



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS USANDO UN
SISTEMA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA VS. EXCAVACIÓN A
CIELO ABIERTO, EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS.

JASSON MATAMOROS CALDERÓN
JUAN DAVID BAQUERO PARDO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D.C
2021

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS EN SISTEMA DE
PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA Y EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO,
EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS.

JASSON MATAMOROS CALDERÓN
JUAN DAVID BAQUERO PARDO

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Gerencia de
Obras

Docente
ING. MARIO BONILLA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D.C.

2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. Generalidades	13
1.1 Línea de Investigación	13
1.2 Planteamiento del Problema	13
1.2.1 Antecedentes del problema.	15
1.2.2 Pregunta de investigación	17
1.2.3 Variables del problema	18
1.3 Justificación	18
1.4 Hipótesis	19
2. Objetivos	20
2.1 Objetivo general	20
2.2 Objetivos específicos	20
3. Marcos de referencia	21
3.1 Marco conceptual	21
3.2 Marco teórico	24
3.2.1 Generalidades de los métodos de excavación en las instalaciones de redes subterráneas.	24
3.2.2 Excavación a Cielo Abierto	25
3.2.3 Sistema de construcción sin zanja.	30
3.2.4 Perforación Horizontal Dirigida	34
3.2.5 La productividad en la gerencia de obra	38
3.2.6 Técnicas de gerencia de obra que pueden minimizar los problemas propios de ECA y PHD.	40
3.2.6.1 Generalidades	40
3.2.6.2 Guía del PMBOK	44
3.2.6.3 Método Time- Lapse.	51

3.2.6.4	Metodología Scrum	52
3.2.6.5	Técnicas de gerencia de obra basadas en el manual PMBOK y su incidencia en la selección del método de instalación de redes subterráneas.	53
3.3	Marco jurídico	53
3.4	Marco geográfico	54
3.5	Marco demográfico	57
3.6	Estado Del Arte	59
4.	Metodología	61
4.1	Fases del trabajo de grado	62
4.2	Instrumentos o herramientas utilizadas	63
4.3	Población y muestra	64
4.4	Alcances y limitaciones	64
5.	Productos a entregar	66
6.	Entrega de resultados	67
6.1	instrumento encuesta	67
6.1.1	Perfil de profesionales que validan y responden la encuesta	68
6.1.2	Validación de la encuesta dirigida a expertos	71
6.2	Realización de la encuesta	73
6.3	resultados de la encuesta	76
6.3.1	Características técnicas predominantes en los sistemas constructivos de redes subterráneas	76
6.3.2	Gestión de tiempo.	81
6.3.3	Gestión de costos.	85
6.3.4	Gestión de riesgos.	89
6.4	Análisis de resultados	93
7.	NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO.	97
8.	CONCLUSIONES	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zanja.....	27
Figura 2. Excavación masiva	27
Figura 3. Excavación masiva	28
Figura 4 Cabezas de perforación.....	31
Figura 5 Martillo impactador.	31
Figura 6. Equipo Ramming y Martillo hidráulico.....	32
Figura 7. Cables y viga de agarre en un sistema Auger Boring.	33
Figura 8. Microtuneladora.	34
Figura 9. Cabeza de perforación y escariador.	37
Figura 10. Etapas que conforman el ciclo de productividad.....	39
Figura 11 Descripción de la gestión de tiempo en un proyecto según guía PMBOK	47
Figura 12 Pasos de programación según guía PMBOK	48
Figura 13 Descripción de la gestión de costos de un proyecto según guía PMBOK	49
Figura 14 Actividades de la gestión de riesgos de un proyecto según guía PMBOK	50
Figura 15. Localidades de Bogotá	56
Figura 16 Comparación de resultados sobre criterios técnicos inherentes al terreno	78
Figura 17 Comparación de resultados sobre criterios técnicos inherentes al sitio .	80
Figura 14 Aspectos importantes en la gestión de tiempo.	82

Figura 18. Importancia en obra del cumplimiento de la gestión de tiempo	83
Figura 19 Eficacia de la gestión de tiempo en obra	84
Figura 20 Aspectos importantes en la gestión de costos.....	86
Figura 21. Importancia en obra del cumplimiento de la gestión de costos.....	88
Figura 22 Eficacia de la gestión de costos en obra.....	88
Figura 23 Aspectos importantes en la gestión de riesgos.....	90
Figura 24. Importancia en obra del cumplimiento de la gestión de riesgos	92
Figura 25 Eficacia de la gestión de riesgos en obra	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Variables del problema	18
Tabla 2. Temáticas tratadas en las 3 últimas ediciones de la guía PMBOK	45
Tabla 3 Producto a entregar	66
Tabla 4 Perfiles de profesionales encuestados.....	68
Tabla 5 Validación de la herramienta a juicio de expertos.....	72
Tabla 6 Sumatoria de varianzas para las respuestas de excavación a cielo abierto	74
Tabla 7 Sumatoria de varianzas para perforación horizontal dirigida	75
Tabla 8 Resultados de encuesta para categoría de criterios técnicos.....	76
Tabla 9 Resultados de encuesta para categoría de criterios de gestión de tiempo	81
Tabla 10 Resultados de encuesta para categoría de criterios de gestión de costos	85
Tabla 11. Resultados de encuesta para categoría de criterios de gestión de riesgos	89

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	ENCUESTA A PROFESIONALES.....
ANEXO B	FORMATO PARA JUICIO DE EXPERTOS.....
ANEXO C	ENCUESTAS DILIGENCIADAS

RESUMEN

El presente documento se basa en una encuesta a expertos para que ellos mediante sus respuestas puedan ayudar a determinar la forma en que la gestión de tiempos, costos y riesgos, puede incidir en el método de instalación de tuberías subterráneas, entre excavación a cielo abierto y perforación horizontal dirigida.

La herramienta encuesta, se prepara y se presenta para su validación a los mismos 12 expertos, (6 en cada uno de los métodos), quienes contestaran preguntas tipo Likert que son valoradas y analizadas, determinando las características y diferencias de estos sistemas constructivos. Donde los resultados muestran que las características técnicas generales del terreno son muy importantes para determinar los costos de una alternativa, pero los factores que pueden ser más determinantes en la selección de un método específica son los relacionados con el entorno, como la presencia de obstáculos graves en la línea de trazado, o el tráfico continuo de peatones y vehículos

ABSTRACT

This document is based on a survey of experts so that they, through their responses, can help determine the way in which time, cost and risk management can affect the method of installing underground pipes, between open pit excavation and Directed horizontal drilling.

The survey tool is prepared and presented for validation to the same 12 experts, (6 in each of the methods), who will answer Likert-type questions that are valued and analyzed, determining the characteristics and differences of these construction systems. Where the results show that the general technical characteristics of the terrain are very important to determine the costs of an alternative, but the factors that can be more decisive in the selection of a specific method are those related to the environment, such as the presence of serious obstacles on the marking line, or continuous pedestrian and vehicle traffic

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos, dentro de la gerencia de obras, es una rama de la ingeniería que permite planear, organizar y ejecutar los proyectos de manera eficiente, mitigando las posibles fallas que puedan generar sobrecostos y retrasos en los tiempos de entrega de un proyecto de obra civil.

Este es un aspecto a tener en cuenta dentro del sector de la construcción, que en Colombia ha tenido un crecimiento que lo sitúa como el de mayor participación en la Economía nacional, para el año 2016, la rama de construcción mostró una variación positiva, explicada por el aumento en la construcción de edificaciones del 6,0% y de obras civiles del 2,4%, donde los factores que hacen de este sector uno de los más prósperos en la economía nacional son los programas de gobierno para la construcción de infraestructura y la oferta de vivienda que son aprovechados por las constructoras para generar proyectos que puedan suplir la demanda y generar sus fuentes de ingresos¹.

Por tal razón este crecimiento va de la mano con el incremento de la población y el desarrollo de nuevas infraestructuras, que han impulsado el aumento significativo del avance de proyectos en los que existe la necesidad de crear nuevas formas en la instalación de redes subterráneas, procurando afectar en lo mínimo la infraestructura ya construida.

En este contexto es muy importante considerar las afectaciones que se pueden producir en una ciudad cuando se realizan excavaciones para instalación de redes subterráneas que van desde generación de material particulado, ruido, alteración en la movilidad y daños en los pavimentos flexibles como en los pavimentos rígidos,

¹ SUPERINTENDENCIA DE SOCIEDADES, «Comportamiento de las empresas más grandes del sector real, por ingresos operacionales,» Supersociedades, Delegatura de Asuntos Económicos y Contables, Grupo de Estudios Económicos y Financieros, Bogotá D.C., 201

hasta accidentes e inseguridad; Lo que conlleva a la búsqueda de métodos de gerencia de obra que se adapten a las condiciones de cada proyecto en pro de la sostenibilidad de las obras, garantizando condiciones de seguridad y calidad de vida a los habitantes.

Es decir que, el crecimiento de este sector hace que en las empresas constructoras que ejecutan excavaciones, se tengan que plantear metas para cumplir con estándares de productividad y competitividad que son impuestas por una competencia cada vez más difícil. Esto incentiva la entrada de constructoras multinacionales, puesto que los procesos que fueron inicialmente efectuados de manera empírica y artesanal deben ajustarse a la realidad de la competencia y a las exigencias de calidad que se imponen en el contexto actual.

Se debe tener en cuenta que, en los proyectos con mucha excavación, son manejados grandes volúmenes de materiales que requieren de procesos constructivos estandarizados, que necesitan una planeación, gestión y control eficiente, en las cuales se identifiquen las actividades que implican tiempos de duración excesivos, posibles desperdicios de material, o sobredemanda de personal que muy pocas veces son tenidos en cuenta dentro de los planes iniciales de la gerencia de obra.

Por consiguiente, a partir de lo mencionado y de la información adquirida de obras ejecutadas en la ciudad de Bogotá, se pretende establecer la forma en la que los direccionamientos gerenciales pueden afectar la gestión de obras en sistema tradicional excavación a cielo abierto (ECA) y el sistema sin zanja, de perforación horizontal dirigida (PHD), para la instalación de redes subterráneas. Comparando técnicas, tiempos, costos y riegos con el fin de establecer un criterio técnico y económico, que ayude en la elección del proceso de ejecución que se adapten de manera eficiente y competitiva a las características de los distintos proyectos de instalación de redes subterráneas.

1. GENERALIDADES

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación se enfocará en la línea de “GESTIÓN INTEGRAL Y DINÁMICA DE LAS ORGANIZACIONES EMPRESARIALES” de acuerdo a los lineamientos dispuestos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población y el desarrollo de nuevas infraestructuras urbanas y rurales, han impulsado la construcción de nuevos proyectos de redes subterráneas tanto públicas como privadas, adicional a ello el deterioro de la vida útil de las tuberías que se encuentran en mal estado y obsoletas; lo que implica en ocasiones el mantenimiento o renovación de la red, debido a esto se buscan distintos métodos constructivos que se adecuen a las características de cada proyecto con el fin de brindar una solución eficiente y adecuada.²

La mayoría de las empresas de construcción bogotanas no tienen sistemas de gerencia eficientes para determinar las pérdidas en sus procesos constructivos, tampoco tienen protocolos para minimizarlas. Esto hace que se requiera la implementación de los conceptos de gerencia de obra que contribuyan a identificar estándares de tiempo, riesgos y recursos, generando excavaciones eficientes.

El incumplimiento generalizado de los plazos iniciales en la construcción de las obras, así como los sobrecostos que aumentan los presupuestos, se pueden explicar, por ejemplo, con la presencia de tiempos muertos dentro de las actividades de los empleados, sobrecostos en la utilización de equipos y riesgos innecesarios

[2] CHAVEZ, D, CÁRDENAS, MORENO, C. AVILEZ, J. y BERNAL, “Estudio comparativo técnico y económico del sistema de perforación horizontal ramming y el sistema convencional, estudio de caso”, Revista Ingeniería Solidaria, vol. 14, no. 24, pp. 16, enero 2018.

del personal dentro de las excavaciones ³.

Sin embargo, muchas constructoras colombianas no implementan procesos de mejoramiento continuo, para transformar sus sistemas de calidad, y dentro de las gerencias de obra no se proponen mejoras a los niveles productivos, adoptando metodologías que se enfoquen en la identificación, la comparación y el análisis de las características de los métodos constructivos disponibles para una actividad ⁴.

Todo a pesar de que, según el estudio realizado por Villamizar, Duque, Cáceres y Ramírez ⁵, el sector de la construcción tiene que un rol estratégico en la economía nacional por su capacidad de dinamizar frentes como la producción y la generación de empleo. Sin embargo, los tiempos, los riesgos y los presupuestos inicialmente estimados no son precisos por problema logísticos que se han convertido en una característica propia de las empresas constructoras colombianas.

De esta forma, tanto los sistemas de perforación horizontal dirigida, como las excavaciones a cielo abierto tienen ventajas y desventajas, y dependiendo de cada caso, una u otra puede ser la metodología más conveniente. Porque para la gerencia de obra, su problema en términos de tiempo, costos y riesgos se evidencia al seleccionar la técnica menos óptima.

Específicamente dentro de los métodos de excavación se debe considerar que los sistemas de perforación horizontal dirigida pueden ser más utilizados cuando los ductos se encuentran más profundos y cuando se tiene facilidad y seguridad en el

³ PONS Achell, Introducción a Lean Construction, 1ª edición ed., Madrid: Fundación Laboral de la Construcción, 2014.

⁴ BOTERO, L. «Diez años de implementación Lean en Colombia, logros y detalles (Construcción sin pérdidas),» Universidad EAFIT, Medellín 2014

⁵ VILLAMIZAR, J. DUQUE, N. CÁCERES Y B. RAMÍREZ, «Informe sobre desempeño del sector construcción y edificaciones,» Grupo de Estudios Económicos y Financieros, Bogotá D.C., 2016.

uso de esta tecnología y barreras que eviten averiarlas, mientras las excavaciones a cielo abierto son frecuentemente utilizadas eficientemente en ductos superficiales en los que muchas veces se requiere la estabilización de los taludes, siendo estas en ejemplo de las características a considerar en la gestión de tiempos, costos y riesgos, para una gerencia de obra óptima.

De acuerdo a lo anterior se quiere desarrollar las técnicas y metodologías constructivas que faciliten los trabajos de construcción de obra con el menor impactado socio-ambiental, con la mayor viabilidad económica y optimizando los tiempos de ejecución, sin omitir los riesgos que cada una de estas técnicas implican.

1.2.1 Antecedentes del problema.

En materia de excavación a nivel mundial es notorio como después del tiempo las empresas y compañías constructoras se inclinan cada vez más al empleo de metodologías limpias, como lo señala R. Aziz⁶, la inclinación hacia el perfeccionamiento, la implementación de procesos que direccionen y perfeccionen los resultados de las excavaciones es algo que se evidencia en el sector de la construcción.

El autor menciona que desde aproximadamente 1993, el IGLC como se conoce al International Group for Lean Construcción, se direcciona a ejecutar varias investigaciones tendientes a no solo mejorar sino a perfeccionar todas las actividades que se relacionan con el desarrollo de un proyecto obra civil.

Sin embargo, otra es la opinión emitida por Limón⁷, quien manifiesta que, a pesar

⁶ R. AZIZ, «Applying lean thinking in construction and performance improvement, » Alexandria Engineering Journal, pp. 679-695, 2013

⁷ D. LIMÓN, «Measuring Lean Construction - A Performance measurement model supporting the implementation of Lean practices in the Norwegian construction industry., » Norwegian University of Science and Technology, New York, 2015

de todo, “aún no se perciben estos beneficios de una forma integral”, puesto que sencillamente es muy difícil establecer si los beneficios se obtuvieron como resultado propio o son el resultado del empleo de los sistemas de gerencia de obra empleados.

Desde otro punto de vista, al realizar investigaciones literarias sobre el tema referente, se percibe que es fácil encontrar varias herramientas tendientes a evaluar la forma como se desempeña la gerencia de obra en variados aspectos. Así, por ejemplo, se encuentran modelos que evalúan las practicas utilizadas en Lean Construcción, igualmente, hay modelos de madurez, empleo de herramientas de reducción de pérdidas, relacionadas con los recursos involucrados.

En sí, desde una mirada filosófica, los procesos gerenciales se sustentan básicamente, en la optimización de procesos productivos a través de la “identificación y eliminación de desperdicios” Cubaque⁸; sin embargo, el autor señala que no se deben excluir los análisis de la cadena de valor, porque de esta manera no se obtiene un flujo de material constante y estable, ni características de calidad, cantidad y producción en tiempo estables y seguras. En otras palabras, se obtienen rendimientos y calidad de excavaciones a través de la implementación de herramientas flexibles y fiables, que garantizan que el tiempo en que fue solicitado.

La gerencia de obra en excavaciones como en todo sistema de construcción sin perdidas, se centra principalmente a “reducir los costos de operación”, a través de la disminución de las actividades sin valor, y que se direcciona a desarrollar un trabajo con mayor rapidez, con una calidad adecuada, y creando conciencia en las personas para que se direccionen a laborar con un desempeño cada vez mejor que el anterior, como lo relaciona en su estudio. Botero⁹

⁸ N. CUBAQUE, «Diseño de una propuesta para la implementación de la metodología Lean Construction en una empresa del sector construcción,» Universidad Nueva Granada, Bogotá, 2014.

⁹ OTERO, Luis, «Diez años de implementación Lean en Colombia, logros y dificultades,» Universidad

De otro punto de vista se han reconocidos los trabajos que se refieren a modelos de madurez, de los procesos que están muy relacionados con mejoras en los tipos de excavaciones, por tanto, según lo indica Ramírez ¹⁰, los modelos de madurez se constituyen en herramientas útiles para “identificar y gestionar programas de mejoramiento” que permiten cumplir con los objetivos empresariales trazados previamente.

A nivel literario se encuentran trabajos como los de Wendler¹¹, relacionado con modelos de madurez en obras civiles que incluyen excavaciones, donde se indica el “el desarrollo del método mapeo de bibliografía, que demuestra que el método de madurez es una herramienta que facilita la identificación y la implementación de métodos o sistemas de mejoramiento tendientes a incrementar la calidad de los procesos que se llevan en la empresa.

Otro trabajo a destacar es el adelantado por Becker¹², donde se relaciona los criterios con un enfoque científico, para la creación de sistemas de gerencia de obra que estén direccionados a la tecnología de la información. El trabajo es una guía que permite el desarrollo de “diseños metódicos y evaluaciones de madurez”

1.2.2 Pregunta de investigación

En el marco del direccionamiento gerencial ¿Cuáles son los factores determinantes, criterios o variables que afectan el método de excavación a cielo abierto y el método

EAFIT, Medellín, 2014.

