Limo	7,20
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E468 - E469	Zanja	730	PVC	6,00	40,00	3,04	Limo	6,67
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E467 - E468	Zanja	450	PVC	2,00	12,00	2,59	Limo	6,00
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E445 - E446N	Zanja	898	PVC	1,00	12,00	5,26	Limo	12,00
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E414 - E415	Zanja	450	PVC	3,00	35,13	1,23	Limo	11,71
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E413 - E414	Zanja	450	PVC	4,00	65,43	0,90	Limo	16,36
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E489 - E416	Zanja	200	PVC	5,00	33,55	1,37	Limo	6,71
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E413 - E412	Zanja	450	PVC	1,00	33,42	1,04	Limo	33,42
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E416 - E415	Zanja	450	PVC	3,00	25,39	1,42	Limo	8,46
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E411 - E412	Zanja	450	PVC	8,00	61,41	2,07	Limo	7,68
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	A488 - E489	Zanja	200	PVC	3,00	32,02	1,02	Limo	10,67
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E419 - E420	Zanja	660	PVC	10,00	60,05	2,32	Limo	6,01
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E419 - E418	Zanja	660	PVC	9,00	74,50	2,57	Limo	8,28
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	A488 - E487	Zanja	450	PVC	4,00	34,10	1,66	Limo	8,53
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E417 - E418	Zanja	450	PVC	2,00	15,49	2,79	Limo	7,75
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E487 - E491	Zanja	250	PVC	3,00	16,85	2,93	Limo	5,62
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	A488 - B488	Zanja	450	PVC	1,00	10,05	0,15	Limo	10,05
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E504 - E420	Zanja	315	PVC	3,00	34,06	1,82	Limo	11,35
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E410 - E411	Zanja	450	PVC	6,00	68,45	2,66	Limo	11,41
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E490 - E491	Zanja	250	PVC	2,00	11,84	3,32	Limo	5,92
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	MH1027 - E487	Zanja	355	PVC	2,00	15,00	2,46	Limo	7,50
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E409 - E410	Zanja	450	PVC	3,00	33,00	3,39	Limo	11,00
Interceptor Sur	Alcantarillado	Excavación - Instalación de tubería - Lleno	E408A - E409	Zanja	450	PVC	4,00	31,54	4,85	Limo	7,89

**Anexo B. Resultados de rendimientos promedio arrojados con la tabla dinámica en Excel.**

PROYECTO	(Todas)	
TIPO DE RED	(Todas)	
TIPO TECNOLOGÍA	Tunnel Liner - Instalación tubería	
TIPO DE TERRENO	(Todas)	
Profundidad Promedio (m)	(Todas)	
Diámetro (mm)	Promedio de RENDIMIENTO (ml_tubería_instl día)	Cuenta de RENDIMIENTO (ml_tubería_instl día)
120	4,01	2
200	3,88	1
250	1,94	1
400	6,50	1
450	2,97	1
600	4,28	2
638	3,25	7
650	2,85	1
675	2,34	1
750	4,26	5
<b>Total general</b>	<b>3,69</b>	<b>22</b>