¹⁰ . RAMÍREZ, «Planeación de la implantación de sistemas de información en las PYME mexicanas,» Primer congreso internacional, México, 2009

¹¹ R. WENDLER, «The maturity of maturity model research: A systematic mapping study., » Information and Software Technology, pp. 1317-1339, 2012.

¹² J. BECKER, « Developing Maturity Models for IT, » Business & Information Systems Engineering, pp. 213-222, 2009.

de perforación horizontal dirigida, de proyectos de instalación de redes subterráneas en la ciudad de Bogotá?

1.2.3 Variables del problema

En la tabla 1 se identifican las variables a contemplar dentro del presente proyecto

Tabla 1 Variables del problema

Variable independiente	Variables dependientes
Aplicabilidad de direccionamientos gerenciales en excavaciones a cielo abierto	Estabilidad de excavaciones en zonas urbanas de alto tránsito
Aplicabilidad de direccionamientos gerenciales en perforación horizontal dirigida	Tiempos de ejecución de excavaciones Distintos recursos de ejecución de excavación para instalación de En zonas urbanas

Fuente: Los autores

1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a la posibilidad de afectaciones por disposición de material, daños en edificaciones vecinas y deterioros en la infraestructura vial producida por el incremento en la demanda de nuevas redes subterráneas de servicio públicos, desde la gerencia de obra es necesario mitigar los problemas, tanto de tipo ambiental, como social que cada vez son menos aceptados por la comunidad.

Por este motivo es necesario iniciar con la optimación de los procesos logísticos, que según Ramos¹³, consisten en la búsqueda de alternativas para realizar todas las actividades de trabajo que generan valor de la mejor forma posible, dicho de otra forma, al optimizar los procesos logísticos se dentro de un sistema de excavación. Se está permitiendo la realización de cada actividad mediante la atención que permite solucionar profesionalmente sus problemas.

¹³ . RAMOS, L, «Definición de optimización de recursos,» Gestipolis, Madrid, 2015

En este contexto, los direccionamientos de excavaciones a cielo abierto y las perforaciones horizontales dirigidas deben buscar sistemas constructivos donde los impactos sean mínimos, para mitigar su impacto mediante un comparativo técnico económico y de riesgos, en una línea de tiempo.

Además, se hace necesario sobresalir en el medio complementando la excelencia empresarial y la constante innovación, renunciando a modelos tradicionales, indagando sobre la gestión integral de los diferentes procesos constructivos optimizando su cadena de suministros, vista como la gestión integral de acciones vinculadas con la transformación de la materia prima para satisfacción del cliente final¹⁴

1.4 HIPÓTESIS

La identificación de diferencias en direccionamientos gerenciales que afectan el método convencional de excavación a cielo abierto y el método sin zanja de perforación horizontal dirigida, permite el mejoramiento continuo de cada uno de estos sistemas.

¹⁴ PIRES S. y CARRETERO, L. Gestión de la Cadena de Suministros., Madrid; : McGraw Hill, 2007

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de la gerencia de obra en un sistema sin zanja de perforación horizontal dirigida y una excavación a cielo abierto, analizando sus, tiempo, costos y riesgos, dentro de obras de instalación de redes subterráneas ubicadas en la ciudad de Bogotá.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características de ejecución de cada uno de los sistemas para la instalación de redes subterráneas y sus principales diferencias.
- Reconocer la forma en la que las técnicas de gerencia de obra que pueden minimizar las problemáticas propias, tanto de los sistemas de perforación horizontal dirigida, como de las excavaciones a cielo abierto.
- Establecer cómo las técnicas de gerencia de obra para la selección del tipo de excavación a emplear, en cuanto a la gestión del tiempo, de costos y de riesgos, afectan la eficiencia en los procesos de excavación en las instalaciones de redes subterráneas.

3. MARCOS DE REFERENCIA

A continuación, se encontrará la información pertinente y relacionada con la temática tratada referente al análisis comparativo de la gerencia de obras de un sistema de perforación horizontal dirigida vs. una excavación a cielo abierto, en la construcción de redes subterráneas; que se constituye en el pilar que permitirá comprender a cabalidad el tema en mención.

3.1 MARCO CONCEPTUAL

La excavación es un término que permite comprender el proceso de cortar, remover el suelo sin tener presente su naturaleza o sus aspectos físicos o mecánicos “dentro o fuera de los límites de construcción”; dentro de las principales operaciones que se realizan en este proceso se encuentran:

- “Nivelación
- Evacuación del material removido
- Disposición final del material”.¹⁵

Por su parte, se habla de perforación para definir la acción y efecto de atravesar o “perforar” algo mediante un agujero, en el caso de la construcción se habla de utilizar máquinas perforadoras para atravesar en un área suficiente para instalar un ducto, una sección de superficie subterránea. Más adelante, en el marco teórico, se hará una explicación más profunda sobre este concepto.

En lo referente a Ademe o sistema de ademado son “herramientas auxiliares de perforación”, p. 2, que pueden ser metálicos que se colocan en el suelo a través de

¹⁵ MOSCOZO, Luis. Metodología para la ejecución y control de excavaciones en sótanos para edificios. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2011

martinetes o vibro- hincadores¹⁶. Utilizados, tanto en perforaciones como en excavaciones abiertas.

En cuanto a los taludes, Giraldo¹⁷ indica que este concepto corresponde a una “superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente las masas de tierras. En ingeniería civil se puede definir como una obra de suelos que se construye o se moldea a ambos lados de la vía, una franja de terreno a ambos lados de la misma”, p. 11.

Igualmente, el autor señala que un muro de contención es un elemento que se utiliza en la construcción con la finalidad de contener o confinar un terreno natural o artificial.

En lo relacionado con los pilotes, Giraldo¹⁸ indica que es un elemento que del mismo modo se utiliza en la construcción específicamente en la cimentación de obras, con la finalidad de trasladar cargas a un “estrato resistente del suelo cuando este se encuentra a una profundidad tal que hace inviable técnica o económicamente una cimentación a través de zapatas o losas”, p. 11.

De otra parte, Osalan¹⁹ indica que las entibaciones son “agrupaciones de materiales de estructuras auxiliares y desmontables que, previo estudio, se colocan como sostén y soporte de las paredes en las excavaciones de pozos, minas, galerías subterráneas, zanjas, etc., siendo necesarias para evitar su desplome, es decir,

¹⁶ GARCÍA, Jesús. Mecánica de suelos aplicada. Instituto tecnológico de Tijuana. México. 2015

¹⁷ GIRALDO, Hilder y OLAYA, Nixon. Estudio conceptual ferroviario proyectado en la intersección de la carrera 30 con línea del ferrocarril en la ciudad de Bogotá. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. 2013

¹⁸ Ibíd., p 10

¹⁹ OSALAN. Seguridad en los trabajos en zanjas. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales.2012

asegurar su estabilidad”, p. 8.

En lo referente a la planificación de proyectos, esta puede ser entendida como un proceso de aclaración y de entendimiento entre personas que se proponen modificar conjuntamente una situación. Es la aplicación de un proceso de toma de decisiones racional y sistemática, a la asignación de recursos futuros que contribuye a lograr fines establecidos²⁰

De acuerdo con el autor la planificación se basa en unas preguntas claves:

- “¿Dónde estamos? (punto de partida).
- ¿Hasta dónde queremos llegar? (punto final).
- ¿Qué debemos hacer para llegar allí? (la intervención).
- ¿Cómo llegaremos? (plan de trabajo).
- ¿Cómo sabremos cuando hemos llegado? (indicadores)”.

En lo referente a la dirección de proyectos, Pérez²¹, indica que es “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. Se logra mediante la aplicación e integración adecuada de los procesos de la dirección de proyectos, agrupados de manera lógica”.

De acuerdo con autor la dirección de proyectos incluye:

- “Identificar requisitos.
- Abordar las diversas necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados en un proyecto.

²⁰ AGENCIA PRESIDENCIAL DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE COLOMBIA. Manual de formulación de proyectos de cooperación internacional. 2012, p. 9

²¹ PÉREZ, M. Comparación De Metodologías De Gerencia De Proyectos Prince2 Y Pmbok5. Universidad Escuela de Administración de Negocios. Bogotá. 2014, p.32

- Establecer, mantener y realizar comunicaciones activas, eficaces y de naturaleza colaborativa entre los interesados.
- Gestionar a los interesados para cumplir los requisitos del proyecto y generar los entregables del mismo.
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que incluyen, entre otras: El alcance, la calidad, el cronograma, el presupuesto, los recursos y los riesgos”.

3.2 MARCO TEÓRICO

En esta parte del documento se presenta el estudio de los métodos de instalación subterránea de tuberías ya mencionados para llegar a un conocimiento más elaborado del tema y de esta forma poder tener elementos de juicio que permitan identificar, reconocer y establecer las técnicas de gerencia de obra para la selección del método de instalación a emplear, en cuanto a la gestión del tiempo, de costos y de riesgos, afectan la eficiencia en los procesos de excavación en las instalaciones de redes subterráneas.

3.2.1 Generalidades de los métodos de excavación en las instalaciones de redes subterráneas.

En el momento de tomar la decisión para elegir un método de excavación es pertinente tener presente varios aspectos; sin embargo, dos se incluyen dentro de los principales, los cuales son las características del terreno a excavar y la longitud de la excavación; también es necesario evaluar las ventajas y desventajas que se encuentran en cada método de excavación²².

²² SANCHEZ, Javier. Propuesto de términos de referencia para autorización ambiental de zonas de disposición de material de excavación ZODMES. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Tunja. 2018

Pero en términos generales se puede indicar que dentro de los aspectos que se deben contemplar son los siguientes:

- Aspectos Técnicos. Como la maquinaria a utilizar debe ser cuidadosamente seleccionada, teniendo presente los aspectos característicos del terreno, es decir las condiciones geotécnicas y geológicas particulares del sitio elegido. En lo posible se debe utilizar tecnología de punta. Contar con personal altamente calificado.
- Aspectos económicos
- Tiempo programado para la ejecución de la obra.

De acuerdo con Pinzón²³ los métodos de excavación más utilizados son la excavación a cielo abierto y el método de perforación horizontal dirigida que hace parte de los procedimientos de construcción sin zanja, realizadas en las obras civiles en terreno. Sin embargo, en secciones posteriores se hará alusión a otros métodos que también se realizan.

3.2.2 Excavación a Cielo Abierto

Las características presentes en el suelo es un factor determinante en el momento de realizar excavaciones, puesto que no se tiene la absoluta certeza de las propiedades que se puedan encontrar en ellos, generalmente estas pueden variar entre un lugar y otro; esta variabilidad es analizada en geotecnia a través del empleo de métodos probabilísticos y estadísticos en aspectos como son la cohesión, el peso específico del suelo y el ángulo de fricción, elementos que se deben tener presente en la ejecución de excavaciones.²⁴

²³ PINZÓN, Andrés. Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado en Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. 2011

²⁴ KERGUELEN, Alejandro. Estabilidad de taludes de excavaciones a cielo abierto basada en análisis de confiabilidad. Universidad de los Andes. 2006

En la práctica se puede identificar, un suelo cohesivo como aquel que se deja amasar entre los dedos y perdura su forma cuando se le agrega un poco de agua o se deshace al ejercer sobre él, cierta fuerza; generalmente corresponde a los suelos arcillosos. Cuando se encuentra un suelo no cohesivo se está haciendo alusión a los suelos compuestos por arena, limos y grava; se caracterizan porque en presencia de agua adquieren cierto grado de cohesión, pero al diluirse el agua y secarse pierden esta propiedad y se desmoronan.

Generalmente los terrenos que se caracterizan por estar compuestos por materiales de excavaciones anteriores como son los rellenos tienen una gran posibilidad de desplomarse cuando se realizan en ellos zanjas; otro elemento que puede influir son la presencia de aguas lluvias que incide en el nivel freático del suelo, también las presiones laterales, la densidad y las vibraciones en el suelo entre otros.²⁵

Es por estas razones que los estudios geológicos previos, el autor señala que son imprescindibles puesto que favorecen la adopción de diseños adecuados, entre estos estudios se deben incluir la Naturaleza de los materiales, las zonas de turbas o de arcillas, las zonas de nivel freático muy superficial, las zonas de rocas alteradas, las zonas inundables, la naturaleza de los materiales a excavar y las condiciones hidrológicas y de drenaje.

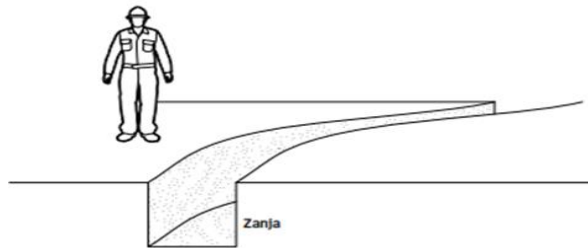
Las excavaciones a cielo abierto pueden ser clasificadas en:

- Excavaciones en zanja, que corresponde a una excavación larga y estrecha de un terreno que puede ser realizada de forma manual o a través del empleo de maquinaria o mediante la combinación de ambas técnicas, se realiza con la finalidad de instalar tuberías, realizar drenajes o estudios del suelo; generalmente cuando existe disponibilidad de espacio “se procede a su Entibación”, p. 7, en otras palabras a realizar un proceso que evite su desplome

²⁵ OSALAN, Op.cit.,

y genere un sistema de contención²⁶. Obsérvese la figura 1.

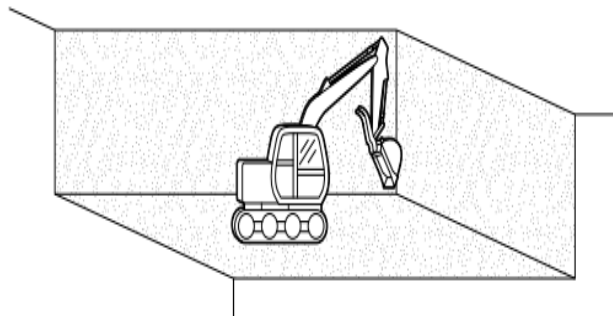
Figura 1. Zanja



Fuente: ACHS, s.f

- Excavación masiva. Caracterizada por la “remoción de grandes volúmenes de suelo natural”, para ello se emplea una maquinaria. Obsérvese la figura 2.

Figura 2. Excavación masiva

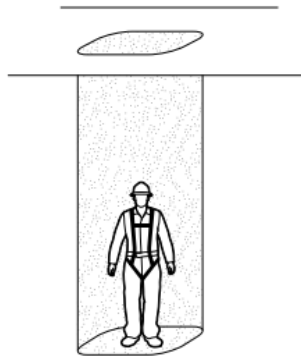


Fuente: ACHS, s.f

- Excavación de pozos. Se realizan de forma vertical de manera circular o de forma cuadrada, generalmente son profundas; por ejemplo, se usan para estructuras de inspección en redes de alcantarillado y en captaciones de agua. Obsérvese la figura 3.

²⁶ Ibid.,

Figura 3. Excavación masiva



Fuente: ACHS, s.f

- Excavación superficial. Se realiza en terrenos suaves, generalmente se utiliza herramientas como la pala, la pica, la barreta cincel entre otros; usualmente tiene unos 0.60 m de ancho y una profundidad de 1.50 metros.²⁷
- Excavación profunda, son aquellas mayores a 1.50 metros y en su elaboración se utilizan maquinaria neumáticas y mecánicas.²⁸

En síntesis, hay dos clases de excavaciones a cielo abierto, “con o sin sistema de retención”²⁹. Cuando se realiza una excavación con una profundidad pequeña, se encuentra que su desarrollo se puede ejecutar en un tiempo corto y por tanto los niveles de costos se reducen, debido al no empleo de “un sistema de retención”, Silva³⁰ p. 3. Sin embargo, se debe tener presente la estabilidad de los taludes, y

²⁷ SURA. Construcción segura. s.f

²⁸ Ibid.

²⁹ SILVA, Héctor. Flujo de agua transitorio en excavaciones en suelo. Instituto de Ingeniería, UNAM. México. 2010

³⁰ Ibid., SILVA

elementos de soporte en las paredes lo mismo que el terreno libre que se encuentra alrededor de la excavación.

De otra parte, existen excavaciones donde es necesario acodar, es decir se consideran excavaciones con sistemas de acodamiento, los que pueden ser de varias clases, según lo indica García³¹, entre los más comunes se encuentran:

- Muros tipo Berlín
- Muros Milán o muros colados in situ
- Pilotes secantes
- Muros prefabricados
- Ademes tipo rotatorios
- Tablestacas
- Ataguías
- Pantallas plásticas

La elección del medio y método para realizar una excavación a cielo abierto depende de la clase de suelo³² así:

- Suelos duros, caracterizados por “terrenos de tránsito rocas descompuestas, tierras y muy compactas”, se emplean maquinaria y martillos.
- Para suelos medios en los que se incluyen las arcillas, las gravillas; se emplea maquinaria y cazo.

Para suelos blandos, entre los que se incluyen la tierra vegetal, la arena y tierra suelta; se utiliza la pica y la pala.

³¹ GARCÍA, Op.cit.,

³² OSALAN, Op.cit. p.16,

3.2.3 Sistema de construcción sin zanja.

A continuación, se hará referencia a los métodos que se pueden emplear, cuando no se desea implementar una excavación a cielo abierto.

En primera instancia se puede utilizar el procedimiento de compactación del suelo, son procedimientos que permiten realizar una excavación sin hacer una zanja, se realizan cuando se desea instalar conductos in situ a través de un desplazamiento del suelo generado por medio de un dispositivo de empuje y con la correspondiente compactación.³³.

El grado de eficiencia depende de la clase de suelo donde se implementa, es decir aquellos suelos clasificados como arcillas no consolidadas o limos, suelos de granulometría mixta y los suelos granulados son ideales para instaurar estos procedimientos; en contraste con los suelos mal granulados o densos puesto que son difíciles de atravesar.

Los métodos de compactación del suelo se dividen en dos:

- La perforación empujada o Thurst Boring y martillo impactador o impact moling, esta clase de perforación se caracteriza por realizar un empuje y a la vez una compactación del suelo a través de una cabeza que se une a un conjunto de varillas de empuje, que transmiten una fuerza originada en la fuente de alimentación y que se conoce como fuerza de empuje, a continuación, en la figura 4, se puede apreciar las cabezas de perforación.

³³ CARRERA, Hugo. Perforación horizontal dirigida, en pasos de líneas de conducción de agua potable bajo vías de primer orden. Universidad central del Ecuador, carrera de ingeniería civil. Quito, 2017

Figura 4 Cabezas de perforación



Fuente: MINGUEZ, Felicidad. 2015

La perforación percusiva por impacto, que se caracteriza por emplear un dispositivo de martilleo auto propulsado situado en el fondo del pozo. Con este dispositivo se realiza una perforación puesto que la herramienta utilizada está compuesta por una “carcasa de forma cilíndrica elaborada en acero, que consta de una cabeza cónica que se desplaza en su parte delantera y contiene un pistón de percusión en su parte interna como se observa en la figura 5.

Figura 5 Martillo impactador.



Fuente: MINGUEZ, Felicidad. 2015

Existe también la perforación por golpeo o apisonamiento o pipe ramming³⁴, se emplea cuando se requiere hincar tuberías en acero de manera horizontal, utilizando para ello un martillo hidráulico, que le imprime golpes al tubo en acero, que se introduce en el suelo sin ocasionar mayores alteraciones.

Los martillos poseen una estructura reforzada que garantiza su durabilidad, dentro de la cual se encuentra una masa que se mueve gracias a la inyección de aire dentro de esta; esta masa representa aproximadamente un 60% de la masa total del equipo. Estos martillos se colocan sobre el suelo y en contacto directo con la tubería a hincar, la cantidad de golpes dados por el martillo varía según el diámetro del topo: el más grande (600mm) aplica 177 golpes por minuto, mientras que el más pequeño (100mm) alcanza un promedio de 370 golpes por minuto.

Obsérvese, la figura 6, donde se puede apreciar un martillo hidráulico.

Figura 6. Equipo Ramming y Martillo hidráulico.



Fuente: LEGUIZAMÓN, Yorly, 2015

³⁴ LEGUIZAMÓN, Yorly. Metodología para realizar perforación dirigida en la modalidad de pipe Ramming y túnel Linner. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2015, p. 20.

Un tercer procedimiento de construcción sin zanja es la perforación horizontal con tornillo sin-fin; conocida como perforación horizontal con tornillo helicoidal, se emplea en la instalación de tuberías metálicas, se inicia una perforación con una broca con borde en forma cincel, se puede ejecutar en diversos clases de suelos incluyendo las rocas, puesto que la fuerza se origina en los cilindros de empuje hidráulico que acciona las cabezas de corte giratorio que se une con una cadena sinfín; los operarios evacuan el material llevado al inicio de la perforación. A continuación, en la figura 7, se puede apreciar imágenes con cables de soporte y viga de agarre en el sistema Auger Boring o perforación horizontal con tornillo sinfín ³⁵.

Figura 7. Cables y viga de agarre en un sistema Auger Boring.



Fuente: RODRÍGUEZ, Sandra. 2016

³⁵ RODRIGUEZ, Sandra. Matriz cuantitativa de selección de tecnología Trenchless para procesos de construcción de alcantarillado en Colombia. Universidad católica de Colombia. Bogotá, 2016

Un cuarto procedimiento de construcción sin zanja es la excavación a través del empleo de la micro tuneladora, que se observa en la figura 8, donde se utiliza un conjunto de tuberías dirigidos por medio de un sistema láser, dispositivo que es controlado remotamente, este dispositivo genera presión frecuentemente al frente de la excavación de manera que se produce un equilibrio entre las presiones que se resultantes del agua subterránea y del mismo suelo ³⁶.

Figura 8. Micro tuneladora.



Fuente: AKKERMAN, s.f

Un quinto procedimiento de construcción sin zanja es la perforación horizontal dirigida conocida como Horizontal Directional Drilling (HDD)

3.2.4 Perforación Horizontal Dirigida

En muchas ocasiones la instalación de servicios genera inconvenientes a los habitantes cuando se realizan con otros métodos como las excavaciones a cielo abierto; es por ello, que el método de perforación horizontal dirigida (PHD) o Horizontal Directional Drilling (HDD), puede ser aplicado en la instalación de redes de servicios públicos, donde se requiera colocar tubos, cables, gas natural

³⁶ AKKERMAN. Microtunneling systems. USA. s.f

conductos, fibra óptica, a una distancia mayor de un kilómetro, ellas pueden ser planeadas y diseñadas para bajo vías carreteables, de ferrocarril, calzadas y demás estructuras superficiales que no deban ser perjudicadas por la instalación de dichas redes³⁷.

De acuerdo con el autor, es una tecnología que se origina a partir de la “fusión de tecnologías empleadas en captación de agua y petróleo. Leonardo da Vinci inventó, en el siglo XV, la primera máquina de perforación horizontal que sirvió para introducir tuberías de madera”. Luego con el transcurso del tiempo se realizó la primera instalación con tubos en acero de 180 mm, en el año de 1971, tubería que atravesó el río Pájaro cerca de la localidad de Watsonville, en California; en la actualidad las perforadoras empleadas cuentan con elementos de alta precisión que favorecen colocar tubos de gravedad.

Como medida previa antes de comenzar con el proceso de instalación tendiente a realizar la perforación, se debe realizar una planeación luego una ejecución y control del proceso; en la primera etapa se realiza una planeación en base a un estudio previo donde se elige la maquinaria adecuada de acuerdo a la topografía del terreno donde se va a ejecutar la obra, se realiza igualmente un estudio geotécnico del terreno, a través de un georradar se puede detectar la presencia de otros servicios existente en el subsuelo a fin de no dañarlos, luego se procede a adaptar la zona de trabajo “para el emplazamiento de los equipos tanto en el inicio de la perforación como en la salida”, igualmente se prepara la plataforma de perforación en el sitio elegido, luego se debe colocar los generadores, las oficinas y demás equipos necesarios para realizar el procedimiento.

³⁷ YEPES, Víctor. Aspectos generales de la perforación horizontal dirigida. Curso postgrado, especialista en tecnología sin zanja. 2015, p. 2

Las Fases en la perforación horizontal dirigida son: ³⁸.

- Perforación con un taladro piloto
- Ampliación de la perforación de manera concéntrica en sentido contrario a la perforación piloto
- La maquinaria tira y la tubería se engancha al escariador para alojarla en su posición definitiva.
- Se hace perforación piloto
- Se realiza el emplazamiento de la maquinaria
- Se perfora con un cabezal direccionable y un varillaje especial que admite cambios de orientación, su diámetro depende de la maquinaria utilizada y está relacionada con el tamaño de las barras de perforación y de las brocas de perforación.
- Luego de la perforación se hace la operación de enganche en sentido inverso jalando de un escariador
- Se alinea la tubería y se fija detrás del ensanchador y se introduce de una sola vez en el interior de la perforación tirando de ella.

A continuación, en la figura 9, se puede apreciar, la cabeza de perforación y escariador.

³⁸ Ibid, p. 4

Figura 9. Cabeza de perforación y escariador.



Fuente: YEPES, VICTOR. 2015

Las Ventajas de la perforación horizontal dirigida son.

De acuerdo con Pinzón³⁹ entre las principales ventajas que ofrece la perforación horizontal dirigida se encuentran:

- Es una tecnología que conserva las características de la superficie externa.
- Son más económicas con relación a otras metodologías.
- Emplean menos tiempo para su ejecución.
- Ofrece mejor calidad en los resultados comparación con otros métodos.
- Genera menores inconvenientes para el desarrollo de actividades externas por ejemplo circulación de tráfico y de peatones.
- Es un método de bajo impacto ambiental
- Se puede utilizar en varias clases de redes subterráneas

De acuerdo con Pinzón⁴⁰, entre las principales limitaciones que se encuentran al realizar una perforación horizontal dirigida están:

³⁹ PINZÓN, Jorge. Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Ingeniería civil. 2011

⁴⁰ Ibid.,. P. 37

- Es necesario establecer un punto de entrada para el ingreso de la tubería, que debe ser previamente analizado y correctamente planificado.
- Es posible que se presente derrumbes o colapsos en el interior del túnel en suelo granulares o rocosos.
- Se requiere instaurar una plataforma para el pozo de salida.
- Es un sistema que “no maneja pendientes constantes en tramos cortos.

3.2.5 La productividad en la gerencia de obra

La productividad, dentro de la gerencia de obra se caracteriza por crear más productos y servicios con la utilización de la menor cantidad de recursos posibles; en términos generales es un indicador del nivel de progreso técnico alcanzado; porque se emplean de forma eficiente insumos dentro de cada actividad. En su documento Rodríguez ⁴¹, indica que la productividad, fue definida por la Organización Internacional Del Trabajo (OIT) como aquella forma de utilización de los recursos disponibles para mejorar las actividades en obra.

De otra parte, de acuerdo con L. Botero,⁴² en las áreas de construcción los sistemas productivos se caracterizan porque hay una evolución que transforma los recursos disponibles, de acuerdo con los objetivos inicialmente establecidos; entre los principales insumos a utilizar en excavación se encuentran; la mano de obra, las herramientas y los equipos, entre otros; de ellos, el principal insumo excavaciones abiertas es la mano de obra o la maquinaria, mientras que en excavaciones dirigidas la tecnología, juega un papel preponderante.

La productividad dentro de la gerencia de obra, está conformada por una serie de ciclos, que tienen como principal objetivo encaminar los procesos hacia un

⁴¹ W. RODRÍGUEZ, «Mejoramiento de la productividad en la construcción de obras con Lean Construction.,» Cultura abierta, Lima, 2012.

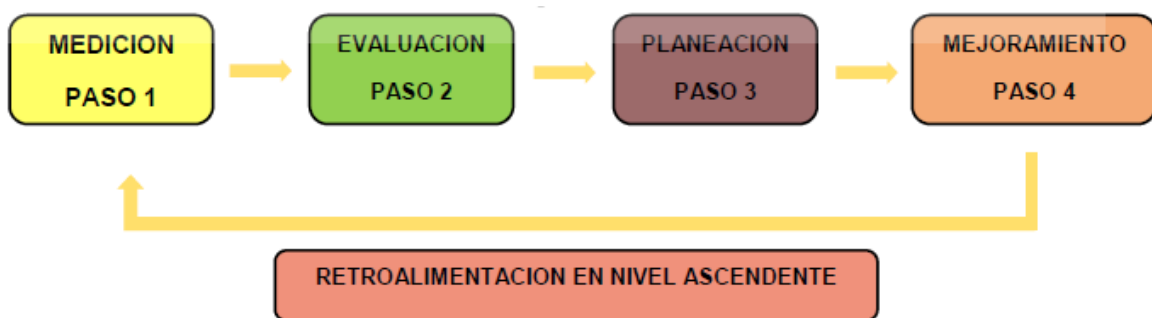
⁴² BOTERO, L, «Construcción sin perdidas, análisis de procesos y filosofía Lean Construction,» Lima, 2006

mejoramiento de la productividad. de acuerdo con Rodríguez las principales etapas que conforman el ciclo de la productividad son:

- Medición; es la información recopilada en el campo o la obra ejecutada, donde se recopilan datos del nivel productivo diario de la cuadrilla lo mismo que de las horas trabajadas.
- Evaluación; teniendo presente los datos de la medición, se realizan análisis de los niveles productivos reales diarios para posteriormente ser divididos cada uno de ellos entre la productividad base, lo que permite a la vez establecer los índices de productividad diario; posterior a ello se realiza gráficas.
- Planeación; etapa donde se visualizan las futuras metas productivas.
- Mejoramiento; en esta etapa se realiza la implantación de métodos tendientes a mejorar entre ellos se realiza una mejor distribución de los insumos, o se puede establecer las menores distancias para acortar el tiempo de transporte.

A continuación, en la figura 10, se muestra un esquema donde se puede observar gráficamente, lo anteriormente mencionado.

Figura 10. Etapas que conforman el ciclo de productividad.



Fuente: Rodríguez Castillejo, W, 2012

Uno de las principales estrategias o métodos tendientes a ser utilizadas como método para evaluar la productividad es el *Time-Lapse*, es empleado como herramienta que permite la captura de los datos productivos de las organizaciones pertenecientes al sector de la construcción.

De otra parte, de acuerdo con Benítez Lobato⁴³, la cadena de valor está constituida por actividades que se comportan secuencialmente, algunas de las cuales aportan valor a los procesos, desarrollándose con el fin de lograr la terminación de un servicio a través de la elaboración de procesos de gestión direccionados a resolver los problemas que pueden estar presentes desde la planeación de la excavación, del mismo modo se enfoca a realizar actividades de gestión de información incluyendo la solicitud de permisos operativos e identificación de desperdicios.

Al analizar esta cadena definiendo los desperdicios presentes se llega a la identificación de futuras pérdidas, que permiten una definición de futuras cadenas óptimas que se deben tomar como objetivo del sistema.

3.2.6 Técnicas de gerencia de obra que pueden minimizar los problemas propios de ECA y PHD.

3.2.6.1 Generalidades

De acuerdo con Ocampo⁴⁴ las empresa deben abordar sus problemas de dirección desde una perspectiva filosófica entendida como aquella que se ocupa de aplicar correctas prácticas en el desarrollo de “macroprocesos, procesos, procedimientos, tareas” que permiten y favorecer la realización de actividades que producen como resultado final la satisfacción absoluta del cliente, en este caso el cumplimiento de tiempos, costos y condiciones de trabajo seguras, puesto que en definitiva, es el cliente quien se constituye en la razón de ser una empresa.

De otra parte, el autor manifiesta la existencia de entes internacionales que se encargan de vigilar a las empresas en todo el mundo a fin de que empleen y difundan técnicas de gerencia de obra “en toda la red de valor que tenga un mismo

⁴³ M. BENÍTEZ Lobato, p. 25, Análisis y mejora de los procedimientos de una empresa de ingeniería eléctrica, Sevilla: Ingenieros de la Organización Industrial de Sevilla,

⁴⁴ OCAMPO, Pablo. Gerencia logística y global. En: Revista Escuela de Administración de Negocios. 2009, no,66, p.113-136

enfoque estratégico”, p. 113; uno de los mencionados entes internacionales corresponde al Council Supply Chain Management Professionals (CSCMP), este organismo se encarga de describir los “proceso de planeación, implementación, control eficiente y efectivo del flujo de materiales e información, recurso humano, almacenaje y servicios” p. 114 que son indispensables para alcanzar un excelente desempeño dentro de la cadena logística que en este caso inicia en con la necesidad de redes y termina en con obras limpias, y efectuadas en el costo y el tiempo estimado.

Así mismo, se debe tener presente que la presencia actual en los mercados globales del fenómeno competitivo, impulsa a las diversas empresas a establecer en el desarrollo de los procesos productivos cada vez ciclos más cortos, pero con el desarrollo de técnicas que garanticen la generación de servicios de excelente calidad, puesto que finalmente este factor va incidir en el cumplimiento de altos estándares dentro de la competencia globalizada que se ha venido generando en los últimos tiempo en el mundo⁴⁵.

Por ello autores como Riveros,⁴⁶ indican que es la expectativa del cliente lo que en definitiva ha generado un nuevo direccionamiento productivo en las empresas, las cuales deciden invertir cada vez más en técnicas de gerencia eficientes.

Inicialmente, las excavaciones pueden ser efectuadas por una o varias técnicas, dentro de las que están la ECA y la PHD, los criterios de selección se hacen de acuerdo a estudio de costos, tiempos y niveles de seguridad, donde al utilizar sistema, reduce los eslabones de la cadena conformada por proveedores, tiempos

⁴⁵ CARO, M. Gestión de obras construcción “agile”. Recuperado el abril de 2019, de METODOLOGÍA AGILE EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN, 11 de abril de 2019, Recuperado de <http://www.gestionaobras.com/construccion-agile>

⁴⁶ RIVEROS, Diana y BALLESTEROS, Pedro. Importancia de la administración logística. En: Scientia et technica. Universidad tecnológica de Pereira. Junio, no. 38. 2008. p. 2017- 222

adecuados, disponibilidad de recursos y panoramas de riesgos que aseguren el trabajo en condiciones seguras.

Por tal motivo, para los sectores de la construcción, incluyendo la instalaciones de ductos en terreno, es fundamental establecer la estandarización de procesos puesto que esto incide directamente en el incremento de la productividad; este sistema se inicia desde el mismo momento en que se firma una acta de inicio para empezar con una planeación, gestión y control que permita lograr “la implementación de métodos de trabajo sistematizados que puedan favorecer el desarrollo empresarial”⁴⁷.

El autor indica, que para lograr un eficiente progreso de los procesos productivos se debe establecer un orden metodológico y sistemático de todas las etapas realizadas para poder brindar al usuario un producto terminado pero con todos los estándares de calidad que este requiere; esta idea, es compartida por Harrington⁴⁸ quien señala que las metodologías y herramientas establecidas para retirar actividades que no generan valor agregado a un servicio se centran principalmente, en reducir los tiempos de ciclo, aumentar la eficiencia en los recursos y trabajar en condiciones seguras.

Todos los procesos, deben estar debidamente articulados a un ciclo integral de mejoramiento empresarial, que se sustenta en una serie de actividades que comprende un conjunto de acciones que generan resultados. De acuerdo con esta idea, Falconi,⁴⁹ señala que hay dos clases de procesos que se establecen en las empresas, a saber:

- Procesos intermitentes. Establecidos cuando el nivel de producción es bajo, no utilizan equipos especializados, sino de uso habitual. Por lo general en estos

⁴⁷ PEREZ, D. Estandarización del proceso productivo en la empresa Poly Print de Venezuela C.A. Cabudare, Universidad Yacambú. 2012

⁴⁸ HARRINGTON, J. Management Siglo XXI. Administración del Mejoramiento Continuo: La Nueva Generación. Colombia, Bogotá. 2017

⁴⁹ FALCONI, V. Control de la calidad total (al estilo japonés). Brasil. Bloch Editores.2013

procesos, hay cambios constantes en la planeación de la producción, además existe una diversidad de productos que se pueden fabricar.

- Los procesos continuos, tienen la particularidad de presentar altos niveles de producción; además, por el empleo de maquinaria especializada que es requerida para dar cumplimiento con las metas establecidas, en el departamento de producción de la empresa.

De otra parte, se debe tener presente que las empresas dedicadas a instalación de redes subterráneas pueden “controlar” algunos factores externos que hay presentes en el mercado, que son los que determinan en última instancia el real alcance de los resultados; puesto que ellos, influyen directamente en la gestión estructural de la empresa, y por tanto inciden en la productividad de la misma; así mismo dentro de todos los elementos internos que se encuentran en una empresa, es el recurso humano uno de los más destacados puesto que este desempeña un papel fundamental para el desarrollo de las operaciones y actividades realizadas por la empresa⁵⁰.

Además, del recurso humano, los sistemas de gestión de calidad instaurados por las empresas hacen parte desarrollo no solo eficaz sino eficiente de las organizaciones, puesto que influyen en “costos y los niveles de productividad en, causando impactos positivos en cada uno de ellos”⁵¹; de otro lado, facilitan el trabajo desempeñado por los administradores y los gerentes, direccionando las empresas al cumplimiento de los objetivos trazados y a la obtención de resultados satisfactorios.

debido a que el desarrollo mundial, genera innovaciones avanzadas en el sector de la tecnología y las comunicaciones y donde el proceso de globalización obliga a las empresas a acogerse a nuevos y modernos métodos que facilitan el desarrollo de procesos productivos dentro de sus proyectos; se hace necesario entonces, el empleo de tecnología y herramientas que faciliten no solo la gestión de proyectos

⁵⁰ DUQUE CALLEJAS, Juan Esteban. Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia. Universidad EAFIT, Informe de tesis de posgrado en gestión de obra

⁵¹ FALCONI Ibid.,

sino su perfeccionamiento a fin obtener resultados que favorezcan el poder mantener y consolidar las empresas especialmente del ramo de la construcción en el escenario comercial; es por esta razón que la implementación de las metodologías ágiles se constituyen en una alternativa que favorece la realización de los anteriores planteamientos, a la vez que facilita la disminución de los costos el cumplimiento de tiempos y el manejo de riesgos.

Los métodos ágiles, son proceso que facilitan la comunicación entre los equipos y departamento de la empresa, favorecen la colaboración con los clientes, permite un mejor desarrollo de la resolución de problemas, y reducen la jerarquías preestablecidas, en general las metodologías ágiles asumen los mismos retos sin interesar el sector al que se desee implementar, puesto que ella debe facilitar las herramientas para alcanzar las metas establecidas en base a una planificación, una organización y una producción; a fin establecer los mínimos costos e implementar altos niveles de calidad⁵².

Para el desarrollo de la temática planteada en esta investigación se abordarán algunas características de métodos ágiles, que se destacan en proyectos constructivos, entre los que se pueden mencionar, la guía del PMBOK, El método Time –Lapse y la metodología Scrum.

Es por esto ahora se expondrán dentro de las técnicas de gerencia de obra que pueden minimizar los problemas propios de ECA y PHD:

3.2.6.2 Guía del PMBOK

Comenzando el siglo XX, las técnicas de gestión empresarial fueron enriquecidas aplicando estándares de dirección de proyectos, desarrollados por diversos organismos, dentro de los cuales PMBOK, participa dentro de la unificación de

⁵² PALALKAR, Milind y GOPINATH, Saji. Using agile in construction projects: It's more than a methodology. India. s.f

principios, reconocidos mundialmente que se publican en el año 2012, como la norma ISO 21500 Guidance on Project Management, que fue acreditada por la International Organization for Standardization⁵³.

Es en este contexto en el que el Project Management institute (PMI) publica las Guías de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, conocidas como Guías del PMBOK, cuya cuarta edición se publica en el año 2008, la quinta edición se publica en el año 2013, y finalmente la sexta edición se publica en el año 2017. En el siguiente cuadro se muestran los capítulos principales de estas 3 últimas ediciones.

Tabla 2. Temáticas tratadas en las 3 últimas ediciones de la guía PMBOK

PMBOK 4ta. Edición 2008⁵⁴	PMBOK 5ta Edición 2013⁵⁵	PMBOK 6ta. Edición 2017⁵⁶
Sección I - El Marco de referencia para la Dirección de Proyectos		Parte 1. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)
Capítulo 1- Introducción	1. Introducción	1. Introducción
Capítulo 2 - Ciclo de Vida del Proyecto y Organización	2. Influencia de la organización y ciclo de vida del proyecto	2. El entorno en el que operan los proyectos
Sección II - La Norma para la Dirección de Proyectos de un Proyecto	3. Procesos de la dirección de proyectos	3. El rol del director del proyecto
Capítulo 3 - Procesos de la Dirección de Proyectos para un Proyecto	4. Gestión de la integración del proyecto	4. Gestión de la integración del proyecto
Sección III - Las Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos	5. Gestión del alcance del proyecto	5. Gestión del alcance del proyecto
Capítulo 4 - Gestión de la Integración del Proyecto	6. Gestión del tiempo del proyecto	6. Gestión del cronograma del proyecto
Capítulo 5 - Gestión del Alcance del Proyecto	7. Gestión de los costos del proyecto	7. Gestión de los costos del proyecto
Capítulo 6 - Gestión del Tiempo del Proyecto	8. Gestión de la calidad del proyecto	8. Gestión de la calidad del proyecto
Capítulo 7 - Gestión de los Costos del Proyecto	9. Gestión de los recursos humanos del proyecto	9. Gestión de los recursos del proyecto

⁵³ PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE A guide to the Project management body of knowledge. PMBOK guide. Sixth edition. 2017

⁵⁴ PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE A guide to the Project management body of knowledge. PMBOK guide. Fourth edition. 2008

⁵⁵ PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE A guide to the Project management body of knowledge. PMBOK guide. Fifth edition. 2013

⁵⁶ PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE., 2017 Op.cit

Capítulo 8 - Gestión de la Calidad del Proyecto	10. Gestión de las comunicaciones del proyecto	10. Gestión de las comunicaciones del proyecto
Capítulo 9 - Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto	11. Gestión de los riesgos del proyecto	11. Gestión de los riesgos del proyecto
Capítulo 10 - Gestión de las Comunicaciones del Proyecto	12. Gestión de las adquisiciones del proyecto	12. Gestión de las adquisiciones del proyecto
Capítulo 11 - Gestión de los Riesgos del Proyecto.	13. Gestión de los interesados del proyecto	13. Gestión de los interesados del proyecto
Capítulo 12 - Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		Parte 2. El estándar para la dirección de proyectos

Fuente: 3 últimas ediciones de la guía PMBOK

Como se puede observar en la tabla anterior, en la cuarta edición se incluía una sección inicial con un marco de referencia para la dirección de proyectos, que contenía la exposición de ciclo de Vida del Proyecto y de la Organización. Esta sección se elimina en las dos últimas ediciones, remplazándolo por capítulos más sencillos sobre la Influencia de la organización y ciclo de vida del proyecto en la quinta edición y por el entorno en el que operan los proyectos, en la sexta edición.

Con respecto a la sexta y última edición, su actualización más determinante consiste en que se agrupa todo el contenido de la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®), de la quinta edición en una “parte 1”, e incorpora una parte 2 para explicar los estándares de la dirección de proyectos, que se divide en 6 grupos de procesos como son: de inicio, de planificación, de ejecución, de monitoreo y control y de cierre.

En la siguiente figura se presentan las actividades que se pueden cumplir dentro de estos lineamientos generales. Y luego se presenta el esquema de la forma que el método de programación, las herramientas de planificación y el método de programación se combinan con la información del proyecto para generar el cronograma deseado para cada proyecto.

Figura 11 Descripción de la gestión de tiempo en un proyecto según guía PMBOK

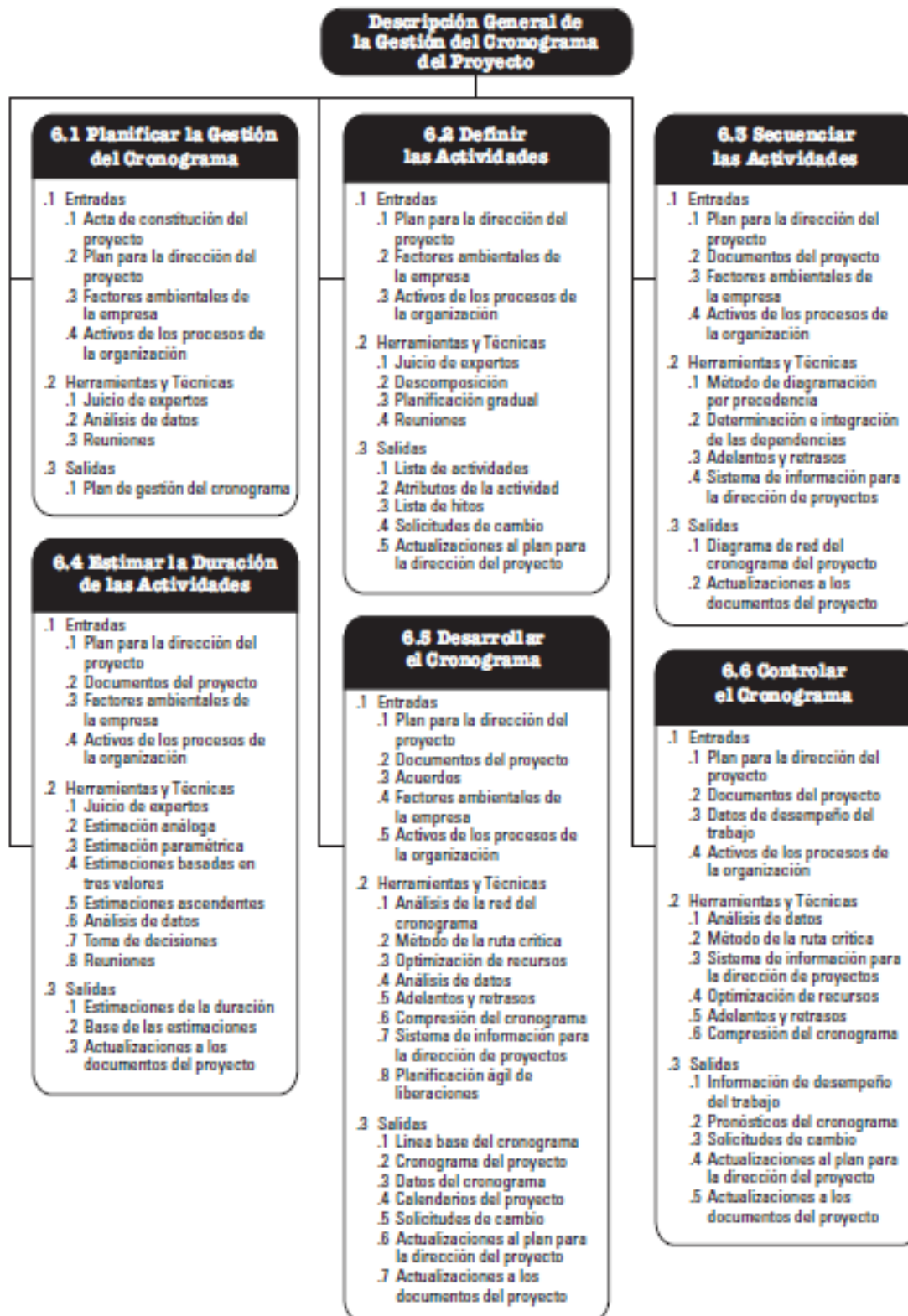
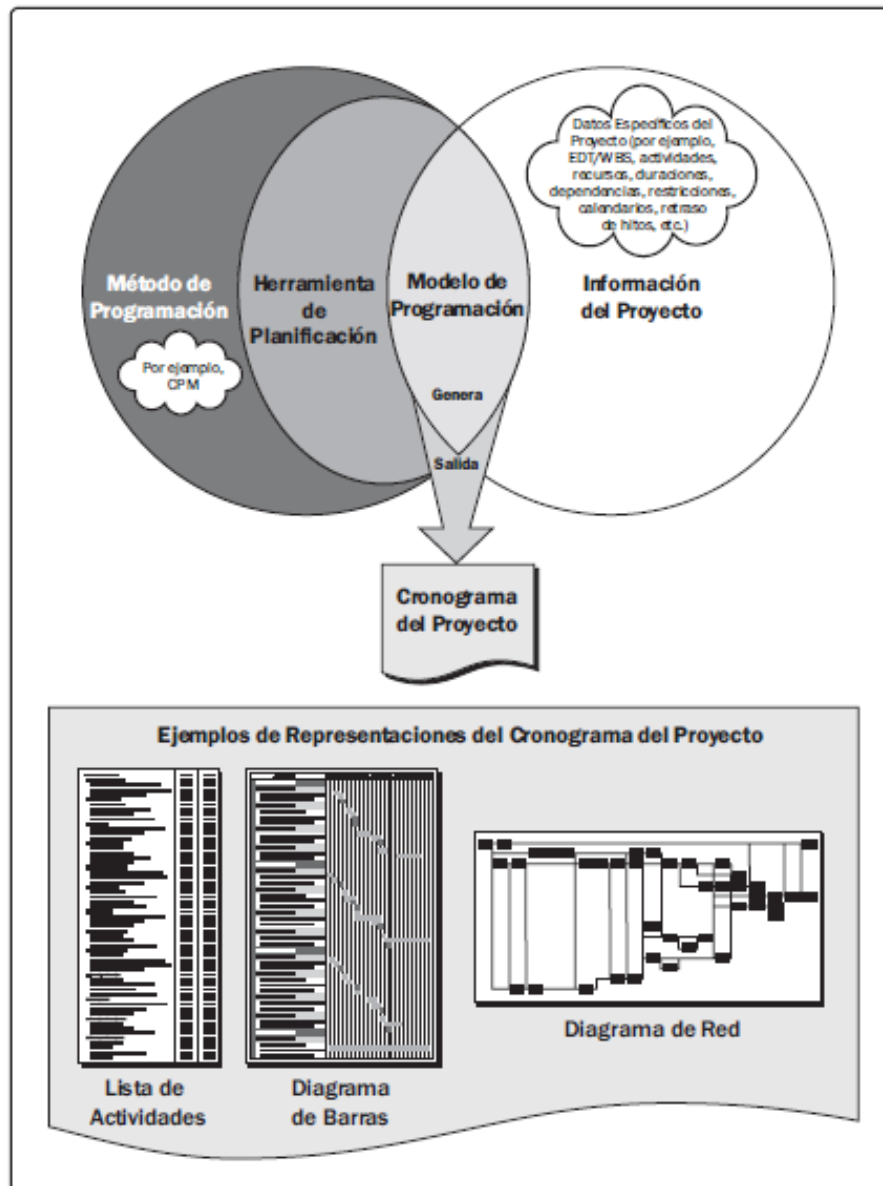


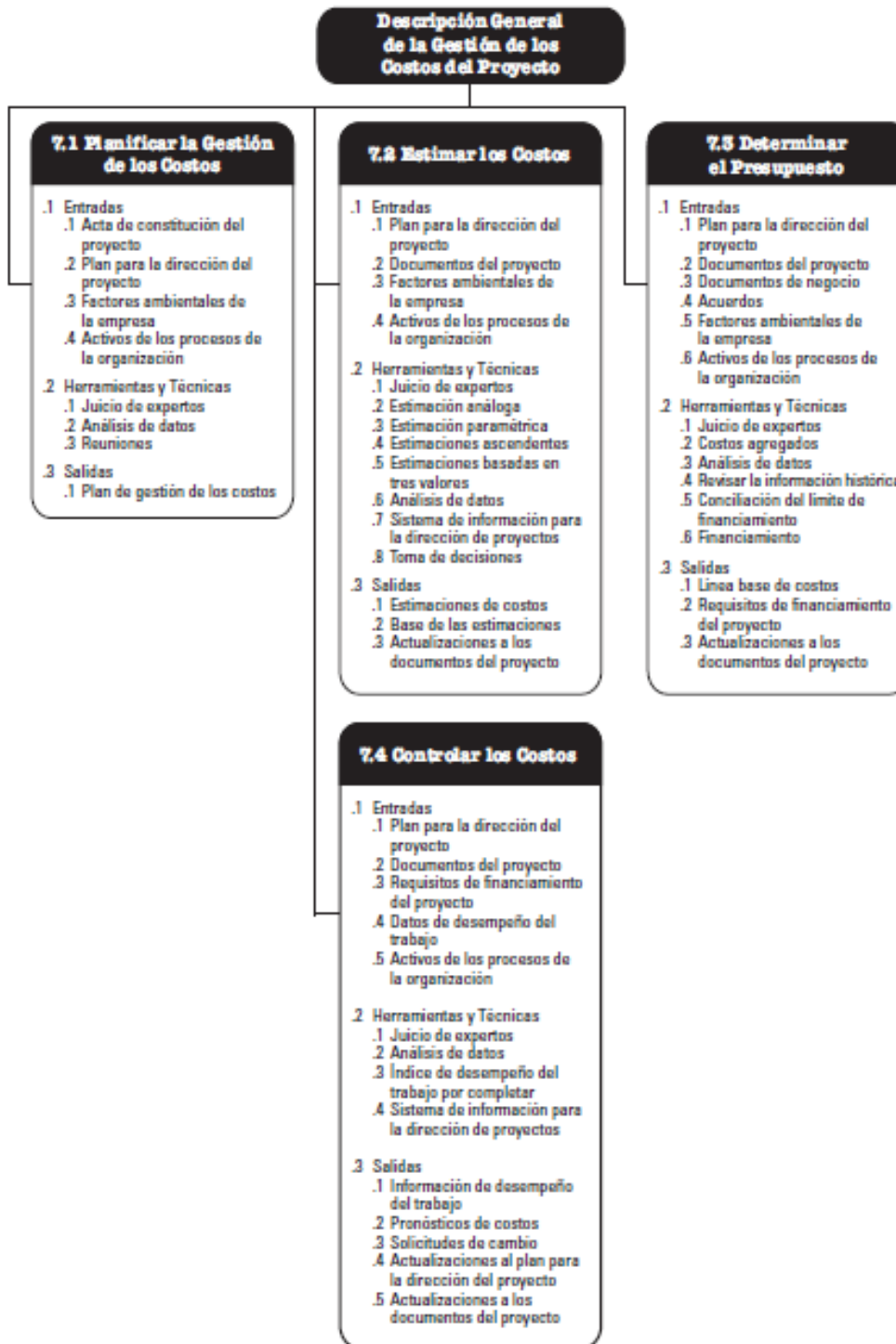
Figura 12 Pasos de programación según guía PMBOK



De esta forma el manual PMBOK diseña los pasos a seguir para lograr una gerencia exitosa en la selección de metodologías a seguir dentro de las obras que emprenda, siendo la gestión del tiempo un aspecto muy relevante.

Otro aspecto se trata en el capítulo 7 del manual y la gestión de costos, para lo cual se presenta en siguiente esquema general de actividades.

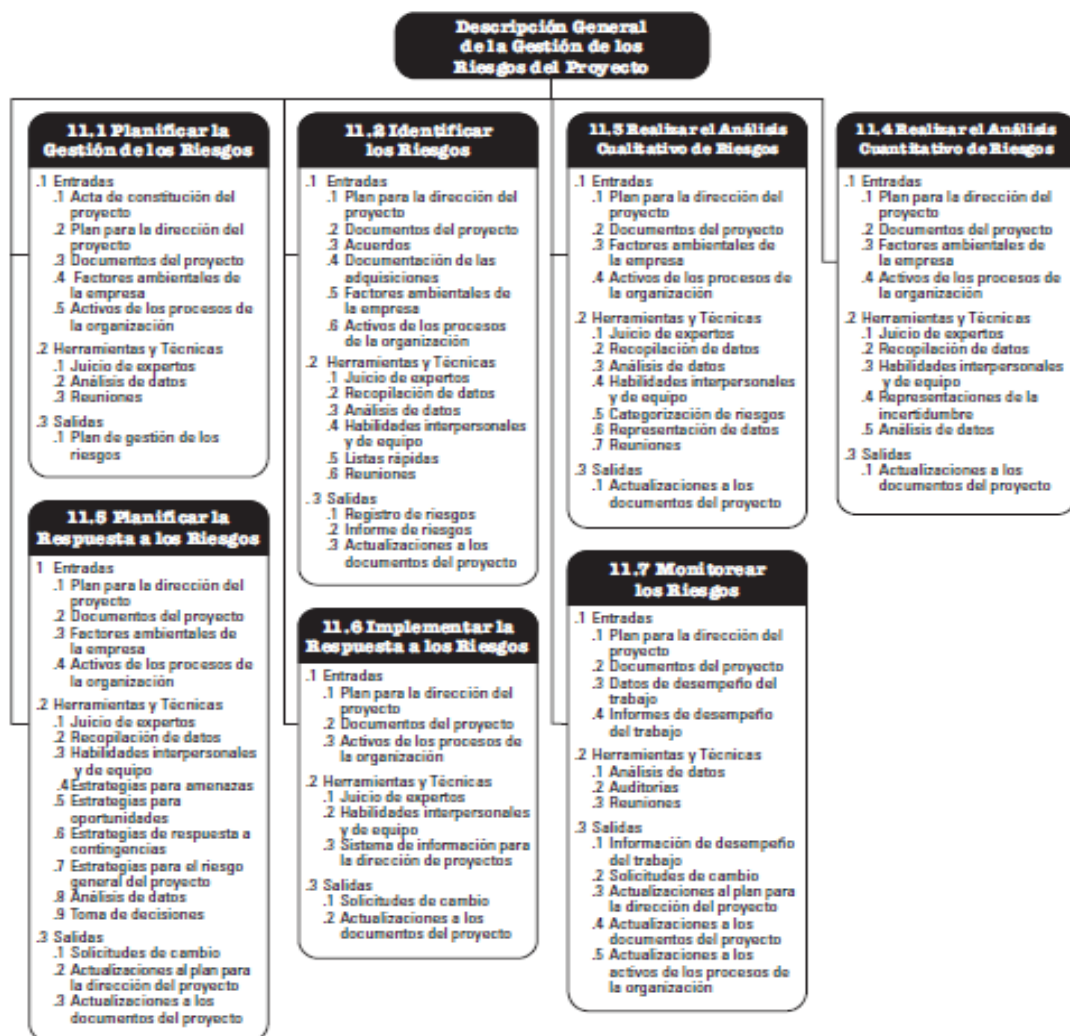
Figura 13 Descripción de la gestión de costos de un proyecto según guía PMBOK



En la interpretación de estas actividades para la selección del método de instalación de redes subterráneas se puede ver que, si se planifican y se estiman correctamente los costos, se tendrá un criterio de comparación para dicha selección, esta planificación se desarrollará en la obra, determinando un presupuesto, que debe ser controlado. Como aspecto general se deben gestionar correctamente las actividades que se contemplan en la figura anterior y se tendrá un ayuda muy valioso para seleccionar el método constructivo a seguir,

En la siguiente figura se presentan las actividades sugeridas por el manual para la gestión de riesgos

Figura 14 Actividades de la gestión de riesgos de un proyecto según guía PMBOK



De acuerdo con la guía PMBOK, la gestión de riesgos ayuda en la toma de decisiones generales mediante una secuencia de actividades dentro de las que se encuentran: Planificar la gestión de riesgos, Identificar, realizar análisis estadístico y cuantitativo de los riesgos, para de esa forma tener la bases de como planear, implantar y monitorear la respuesta a los riesgos

3.2.6.3 *Método Time- Lapse.*

Este método es utilizado como herramienta, para poder identificar datos productivos en las empresas, especialmente en las pertenecientes al sector de la construcción.

El método Justo a Tiempo o Time- Lapse, se entiende como aquel que se “reproduce en un tiempo menor lo sucedido en una obra en un periodo captado en tiempo real”, con este método se puede hallar detalles que pasan desapercibidos durante la realización de las operaciones productivas, dentro de una obra, así por ejemplo; se pueden identificar con precisión detalles del “desempeño de equipos, impacto del clima, causas de accidentes, conformación de cuadrillas de trabajo, evaluación de productividad, pérdidas de materiales, trabajo no contributivo, entre otros”⁵⁷.

Además, Perak⁵⁸ señala que con este método se puede realizar un monitoreo preciso sobre el progreso de la construcción en tiempo real, se puede mejorar la comunicación entre los miembros del equipo de proyecto; se verifican reclamos de pago y se aclaran inconvenientes o malos entendidos; a la vez que se protege la inversión y se reducen los riesgos por incumplimiento de las fechas de entrega.

Así mismo, para Bohn⁵⁹, la herramienta Time – lapse facilita la realización de un control en un intervalo corto de tiempo por medio de cámaras ya sea de video, o de

⁵⁷ BOTERO, L. Construcción sin pérdidas. Bogotá. Legis. 2006

⁵⁸ PERAK, Jalan. Company profile. Timelapse.Malaysia.2019

⁵⁹ BOHN, Jeffrey. Benefits and Barriers of Construction Project Monitoring using Hi-Resolution Automated Cameras. Georgia Institute of Technology. 2009

fotografía, proceso que facilita la identificación de recursos benéficos al proyecto y el “análisis, montaje y tiempo de movimiento del personal”.

3.2.6.4 Metodología Scrum

Cuando se aplica la metodología ágil Scrum, dentro de un sistema productivo, se está haciendo alusión a poder direccionar las estructuras de roles, actividades y documentos dentro de la organización, a fin de poder establecer un funcionamiento integral para que se establezcan las herramientas necesarias que mejoren los procesos productivos de la organización; en este sentido puede ser considerada como un sistema basado en la eficiencia de los software que son empleados para la ejecución de manera rápida de los procesos que se pueden organizar en ciclos llamados sprints, “y que son vistos como iteraciones sistemáticas que duran poco tiempo”⁶⁰.

En este sentido, la metodología Scrum, constituye un marco en la que las personas pueden abarcar “problemas complejos de adaptación” mientras suministran productos de forma creativa y a la vez productiva; y donde el trabajo en equipo es la clave que facilita y agiliza la solución de problemas complejos, y de esta forma incrementa la productividad y el desarrollo de la gestión laboral en pro de la obtención de productos de excelente calidad y dejando satisfecho a los clientes que son el pilar que sostiene la organización⁶¹.

Todo ello gracias a que Scrum se caracteriza por ser una metodología:

- Ligera
- Simple de entender.

⁶⁰ SCRUM. ORG. What Is Scrum?, A Better Way Of Building Products.201 Internet: www.scrum.org.

⁶¹ scrum.org. (2017). What Is Scrum?, A Better Way Of Building Products. Obtenido de www.scrum.org: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>

- Fácil de dominar.

Dentro de estos sistemas se observa que el manual PMBOK, contempla suficientemente, de forma particular y muy organizada los aspectos de gestión de tiempos, gestión de costos y gestión de riesgos, mediante los capítulos 6.7 y 11, respectivamente, como se resalta en la tabla xx, por esta razón la explicación de cómo las técnicas de gerencia de obra para seleccionar un sistema de ECA o de PHD se basaran en los criterios expuestos dentro del manual PMBOK.⁶²

3.2.6.5 Técnicas de gerencia de obra basadas en el manual PMBOK y su incidencia en la selección del método de instalación de redes subterráneas.

3.3 MARCO JURÍDICO

Teniendo en cuenta las disposiciones legales que menciona la Constitución política de Colombia, en el artículo 366 resalta que la función del estado, “es velar por el bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida de la población y será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades básicas insatisfechas en saneamiento básico y agua potable”. Cabe mencionar que en la Ley 99 de 1993, “se crea el Ministerio Del Medio Ambiente y se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y se organiza como el nuevo Sistema Nacional Ambiental (SINA)”⁶³

También en la ley 41 de 1993⁶⁴ “por la cual se organiza el subsector de adecuación de tierra y se establecen sus funciones”; esta ley tiene como finalidad “regular la

⁶² PROYECT MANAGEMENT INSTITUTE, A guide to the Project managemente boby of knowledge. PMBOK guide. Sixth edition. 2017

⁶³ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99 de 1993.

⁶⁴ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 41 de 1993.

construcción de obras y⁶⁵ adecuación de tierras con el fin de mejorar y hacer más productivas las actividades agropecuarias, velando por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas”.

Del mismo modo en la ley 1152 de 2007, en su artículo 5 referente a la adecuación de tierras, en su numeral 2 indica “el establecimiento de mecanismos de subsidio directo, de libre concurrencia, orientados a fomentar la realización de obras de adecuación de tierras por parte de los productores, a fin de contribuir a elevar la producción y los ingresos de los pobladores del sector rural”.⁶⁶

De otra parte, en Ministerio de trabajo y seguridad social; en el artículo 48 se dictan algunas disposiciones que se deben regir en la instalación de los campamentos permanentes en terreno; allí se indica que:

Cuando sea imposible localizar los campamentos en terreno seco, el escogido debe sanearse, con un drenaje subterráneo y deben impermeabilizarse además los pisos y los muros. En tal caso, pueden también construirse los campamentos sobre soportes de madera impermeabilizada, o de mampostería o de concreto, de modo que aislen los pisos de la humedad⁶⁷.

En la resolución 541 de 1994, se dictan las disposiciones “por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación”

3.4 MARCO GEOGRÁFICO

La ciudad de Bogotá limita, al oriente con los cerros orientales y los municipios de Ubaque, La Calera y el municipio de Choachí, al norte con el municipio de Chía, al

⁶⁵ Ibid., artículo 1.

⁶⁶ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1152 de 2007

⁶⁷ MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL, Resolución 2400 de 1979

sur con el Páramo de Sumapaz y al Occidente con los municipios de Funza, Soacha y Mosquera.⁶⁸ Bogotá tiene una extensión urbana aproximada de 350 km² y un área total de 163.663 hectáreas con una población estimada en 7.743.955 personas, con una “densidad de población de 200 habitantes por hectárea”, p. 2; en el año 2000 fue catalogada como una megalópolis.⁶⁹

Bogotá, se encuentra localizada sobre el altiplano Cundiboyacense a una altura sobre el nivel del mar entre los 2500 y 4000 metros, sus principales elevaciones montañosas son el cerro de Guadalupe y el cerro de Monserrate. Como se aprecia en la figura 11, a nivel administrativo la capital de la república está dividida en 20 localidades representada en una alcaldía local, su alcalde es nombrado por el alcalde mayor de la ciudad de una terna que le presenta la Junta Administradora Local (JAL) ⁷⁰

⁶⁸ ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá.2014

⁶⁹ Ibid.,

⁷⁰ ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Documento de análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales para el distrito capital.2019

Figura 15. Localidades de Bogotá



Fuente: CONALTURA, 2020

En el aspecto climático y ecológico se caracteriza por presentar un clima frío a medio oscilando sus temperaturas entre 7°C a 18°C, siendo un promedio 14°C, presenta un ecosistema de páramo a bosque andino, está rodeado principalmente por el río Bogotá, quien recolecta las aguas de los ríos; Torca, Salitre o Juan amarillo, Fucha

y Tunjuelo⁷¹.

3.5 MARCO DEMOGRÁFICO

En esta sección el lector encontrará una información relacionada con los resultados de estadísticas realizadas por el DANE, en la ciudad de Bogotá, puesto que el desarrollo práctico de este estudio se va a realizar en esta ciudad.

Es decir, la empresa del presente estudio está localizada en la ciudad de Bogotá, uno de los aspectos a tener presente es la densidad de la población del área urbana, entendida como “la cantidad de personas que residen en un territorio urbano específico de la ciudad, es decir el número de habitantes por hectárea urbana”. En otras palabras, el territorio urbano comprende las plazas, los parques, las plazoletas, las manzanas, los andenes y las áreas verdes y de característica natural como son los canales, los ríos, las quebradas, etc.⁷²

La ciudad de Bogotá está compuesta por un “60% de la población, además el 67% de la producción industrial y el 57% del PIB de Colombia, en relación con el sector de los servicios aporta el 71% al PIB de la ciudad”, p. 15; en la actualidad se posiciona en el noveno lugar dentro más densamente pobladas en el mundo; lo que constituye uno de los factores para que Bogotá tenga el éxito económico que posee.

⁷³

En relación el tema de estratificación socioeconómica se puede mencionar que este es un instrumento que permite centrar el gasto de los habitantes y es utilizado para clasificar las familias según esta diseñado por los métodos que utiliza el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). En otras palabras y

⁷¹ Ibid.,

⁷² ZAPATERO, María Antonia. La densidad urbana, concepto y metodología. Madrid. 2017

⁷³ DINERO. Congestión poblacional en Bogotá. Bogotá, 2015

según lo indicado por esta entidad basada igualmente en la ley 142 de 1994 y el decreto 544 de 2009 para la zona urbana y el 304 para la zona rural; el alcalde instaure una estratificación, dando como resultado seis estratos socioeconómicos, donde el estrato uno corresponde al más bajo y el estrato seis al más alto⁷⁴.

De acuerdo con la Alcaldía Mayor de Bogotá⁷⁵, p. 3, la estratificación para la ciudad de Bogotá se puede establecer de la siguiente manera:

- “Estrato 1: Bajo-bajo
- Estrato 2: Bajo
- Estrato 3: Medio-bajo
- Estrato 4: Medio
- Estrato 5: Medio-alto
- Estrato 6: Alto

• No residencial: Uso diferente a vivienda (industria, comercio y dotacional)”

En el tema educativo para la ciudad de Bogotá, en el año 2019, el DANE informa que “la proporción de la población económicamente activa (PEA) con educación media fue 35,0%. La distribución de los demás niveles educativos en la PEA fue la siguiente: el 22,0% en educación básica primaria, el 5,8% educación básica secundaria, el 11,3% educación técnica profesional o tecnológica, el 8,7% educación universitaria y el 3,7% postgrado”⁷⁶.

A nivel económico Bogotá “concentra el 30% del PIB y más del 50% de las actividades terciarias, cuenta nombradas instituciones de salud, brindando a sus usuarios una atención de excelente calidad, a nivel cultural es considerada como la

⁷⁴ ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. La estratificación en Bogotá. Bogotá.2015

⁷⁵ Ibid.,

⁷⁶ DANE. Fuerza laboral y educación. Bogotá, 2019

“Atenas de suramericana”⁷⁷

3.6 ESTADO DEL ARTE

En lo referente a la tecnologías sin zanja y específicamente la perforación horizontal dirigida en la actualidad es un sistema que está siendo muy utilizado en los países desarrollados, donde es considerada como una tecnología de “gran valor económico, social y ambiental”, p. 1, sin embargo, en países subdesarrollados como lo es el Ecuador, se convierte en una tecnología que es poco empleada, debido al desconocimiento de sus bondades en relación con el empleo de técnicas de excavación a cielo abierto; por tanto se requiere evaluar detenidamente los costos en las etapas de “factibilidad, planeación y construcción de los proyectos en el país”⁷⁸.

De otra parte, en las Excavaciones donde interfiere la estabilidad de taludes, se utilizan tecnologías como morteros blandos para lograr estabilidad a lo largo de la excavación, especialmente en aquellas que requieren un diámetro considerable; es por ello que hoy en día el desarrollo tecnológico tendiente a la excavación de ductos con gran diámetro ha alcanzado un desarrollo mecánico de alta precisión y seguridad; siendo conocidas en el medio y mencionadas en el artículo como un mortero compresible para excavaciones ejecutadas con tuneladoras de escudo (TMB); el estudio de esta maquinaria se presenta en este artículo tiene como objetivo “desarrollar un nuevo mortero compresible para el relleno entre terreno y sostenimiento que consiga minimizar solicitaciones y compatibilizar desplazamientos; ” Para ello, se caracterizaron los materiales y se plantearon las

⁷⁷ ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, Op.cit., 2015

⁷⁸ ACOSTA, Víctor. Plan de gestión de proyectos de construcción de infraestructura soterrada, con perforación horizontal dirigida en Ecuador, enmarcado en la guía PMBOK® sexta edición del PMI®. Quito: Universidad de las Américas, 2020, p. 1.

dosificaciones a ensayar, estimando los rangos mediante Taguchi.⁷⁹ , p. 399.

⁷⁹ COLOMER, Ernesto. Nuevo mortero compresible para excavaciones ejecutadas con tuneladoras de escudo (TBM). En: International congress on project management and engineering. 2020, p. 399-411

4. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación busca describir las diferencias entre dos sistemas constructivos, en la instalación de redes subterráneas basándose en la información recopilada del juicio de expertos seleccionados entre profesionales que han participado recientemente en procesos de instalación de redes subterráneas en la ciudad de Bogotá, utilizando uno de los dos métodos a saber: excavación abierta o excavación horizontal dirigida. Estas diferencias serán estudiadas en cuanto a aspectos que pueden ser planeados, gestionados y controlados, empezando por las diferencias técnicas, hasta la gestión de tiempos, costos y riesgos; obteniendo como resultado un análisis comparativo, que busque determinar el impacto de una gestión de obra eficiente en cada caso, donde se involucra el conteo de las respuestas de los profesionales involucrados, con respecto a esta incidencia de este aspecto dentro de sus respectivas obras.

Es una investigación descriptiva, porque narra o explica las situaciones inherentes desglosando las situaciones y actitudes que prevalecen en las personas y procesos gerenciales de una empresa constructora, para seleccionar los métodos de instalación de tuberías a seguir, donde lo que se quiere es identificar sus características, reconociendo la forma en la que las técnicas de gerencia de obra pueden minimizar problemáticas propias de estos sistemas constructivos y establecer la forma en la que la gerencia de obra puede afectar o afectarse, de acuerdo a la selección del sistema constructivo a emplear para la instalación de redes subterráneas.

Para llegar a un conocimiento más elaborado del tema, como lo indican Dalen Van y Meyer ⁸⁰, y cumplir con los objetivos propuestos se requiere plantear aspectos conceptuales, como las generalidades de los métodos de excavación,

⁸⁰ D. Dalen Van y W. Meyer, «Síntesis de Estrategia de la investigación descriptiva. En.:» de Manual de técnica de la investigación educacional., México D.F, Paidós, 2013., pp. 123-143

profundizando en los métodos sin zanja, (dentro de ellos la perforación horizontal dirigida), las excavaciones a cielo abierto y la productividad en la gerencia de obra, que son los temas presentados dentro del marco teórico.

4.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

FASE 1: Recopilación de información documentada en bibliografía especializada sobre aspectos de tiempo, costos y riesgos; tanto en la aplicación del sistema de excavación a cielo abierto como en la del sistema perforación horizontal dirigida.

FASE 2: Diseño de la encuesta dirigida a expertos y aprobación de la misma por parte de los mismos profesionales que recientemente hayan participado en excavaciones a cielo abierto y en excavaciones horizontales dirigidas, y que tienen incidencia en la selección de los sistemas constructivos a emplear.

FASE 3: Mediante la encuesta a experto aprobada por los mismos expertos, hacer la recolección de información a 6 ingenieros profesionales en cada sistema constructivo. Se trata de hacer igual número de encuestas, con las mismas preguntas, a expertos, ingenieros que hayan participado en excavaciones a cielo abierto y así mismo a ingenieros que hayan participado en proyectos de perforación horizontal dirigida.

FASE 4 Mediante matriz de resultados hacer la comparación entre las respuestas de los expertos que participan o participaron en excavaciones a cielo abierto con aquellos que participaron en procesos de perforación horizontal dirigida.

FASE 5: Análisis de la información recolectada en cada caso de estudio para contextualizar la incidencia de la gerencia de obra en lo referente a las técnicas, tiempos, costos y riesgos en los sistemas de excavación utilizada, de acuerdo con los profesionales capacitados en el tema que responde la encuesta y los resultados de esta, serán validados por medio del método de alfa de Cronbach.

4.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

A fin de poder entender las diferencias y las características de los sistemas estudiados, y la incidencia de la gerencia de obras en cada una de ellas, se utiliza como herramienta investigativa una encuesta realizada a expertos, cuya validación se hace mediante el juicio de los mismos profesionales, que es un “método de validación cada vez más utilizado en la investigación, y consiste, básicamente, en solicitar a una serie de personas la demanda de un juicio hacia, un instrumento, de recolección de datos”⁸¹

En este caso se hará, tanto el juicio de experto, como la encuesta técnica dirigida a profesionales, involucrados en excavación a cielo abierto y en perforaciones horizontales dirigidas, quienes deben proporcionar datos de manera consciente y voluntaria respecto a elementos que permiten identificar el estudio comparativo propuesto.

Se selecciona la encuesta tipo Likert porque es un instrumento que facilita el análisis de datos puesto que como lo expone Hernández⁸², la encuesta, debe ser un medio que facilite un acercamiento con el encuestado para lograr extraer su opinión sobre la realidad problemática.

Para la elaboración de la escala se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Preparación de las preguntas. Se diseñan enunciados que pueden ser respondidos como se describió anteriormente, sobre la opinión de los expertos en aspectos técnicos, y de gestión de tiempo, costos y riesgos propios de cada sistema constructivo.
- Los ítems seleccionados se aplican al juicio de expertos, cuya opinión se

⁸¹ ROBLES, P., y ROJAS, M. La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. Revista Nebrija de Lingüística Aplicada, 2015 42-58

⁸² HERNÁNDEZ, R. (2010). Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill

desea medir, solicitando que pueda expresar su opinión sobre el grado de importancia a cada ítem mediante una escala Liker definida previamente.

- Se asignan puntajes a los ítems con el fin de clasificarlos según se observen sus actitudes positivas o negativas.
- Se analizan y seleccionan los ítems más representativos mediante la aplicación de técnicas estadísticas disponibles en el programa Excel, como son: el cálculo de porcentajes, las gráficas de barras, e histogramas de resumen.

En el anexo A se presentan las encuestas que responden los profesionales mencionados

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población corresponde a proyectos en los cuales se realizaron excavaciones, utilizando los dos sistemas estudiados en la presente investigación, en los que se puede determinar las características de una gerencia de obra eficiente en cada caso.

Se toma el juicio de 6 expertos, profesionales que participan o han participado en proyectos de instalación de ductos a cielo abierto y a 6 expertos que han participado o participan actualmente en proyectos de instalación de ductos con sistema sin zanja, utilizando perforación horizontal dirigida. Estos mismos expertos previamente han ajustado y validado la herramienta, que en este caso es la encuesta dirigida a expertos. Los proyectos corresponden a empresas en la ciudad de Bogotá.

4.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

La presente investigación que se direccionará hacia definir las diferencias en la forma como la gerencia de obra puede incidir en los procesos constructivos eficientes de excavaciones a cielo abierto y excavaciones horizontales dirigidas, que serán importantes dentro del fomento real que se puede desarrollar en las empresas constructoras estudiadas, en bien de otras empresas que tengan acceso a la información y que puedan contratar estos sistemas de excavación.

Por eso se incluyen elementos necesarios para la optimización de las actividades propias de estas empresas de construcción, mediante el uso de herramientas que se emplean en las técnicas logísticas propuestas por la gerencia de proyectos en la medida que se logre identificar y reducir las pérdidas identificadas en los procesos logísticos propios de los sistemas de excavación estudiados.

Las limitaciones están dadas por la capacidad técnica de las personas que pueden aportar datos significativos a la investigación, puesto que no son muchas las empresas que dejan a sus profesionales responder cuestiones de esta índole. Solamente las condiciones de trabajo de los autores permiten tener acceso a tipo de profesionales que emiten opiniones sobre la conveniencia y las diferencias de los direccionamientos gerenciales.

5. PRODUCTOS A ENTREGAR

Se espera mediante la recolección y análisis de datos, conformar un documento en formato Word, PDF y en CD, de índole descriptivo, que tienen como objetivo proporcionar un panorama acerca de las características de un fenómeno de interés práctico en obras de instalación de ductos como lo son, en este caso, las características, diferencias, ventajas y desventajas entre sistemas de excavación a cielo abierto y excavaciones que utilizan perforación horizontal dirigida, profundizando en la incidencia de la gerencia de obra en los tiempos costos y riesgos que se tienen al utilizar cada una de estos sistemas constructivos.

Tabla 3 Producto a entregar

TIPO	Nombre del producto	Formato	Fecha de entrega
Documento descriptivo	Tesis	Word, PDF, C.D.	Junio 2021
Base de datos comparativos	Resultados y análisis de la encuesta a expertos	Excel	Junio 2021
Documento para sustentación	Presentación tesis	PowerPoint	Junio 2021

6. ENTREGA DE RESULTADOS

6.1 INSTRUMENTO ENCUESTA

La entrega de resultados se inicia con el diseño de la encuesta. Como se observa en el anexo A, esta consta de 40 preguntas, donde se responde con: nada importante, no es importante, indiferente, importante y muy importante. Estas respuestas se valoran correspondientemente de 1 a 5 (empezando con 1 para nada importante y terminando con 5 para muy importante). De las 40 preguntas, 10 corresponden a la categoría de criterios técnicos, 8 a la categoría de gestión de tiempo, 11 a la categoría de gestión de costos y 11 a la categoría de gestión de riesgos.

Como se ha dicho en el capítulo de descripción de la metodología y según lo expuesto por Robles, p., y Rojas, la validación de herramientas mediante juicio de expertos, es cada vez más utilizado en la investigación, puesto que en ella se solicita a una serie profesionales en un tema determinado su opinión sobre, la procedencia de dicha herramienta para la investigación en curso.

Es decir que en este caso que se elabora un cuestionario específico, sobre temas técnicos es recomendable que la herramienta sea validada por el juicio de expertos, con recorrido en el tema tratado, como son ingenieros con recorrido en excavación para instalación de ductos, quienes están en la capacidad de dar una opinión de la encuesta, con respecto a: su **suficiencia** (las preguntas que pertenecen a una misma categoría bastan para obtener la medición de la misma), su **claridad** (las preguntas se comprenden fácilmente, es decir que su redacción y sinapsis son adecuadas), **su coherencia** (las preguntas tienen relación lógica con la categoría que está midiendo) y su **relevancia** (las preguntas son esenciales e importantes, para definir lo investigado en la categoría)⁸³.

⁸³ GALICIA Liliana, BALDERRAMA Jorge y NAVARRO Rubén Validez de contenido por juicio de

6.1.1 Perfil de profesionales que validan y responden la encuesta

De esta forma se aprovecha el vínculo de los autores con empresas que trabajan en el ramo para la selección de los expertos que corresponden a ingenieros encargados de la parte de dirección de obras para instalación de ductos, utilizando los métodos estudiados. En la siguiente tabla se observa el perfil de los profesionales que emiten el juicio de expertos y a la vez responden la herramienta ya ajustada a sus propios requerimientos

Tabla 4 Perfiles de profesionales encuestados

SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL ULTIMO PROYECTO DE EXCAVACIÓN PARA REDES SUBTERRÁNEAS Y PERFIL DE PROFESIONALES				
No	Profesional en:	Últimos estudios pos universitarios en:	Cielo abierto u horizontal dirigida	Perfil del profesional
1	Ingeniería civil	Especialización en Gestión de proyectos	horizontal dirigida	Ingeniero civil, graduado en el año 2011, con especialización en Gestión de proyectos. Con experiencia aproximada de 10 años en obras de urbanismo, donde realiza actividades de excavación. Principalmente, ha participado en proyectos de acometida de tubería para acueducto y alcantarillado en el municipio de Acacias Meta, cuenta con estudios en sistemas de gestión, seguridad y salud en el trabajo SG SST

expertos: propuesta de una herramienta virtual, Revista Apertura, 2017 vol. 9, Num 2 Universidad de Guadalajara p.p. 42-53

2	Ingeniería civil	Maestría en ingeniería ambiental	A cielo abierto	<p>Ingeniero civil, egresado en el año 2013, con maestría en ingeniería ambiental, y diplomado en geotecnia Vial, obras subterráneas excavaciones, y estructuras de contención.</p> <p>Ha participado en numerosos proyectos de acometida de tuberías para adecuación de vías y manejo de corrientes de agua en proyectos viales.</p>
3	Ingeniería civil	Especialización en Gestión de la construcción	horizontal dirigida	<p>Ingeniero civil, egresado en el año 2002, con especialización en Gestión de la construcción, capacitado para toma de autónomas, con gran capacidad de emprendimiento y liderazgo, bajo un estricto código ético y social. A participado en 8 proyectos de instalación de redes hidráulicas bajo la modalidad de perforación horizontal dirigida.</p>
4	Ingeniería mecánica	Maestría en materiales y procesos	horizontal dirigida	<p>Ingeniero civil, graduado en el año 2007 de la universidad, con Maestría en materiales y procesos.</p> <p>Muy bien capacitado para resolver problemas técnicos de los equipos de perforación. Es innovador, creativo y con capacidad para aportar soluciones en momentos críticos de las obras, proponiendo técnicas y procedimientos para resolverlos. Ha colaborado en obras del sector público aportando su experiencia en actualización e innovación de los sistemas para instalación de redes subterráneas.</p>
5	Ingeniería civil	Especialización en tránsito diseño y seguridad vial	A cielo abierto	<p>Ingeniero civil, graduado en el año 2007, con especialización en tránsito diseño y seguridad vial.</p> <p>Cuenta con una alta experiencia como residente de obra en proyectos de instalación de ductos subterráneos y movimiento de tierra en el sector público, participando en la formulación de proyectos propios de las entidades territoriales..</p>

6	Ingeniería industrial	Maestría en automatización industrial	horizontal dirigida	<p>Ingeniero industrial, graduado en el año 2007, con Maestría en automatización industrial.</p> <p>Ha aplicado sus conocimientos científicos y técnicos solucionando las relacionadas con el ciclo de vida en la instalación de redes subterráneas de la ciudad de Bogotá durante aproximadamente 8 años. Cuenta con una férrea voluntad de servicio siendo muy comprometido y consiente con la responsabilidad técnica y ambiental en la instalación de ductos</p>
7	Ingeniería geológica	Especialización en Gerencia de Construcciones	A cielo abierto	<p>Ingeniero geológico, graduado en el año 2017, con especialización en gerencia de construcciones.</p> <p>Ha demostrado gran capacidad de liderazgo, dirigiendo su equipo de excavación de forma muy práctica en más de 5 proyectos durante los últimos dos años</p>
8	Ingeniería civil	Especialización en Gestión Integral Ambiental	A cielo abierto	<p>Ingeniero civil, graduado en el año 2015, con especialización en gestión Integral ambiental.</p> <p>Ingeniero civil experiencia en excavación</p> <p>Ingeniero ampliamente capacitado para liderar proyectos en los que se interactúa constantemente con equipos de trabajo para optimizar los rendimientos en las obras de acometidas de redes subterráneas. Cuenta con muy buena formación técnica en movimientos de tierra y acometidas de ductos.</p>
9	Ingeniería civil	Especialización Gestión de proyectos	A cielo abierto	<p>Ingeniero civil, graduado en el año 2012, con especialización en Gestión de proyectos.</p> <p>Cuenta con experiencia aproximada de 6 años comprobables en excavaciones de redes subterráneas y está capacitado para solucionar problemas relacionados con la planeación gestión y control en proyectos de construcción de redes</p>

10	Ingeniería mecánica	Especialización Gestión de proyectos	horizontal dirigida	Ingeniero mecánico, graduado en el año 2007, con especialización en Especialización Gestión de proyectos. Amplia capacidad para solucionar problemas estructurales en las acometidas de redes subterráneas, teniendo en cuenta novedosos sistemas de construcción para determinar el comportamiento de los las herramientas y los materiales de excavación
11	Ingeniería civil	Maestría en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental	horizontal dirigida	Ingeniero civil, graduado en el año 2007, con Maestría en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental. Cuenta con una amplia formación y experiencia técnica que le han permitido liderar aproximadamente 12 proyectos de instalación de redes subterráneas , liderando, tanto el control de la estructura de los ductos, como los procesos de calidad propios de las obras de acometidas de redes.
12	Ingeniería civil	Especialización en Gerencia de Proyectos de Construcción	A cielo abierto	Ingeniero civil, graduado en el año 2002, con especialización en especialización en Gerencia de Proyectos de Construcción. Con más de 15 años de experiencia en instalación de redes subterráneas, dirigiendo procesos de excavación y movimientos de Tierra, donde se incluyen las licitaciones, el manejo presupuestal, ambiental y de seguridad industrial en las obras

Fuente. Los autores con base en la información de los profesionales

6.1.2 Validación de la encuesta dirigida a expertos

Estos profesionales validan las encuestas que se les presentan inicialmente, haciendo las correcciones y observaciones del caso. En el anexo B se presenta el formato de validación presentado a cada experto ingeniero, que es un ajuste del formato empleado por Yadira Corral en el año 2009 de acuerdo a los criterios expuestos por Galicia Liliana, Balderrama Jorge y Navarro en el año 2017. Por su parte, en la siguiente tabla se presenta el resumen de los resultados de esta valoración, donde se tienen en cuenta las sugerencias de los expertos para ajustar el diseño de la herramienta final tal como se presenta en el anexo A

Tabla 5 Validación de la herramienta a juicio de expertos

Categoría	Criterio a evaluar								Observaciones	Ajustes efectuados	
	Suficiencia		Claridad		Coherencia		Relevancia				
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No			
1	11	1	7	5	12		12		Se sugiere evitar términos muy técnicos y ser más concretos en las preguntas	Se reduce la redacción de las preguntas y se simplifican para su fácil entendimiento	
2	10	2	10	2	11	1	12		Se sugiere incluir preguntas concretas sobre lo importante que fue la gestión del tiempo en el proyecto y un calificativo para tal gestión	Se incluyen 2 preguntas en la categoría ajustando a la sugerencia de los expertos	
3	10	2	11	1	11	1	12		Se sugiere incluir preguntas concretas sobre lo importante que fue la gestión de costos en el proyecto y un calificativo para tal gestión	Se incluyen 2 preguntas en la categoría ajustando a la sugerencia de los expertos	
4	10	2	10	2	12		12		Se sugiere incluir preguntas concretas sobre lo importante que fue la gestión de riesgos en el proyecto y un calificativo para tal gestión	Se incluyen 2 preguntas en la categoría ajustando a la sugerencia de los expertos	
Aspectos Generales							SI	NO	Observaciones		
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas							8	4	Algunos expertos hicieron las observaciones que se muestran arriba		
las preguntas permiten el logro de los objetivos							12				
El número de preguntas es suficiente para recoger la información.							12				
Las preguntas están distribuidas en forma lógica							12				
APLICABLE							12		NO APLICABLE		0

Nota. Las categorías son las siguientes: Categoría 1 Criterios técnicos, para la selección del método constructivo, Categoría 2. Aspectos importantes en la gestión del tiempo, Categoría 3. Aspectos importantes en la gestión de costos y Categoría 4. Aspectos importantes en la gestión de riesgos.

Podríamos medir la validez que los expertos dan a la prueba se utiliza el criterio de V de Aiken, que en este caso muestra como los jueces están de acuerdo en desacuerdo con las categorías presentadas. Sin embargo, como se puede observar en la tabla anterior, los jueces calificaron la suficiencia, claridad, coherencia y relevancia, resultando muy pocos los ajustes. Por otro lado, las sugerencias de los jueces fueron tenidas en cuenta para el estado final de la encuesta a expertos que se les presento a los mismos expertos que calificaron su relevancia.

6.2 REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA

Validación de los resultados de la encuesta a expertos mediante alfa de Cronbach

Después de haber realizado la encuesta, es necesario identificar la confiabilidad o consistencia del instrumento. Es decir que tanto varían sus resultados con respecto a una tendencia media, puesto que las respuestas en cada pregunta no deben variar lo suficiente como para hacer poco creíble su resultado.

De esta forma si se llama

V_i a la varianza de cada ítem,

V_t a la varianza total de los encuestados

K al número de preguntas,

El alfa de Cronbach (α), estará dado por la siguiente formula

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right]$$

Para el caso en estudio es necesario identificar el alfa de Cronbach, tanto para el sistema de excavación a cielo abierto, donde se encuestan 6 profesionales, como para el sistema sin zanja por perforación horizontal dirigida, puesto que la confiabilidad debe ser similar en ambos casos.

En las siguientes tablas se puede observar el cálculo de las sumatorias de las varianzas para cada ítem y la sumatoria que da la varianza total para las 40 preguntas que conforman la encuesta de los sistemas de excavación a cielo abierto y perforación horizontal dirigida respectivamente.

Tabla 6 Sumatoria de varianzas para las respuestas de excavación a cielo abierto

No	PREGUNTA	RESPUESTAS C. ABIERTO							
		Encuestado 1	Encuestado 2	Encuestado 3	Encuestado 4	Encuestado 5	Encuestado 6	PROMEDIO	Varianza C. abierto
1	Pregunta 1	4	5	2	4	4	5	4,00	1,00
2	Pregunta 2	5	2	5	1	2	3	3,00	2,33
3	Pregunta 3	1	1	2	3	1	4	2,00	1,33
4	Pregunta 4	5	4	5	4	5	5	4,67	0,22
5	Pregunta 5	1	2	2	1	4	4	2,33	1,56
6	Pregunta 6	2	1	2	3	1	2	1,83	0,47
7	Pregunta 7	1	2	1	1	1	1	1,17	0,14
8	Pregunta 8	5	5	5	4	5	4	4,67	0,22
9	Pregunta 9	5	4	5	5	4	2	4,17	1,14
10	Pregunta 10	1	1	2	2	2	1	1,50	0,25
11	Pregunta 11	4	5	4	5	4	4	4,33	0,22
12	Pregunta 12	4	4	5	2	4	5	4,00	1,00
13	Pregunta 13	3	4	3	2	4	2	3,00	0,67
14	Pregunta 14	3	4	5	3	4	2	3,50	0,92
15	Pregunta 15	4	5	3	2	4	2	3,33	1,22
16	Pregunta 16	4	3	3	4	4	3	3,50	0,25
17	Pregunta 17	4	4	5	4	4	3	4,00	0,33
18	Pregunta 18	4	2	2	2	1	2	2,17	0,81
19	Pregunta 19	5	5	5	4	4	4	4,50	0,25
20	Pregunta 20	4	4	3	4	5	4	4,00	0,33
21	Pregunta 21	2	4	3	4	5	2	3,33	1,22
22	Pregunta 22	2	1	2	4	2	2	2,17	0,81
23	Pregunta 23	5	5	4	4	4	5	4,50	0,25
24	Pregunta 24	2	2	3	3	4	2	2,67	0,56
25	Pregunta 25	2	4	4	2	3	3	3,00	0,67
26	Pregunta 26	2	2	1	4	2	2	2,17	0,81
27	Pregunta 27	1	2	2	4	2	2	2,17	0,81
28	Pregunta 28	4	4	3	4	5	5	4,17	0,47
29	Pregunta 29	1	2	1	4	1	2	1,83	1,14
30	Pregunta 30	5	5	5	4	5	5	4,83	0,14
31	Pregunta 31	4	3	3	4	3	4	3,50	0,25
32	Pregunta 32	5	4	5	3	3	4	4,00	0,67
33	Pregunta 33	2	4	4	2	4	5	3,50	1,25
34	Pregunta 34	5	3	4	2	4	5	3,83	1,14
35	Pregunta 35	4	4	2	5	4	4	3,83	0,81
36	Pregunta 36	4	5	3	4	5	5	4,33	0,56
37	Pregunta 37	4	5	2	4	5	5	4,17	1,14
38	Pregunta 38	5	5	5	4	4	4	4,50	0,25
39	Pregunta 39	3	3	4	2	4	1	2,83	1,14
40	Pregunta 40	1	2	1	3	4	1	2,00	1,33
		132	136	130	130	140	130		30,06
	Varianza total						17,20		

Fuente: Los autores

Tabla 7 Sumatoria de varianzas para perforación horizontal dirigida

No	PREGUNTA	RESPUESTAS H. DIRIGIDA							
		Encuestado 1	Encuestado 2	Encuestado 3	Encuestado 4	Encuestado 5	Encuestado 6	PROMEDIO	Varianza H. Dirigido
1	Pregunta 1	4	5	5	5	4	5	4,67	0,22
2	Pregunta 2	5	2	5	4	5	4	4,17	1,14
3	Pregunta 3	5	5	2	3	5	4	4,00	1,33
4	Pregunta 4	2	4	5	2	2	5	3,33	1,89
5	Pregunta 5	5	4	4	5	4	4	4,33	0,22
6	Pregunta 6	5	5	4	4	5	4	4,50	0,25
7	Pregunta 7	5	5	5	4	5	4	4,67	0,22
8	Pregunta 8	5	2	2	4	1	4	3,00	2,00
9	Pregunta 9	1	4	1	2	1	2	1,83	1,14
10	Pregunta 10	5	5	4	4	4	5	4,50	0,25
11	Pregunta 11	5	5	4	5	4	5	4,67	0,22
12	Pregunta 12	4	4	5	5	5	5	4,67	0,22
13	Pregunta 13	5	4	4	5	4	2	4,00	1,00
14	Pregunta 14	5	4	5	3	4	5	4,33	0,56
15	Pregunta 15	4	5	5	4	4	5	4,50	0,25
16	Pregunta 16	4	5	5	4	4	5	4,50	0,25
17	Pregunta 17	5	5	5	4	4	5	4,67	0,22
18	Pregunta 18	1	2	1	1	1	4	1,67	1,22
19	Pregunta 19	5	5	5	4	5	5	4,83	0,14
20	Pregunta 20	4	4	5	4	5	4	4,33	0,22
21	Pregunta 21	5	4	3	4	5	5	4,33	0,56
22	Pregunta 22	5	4	4	4	5	4	4,33	0,22
23	Pregunta 23	5	5	5	5	5	5	5,00	0,00
24	Pregunta 24	4	4	5	4	4	5	4,33	0,22
25	Pregunta 25	4	5	5	4	5	5	4,67	0,22
26	Pregunta 26	4	5	5	4	4	4	4,33	0,22
27	Pregunta 27	4	3	4	4	5	4	4,00	0,33
28	Pregunta 28	5	5	5	5	4	5	4,83	0,14
29	Pregunta 29	2	2	1	2	2	2	1,83	0,14
30	Pregunta 30	3	2	5	4	3	5	3,67	1,22
31	Pregunta 31	3	3	3	4	1	4	3,00	1,00
32	Pregunta 32	2	4	5	3	3	2	3,17	1,14
33	Pregunta 33	2	1	4	2	4	2	2,50	1,25
34	Pregunta 34	5	3	4	2	4	5	3,83	1,14
35	Pregunta 35	4	1	2	5	1	2	2,50	2,25
36	Pregunta 36	2	5	3	4	2	5	3,50	1,58
37	Pregunta 37	2	5	2	4	2	1	2,67	1,89
38	Pregunta 38	2	2	5	4	4	2	3,17	1,47
39	Pregunta 39	2	3	1	2	4	1	2,17	1,14
40	Pregunta 40	4	4	1	3	1	1	2,33	1,89
		153	154	153	149	144	155		31,00
	Varianza total	Varianza total					17,07		

Fuente: Los autores

De esta forma remplazando los valores para excavación a cielo abierto se tiene un Alfa de Cronbach de:

$$\alpha = \frac{40}{39} * \left[1 - \frac{30.06}{17.2} \right] \alpha = 1.03 * [1 - 1.75]$$

Remplazando α para excavación a cielo abierto es $\alpha= 0.77$

Igualmente remplazando los valores para perforación horizontal dirigida se tiene un Alfa de Cronbach de:

$$\alpha = \frac{40}{39} * \left[1 - \frac{31.00}{17.07} \right] \alpha = 1.03 * [1 - 1.82]$$

Remplazando α para perforación horizontal dirigida es $\alpha= 0.84$

Esto indica que las variaciones, principalmente en el caso de perforación horizontal dirigida, no son significativas y las respuestas son confiables y consistentes, de acuerdo con el instrumento seleccionado.

6.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

6.3.1 Características técnicas predominantes en los sistemas constructivos de redes subterráneas

Después de haber ajustado las preguntas a los requerimientos de los expertos haber tenido su colaboración en el diligenciamiento de las mismas. Para esta primera categoría se tiene los siguientes resultados.

Tabla 8 Resultados de encuesta para categoría de criterios técnicos

No	PREGUNTA	CONTEO CIELO ABIERTO			CONTEO H. DIRIGIDA			PORCENTAJE DE RESPUESTAS C. ABIERTO				PORCENTAJE DE RESPUESTAS H. DIRIGIDA									
		Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante					
	Categoría 1 Criterios técnicos, para la selección del método constructivo de instalación de redes subterráneas	0	1	0	3	2	0	0	2	4	0,0%	16,7%	0,0%	50,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	
1	El peso y densidad del material	0	1	0	3	2	0	0	2	4	0,0%	16,7%	0,0%	50,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	
2	Condiciones hidrológicas, régimen de lluvias de la zona	1	2	1	0	2	0	1	0	2	3	16,7%	33,3%	16,7%	0,0%	33,3%	0,0%	16,7%	0,0%	33,3%	50,0%
3	Condiciones de humedad del terreno	3	1	1	1	0	0	1	1	1	3	50,0%	16,7%	16,7%	16,7%	0,0%	0,0%	16,7%	16,7%	16,7%	50,0%
4	Profundidad de los ductos	0	0	0	2	4	0	3	0	1	2	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%	50,0%	0,0%	16,7%	33,3%
5	Pendientes altas, o muy variables	2	2	0	2	0	0	0	4	2	33,3%	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	
6	Posibles problemas con la comunidad	2	3	1	0	0	0	0	3	3	33,3%	50,0%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	
7	El tránsito vehicular o de peatones	5	1	0	0	0	0	0	2	4	83,3%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	
8	Posibles obstáculos en la línea	0	0	0	2	4	1	2	0	2	1	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%	16,7%	33,3%	0,0%	33,3%	16,7%
9	La inseguridad de la zona	0	1	0	2	3	3	2	0	1	0	0,0%	16,7%	0,0%	33,3%	50,0%	50,0%	33,3%	0,0%	16,7%	0,0%
10	Condiciones ambientales que se exigen en la zona	3	3	0	0	0	0	0	3	3	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	

Fuente: Los autores.

Aunque en seguida se discrimina cada ítem por medio de histogramas, para un análisis más profundo, en la tabla anterior se puede observar que mientras los expertos en excavación a cielo abierto prestan más importancia a los aspectos técnicos relacionados con la profundidad de los ductos y los posibles obstáculos en la línea, para excavaciones horizontales dirigidas el aspecto más importante relacionado con el terreno es la densidad del material y el aspecto externo o del sitio que más pesa para la selección de este sistema constructivo es la posible afectación producida por el tránsito de peatones o vehículos, con un % 66 de ingenieros que consideran este aspecto como muy importante.

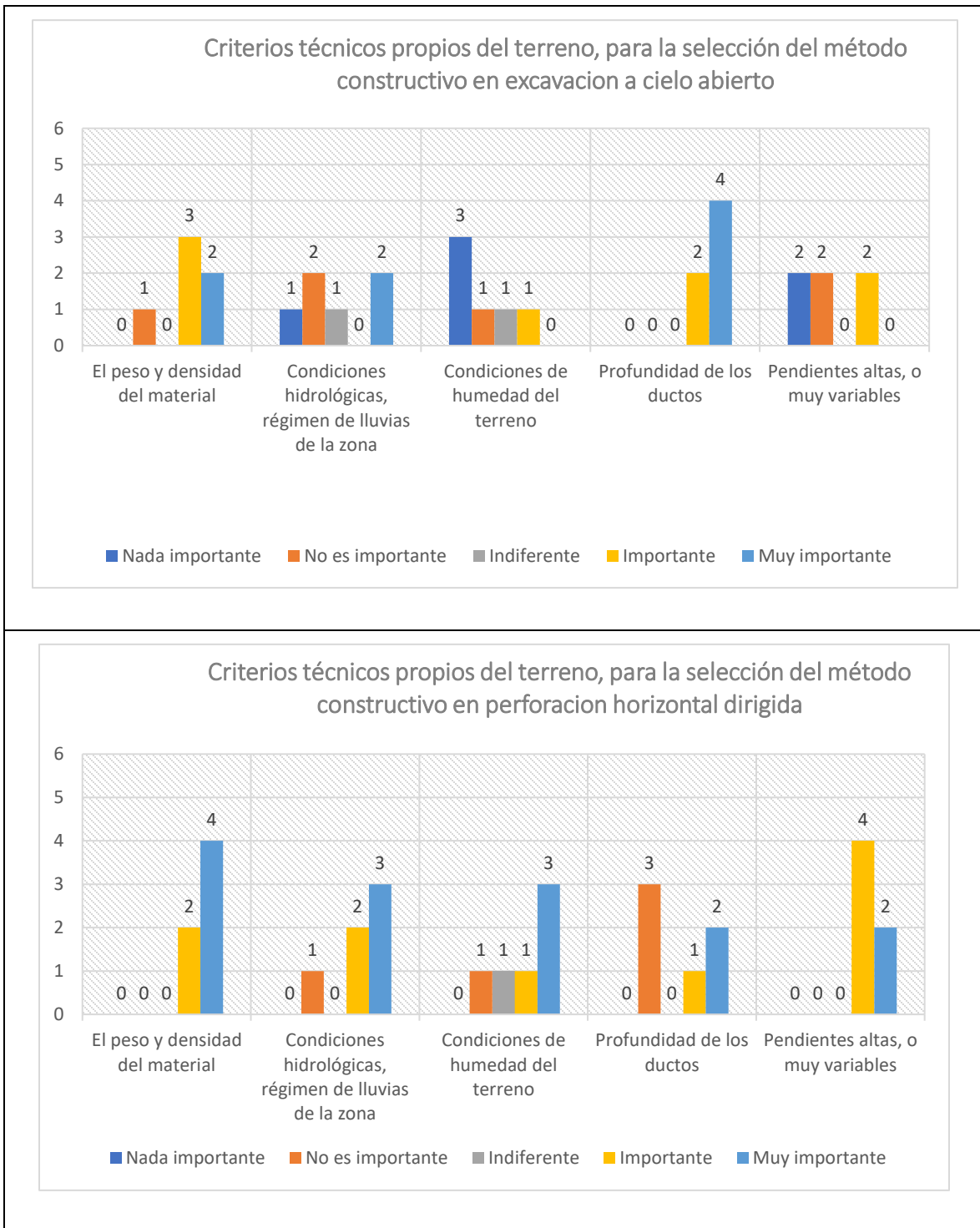
Otro criterio empleado para el análisis de algunas respuestas es el valor medio de las respuestas. Dado que los valores de 1 a 5 corresponden desde nada importante hasta muy importante se pueden interpretar las calificaciones promedio como tendencias. Por ejemplo:

Dentro de la siguiente figura se puede analizar que la profundidad de ductos es un factor importante para los 6 expertos en la selección del método de excavación a cielo abierto, (en adelante ECA), exactamente con la misma calificación promedio (4.66) que, para los 6 expertos en perforación horizontal dirigida, (en adelante PHD), puesto que para 4 expertos es muy importante y para 2 expertos es importante, $((4*5) + (2*4) = 4.66)$, lo es el peso y la densidad del material.

Igual situación se da en la calificación del criterio de las condiciones ambientales del terreno y los posibles problemas con la comunidad, de la siguiente figura, pero el promedio, en ambos casos en un poco menor (4.5) puesto que para 3 expertos son aspectos muy importantes y para otros 3 son un aspecto importante, $((3*5) + (3*4) = 4.5)$. esto significa que en el primer caso los criterios son más relevantes, puesto que tienden más a ser muy importantes, mientras que en el segundo caso están en un punto medio entre importantes y muy importantes.

Otra forma de análisis es haciendo referencia al porcentaje de respuestas de los expertos de la siguiente forma:

Figura 16 Comparación de resultados sobre criterios técnicos inherentes al terreno



Fuente: Los autores.

En la figura anterior se observa que, tanto para los expertos en ECA, como para los expertos en PHD, el peso y densidad del material es un aspecto técnico importante, puesto que del %100 de los expertos en ECA un %83 opina esto, sin embargo, para él %100 de los encuestados expertos en PHD, lo es, donde para un % 66 es más que importante (muy importante) y para un % 33.3 es importante.

Igualmente, los expertos en PHD dan mayor importancia a los aspectos técnicos relacionados con las condiciones hidrológicas, con el régimen de lluvias en la zona y con las condiciones de humedad del terreno. La explicación a esta mayor importancia, radica en que cualquiera de estas condiciones técnicas, podría hacer inviable la selección de otro tipo de sistema constructivo. De esta forma, condiciones hidrológicas o humedades extremas del material, podrían impedir la ECA, dejando un amplio margen para seleccionar la PHD como método a seguir para la instalación de ductos.

Por su parte la profundidad de los ductos importa más a los profesionales en ECA, quienes en un %100 la consideran importante, la flexibilidad en excavaciones poco profundas para manejo de taludes en condiciones seguras, hace que este sea el sistema más viable y económico cuando no existen otras condiciones técnicas que lo impidan o que hacen que se requiera contemplar sistema de PHD.

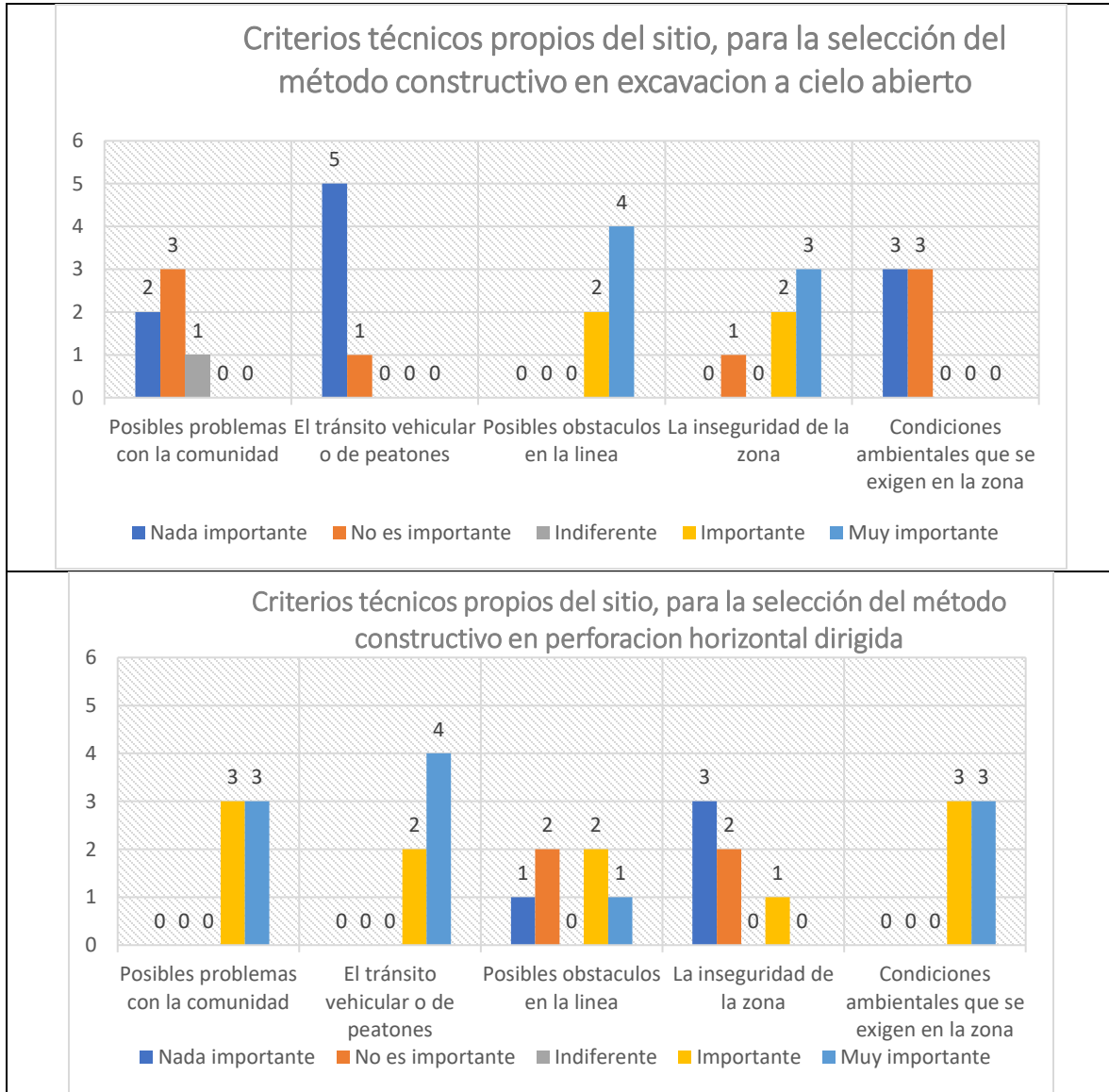
Por ejemplo, la condición de una pendiente alta o muy variable en las posibles excavaciones, hace que la PHD sea un método a contemplar para solucionar posibles deslizamientos y mitigar la posibilidad de accidentes o movimientos adicionales de terreno al que calcula inicialmente. Esto se evidencia en que él %100 de los expertos en PHD, (para 2 es muy importante y para 4 es importante), consideran que este es un factor definitivo en la selección del método para emprender el proceso constructivo en la instalación de ductos.

Además de los criterios técnicos inherentes al terreno, están criterios técnicos que solo dependen del sitio, como son los posibles problemas con la comunidad, la inseguridad en la zona, o las exigencias para cuidado del medio ambiente que

pueden interferir ampliamente en la selección del método a seguir para la instalación de ductos.

La opinión de los expertos sobre cómo afectan estos criterios la selección del método se analizan en las siguientes figuras.

Figura 17 Comparación de resultados sobre criterios técnicos inherentes al sitio



Fuente: Los autores.

En la primera parte de la figura se observa que los posibles obstáculos en la línea del proyecto y la inseguridad en la zona son los aspectos que mejor calificación

promedio de obtuvieron calificando de 1 a 5 las respuestas de los expertos en ECA. El criterio que más pesa son los posibles obstáculos en la vía, con una calificación promedio de 4.66 sobre 5 y el siguiente criterio en importancia corresponde a la inseguridad en la zona con una calificación promedio de 4.16 sobre 5.

En la misma parte de la figura se observa que los aspectos menos importantes para seleccionar ECA son el tránsito vehicular o de peatones con una calificación promedio de 1.16 y las condiciones ambientales que se exigen en la zona con una calificación promedio de 1.5. Estas respuestas se dan porque los expertos ven que el tránsito vehicular o peatonal y las condiciones ambientales del terreno son condiciones generales a las que toda instalación de ductos se ve expuesta, por eso para ellos existen otros criterios que pesan más como lo son los posibles problemas con la comunidad, que muchas veces hace inviable la excavación a cielo abierto

6.3.2 Gestión de tiempo.

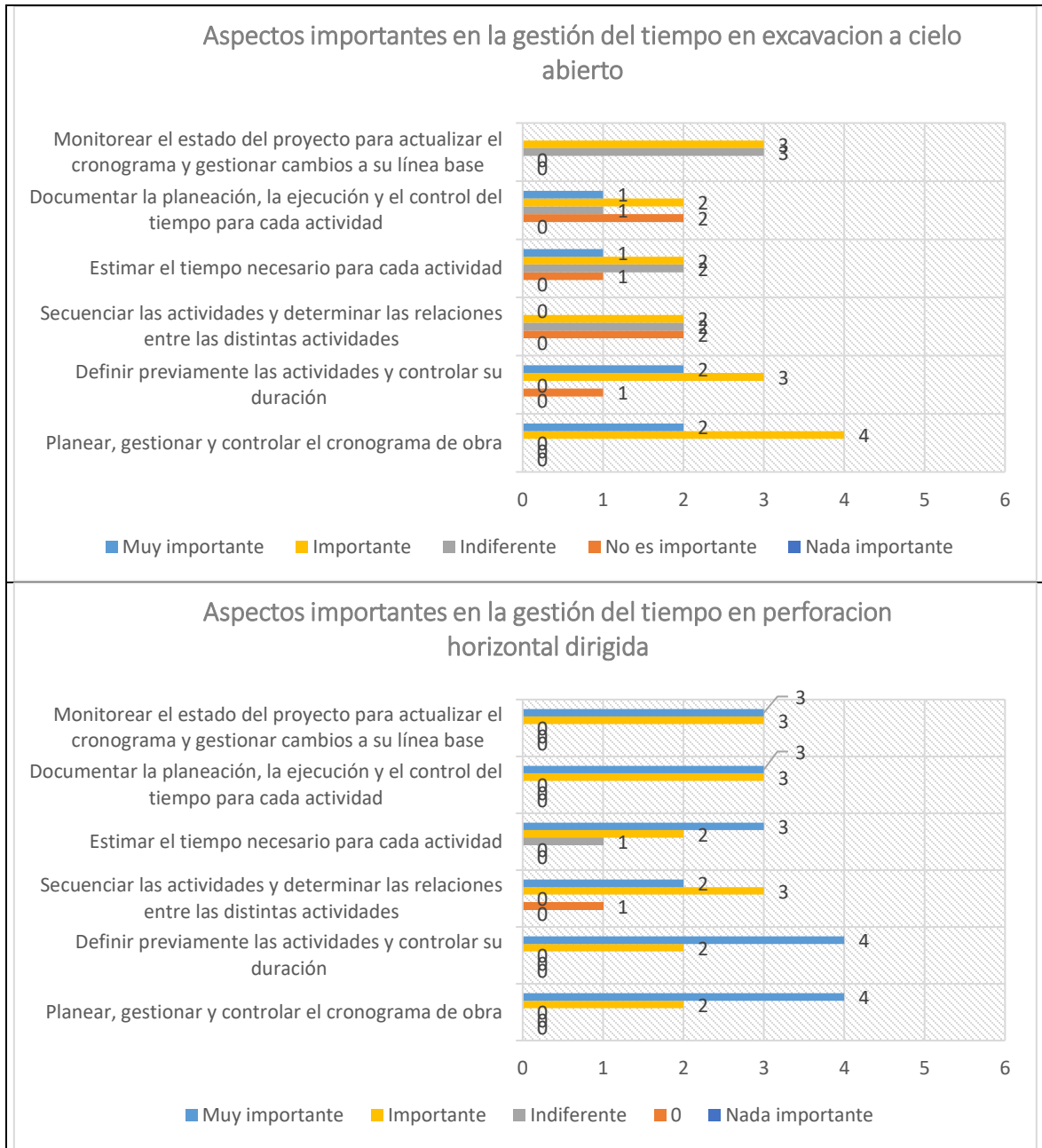
Tabla 9 Resultados de encuesta para categoría de criterios de gestión de tiempo

No	PREGUNTA	CONTEO CIELO ABIERTO				CONTEO H. DIRIGIDA				PORCENTAJE DE RESPUESTAS C. ABIERTO				PORCENTAJE DE RESPUESTAS H. DIRIGIDA							
		Nada importante	Indiferente	Importante	Muy importante	Nada importante	Indiferente	Importante	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante		
	Categoría 2. Aspectos importantes en la gestión del tiempo	0	0	4	2	0	0	2	4	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%		
11	Planear, gestionar y controlar el cronograma de obra	0	0	4	2	0	0	2	4	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%		
12	Definir previamente las actividades y controlar su duración	0	1	3	2	0	0	2	4	0,0%	16,7%	0,0%	50,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%		
13	Secuenciar las actividades y determinar las relaciones entre las distintas actividades	0	2	2	0	0	1	0	3	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	0,0%	16,7%	0,0%	50,0%	33,3%		
14	Estimar el tiempo necesario para cada actividad	0	1	2	1	0	0	1	2	0,0%	16,7%	33,3%	33,3%	16,7%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%		
15	Documentar la planeación, la ejecución y el control del tiempo para cada actividad	0	2	1	1	0	0	3	3	0,0%	33,3%	16,7%	33,3%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%		
16	Monitorear el estado del proyecto para actualizar el cronograma y gestionar cambios a su línea base	0	0	3	3	0	0	3	3	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%		
17	¿Qué tan resultó el cumplimiento del cronograma y la gestión del tiempo para la elección del método de constructivo utilizado en la instalación de redes subterráneas, en proyecto que participó o está participando?	0	0	1	4	0	0	2	4	0,0%	0,0%	16,7%	66,7%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%		
		Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena	Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena	Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena	Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena
18	Como considera que fue la gestión de tiempo dentro del proyecto de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando	1	4	0	1	0	1	0	1	16,7%	66,7%	0,0%	16,7%	0,0%	66,7%	16,7%	0,0%	16,7%	0,0%		

Fuente: Los autores.

En el análisis de las respuestas referentes a la gestión de tiempo se hace mediante 3 figuras distintas: 6 preguntas que buscan indagar sobre el nivel de importancia de distintos aspectos relacionados con la gestión del tiempo, una pregunta que busca determinar la importancia que el equipo de trabajo dio a la gestión de tiempo y finalmente, se busca determinar lo buena que fue la gestión dentro de la obra.

Figura 18 Aspectos importantes en la gestión de tiempo.



Fuente: Los autores.

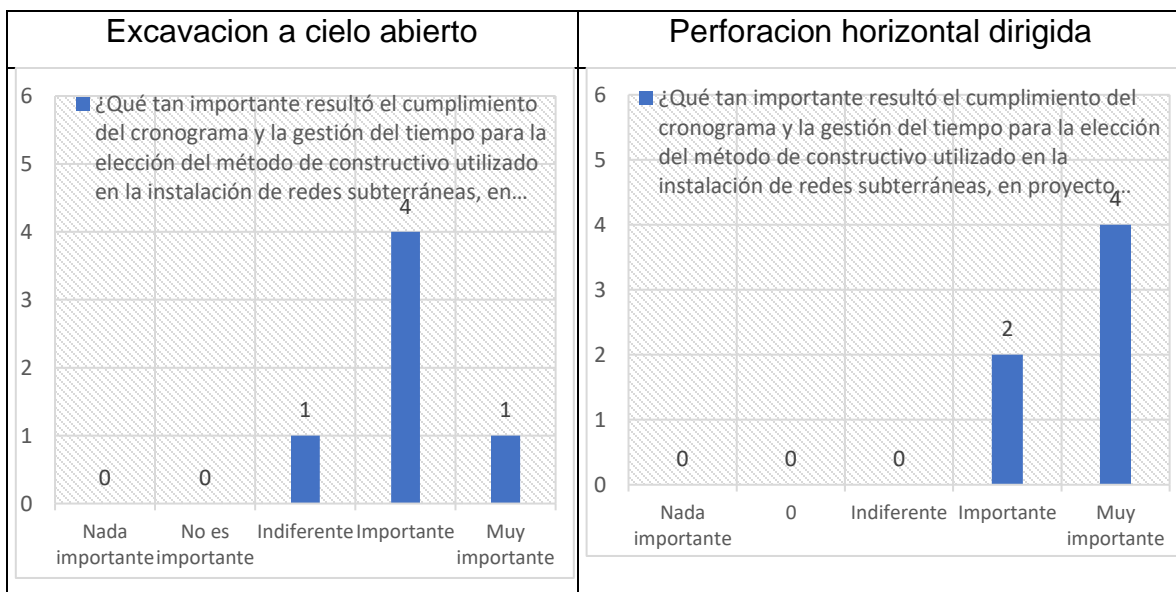
En las respuestas relacionadas con la gestión de tiempo se observa que planear, gestionar y controlar el cronograma de obra, con un valor promedio de 4.33 y definir las actividades previamente controlando su duración, con un valor promedio de 4.00 son los aspectos a los que más le dan importancia los expertos en ECA, Por su parte los expertos en PHD dan importancia a estas mismas actividades, pero con calificaciones promedio un poco superiores (promedio de 4.67 sobre 5).

De estas respuestas se puede identificar que los profesionales en PHD son más rigurosos para planear y controlar el tiempo que se requiere en cada actividad. Esto tiene su explicación en que los procesos que se desarrollan en este tipo de instalación de ductos pueden resultar más costosos y dispendiosos, por lo que requieren una mejor planeación de tiempos.

Por ejemplo, el tiempo de alquiler de una máquina perforadora debe ser más controlado que el tiempo de alquiler de una retroexcavadora convencional.

Por su parte secuenciar y determinar la relación entre las distintas actividades es el aspecto al que todos los profesionales dan menos importancia, (promedio de 3 y 4.00 respectivamente), sin embargo, los expertos en PHD son un poco más cuidadosos en controlar este aspecto.

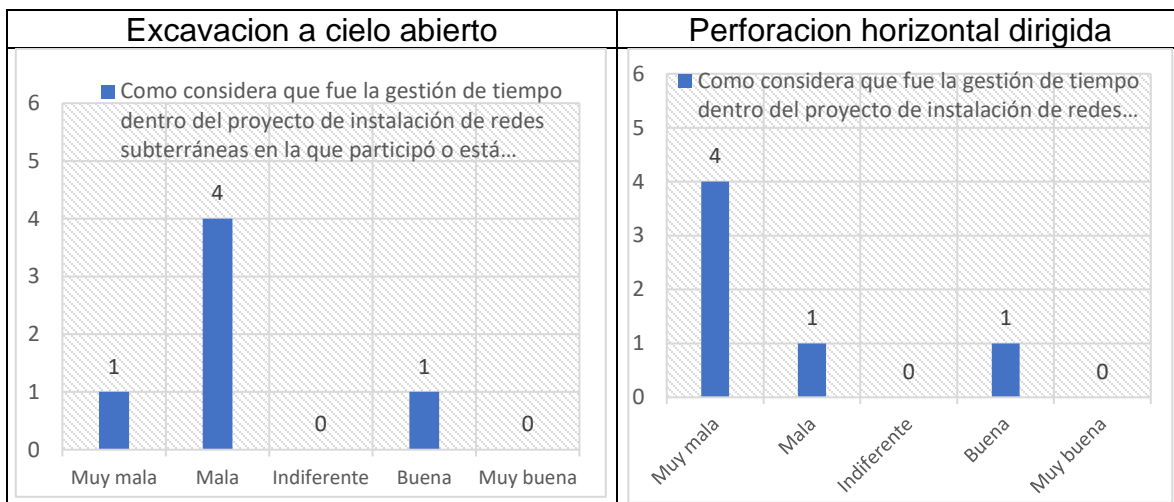
Figura 19. Importancia en obra del cumplimiento de la gestión de tiempo



Fuente: Los autores.

Consecuentemente con los resultados sobre aspectos generales referentes a la gestión de tiempo, en la figura anterior se observa que para los profesionales expertos en PHD tiene una tendencia marcada hacia ser muy importante con un promedio de 4.67 en las respuestas de que tan importante resultó el cronograma para seleccionar el método constructivo, por su parte para los expertos en ECA, también es importante, pero en menor medida, puesto que el promedio de respuestas en 4.00.

Figura 20 Eficacia de la gestión de tiempo en obra



Fuente: Los autores.

Contrariamente a lo que debería ser, a la pregunta concreta de ¿Cómo fue la gestión de tiempo dentro de su obra?, se observa que los profesionales en PHD la consideran entre mala y muy mala (promedio de respuestas 1.67), mientras que, aunque para los expertos en ECA también fue una gestión regular, en índice que califica este aspecto es un poco más alto (promedio de respuestas 2.17).

Estos resultados expresan que la convicción de los profesionales sobre gestionar correctamente el tiempo dentro de del proyecto, en ocasiones no es correspondido por el personal de obra. Es decir, que el hecho de que para los profesionales sea muy importante esta gestión, dentro de la obra muchas veces el personal no le da

tal importancia, ocasionando los retrasos que pueden ser tan frecuentes en PHD, como en ECA.

De acuerdo con xxx la capacitación y concientización en el cumplimiento eficiente de la una gestión de tiempo controlada, ayudaría en gran medida a reducir perdidas por este aspecto.

6.3.3 Gestión de costos.

Tabla 10 Resultados de encuesta para categoría de criterios de gestión de costos

No	PREGUNTA	CONTEO CIELO ABIERTO				CONTEO H. DIRIGIDA			PORCENTAJE DE RESPUESTAS C. ABIERTO				PORCENTAJE DE RESPUESTAS H. DIRIGIDA													
		Nada importante	No es importante	Indiferente	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Muy importante									
	Categoría 3. Aspectos importantes en la gestión de costos																									
19	Planear, gestionar y controlar los costos y el presupuesto	0	0	0	3	3	0	0	1	5	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	83,3%						
20	Estimar anticipadamente los recursos monetarios necesarios para completar el trabajo	0	0	1	4	1	0	0	0	4	2	0,0%	0,0%	16,7%	66,7%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%					
21	Individualizar costos para establecer una línea base del presupuesto autorizada	0	2	1	2	1	0	0	1	2	3	0,0%	33,3%	16,7%	33,3%	16,7%	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%					
22	Monitorear sus costos para gestionar los cambios a la línea base del presupuesto	1	4	0	1	0	0	0	0	4	2	16,7%	66,7%	0,0%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%					
23	Gestionar oportunamente sus recursos monetarios	0	0	0	3	3	0	0	0	0	6	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%					
24	El conocimiento de bases de datos financieras para garantizar el flujo de caja	0	3	2	1	0	0	0	0	4	2	0,0%	50,0%	33,3%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%					
25	Tener políticas, procedimientos y guías para estimar costos y elaborar presupuestos	0	2	2	2	0	0	0	0	2	4	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	66,7%					
26	Utilizar metodologías ágiles que mejoraran la estimación de costos	1	4	0	1	0	0	0	0	4	2	16,7%	66,7%	0,0%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%					
27	Realizar auditorías internas al presupuesto	1	4	0	1	0	0	0	1	4	1	16,7%	66,7%	0,0%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	66,7%	16,7%					
28	¿Qué tan importante resultó la gestión de costos para la elección del método de constructivo utilizado en la instalación de redes subterráneas, en proyecto que participó o está participando?	0	0	1	3	2	0	0	0	1	5	0,0%	0,0%	16,7%	50,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	83,3%					
		Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena	Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena	Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena										
29	Como considera que fue la gestión de tiempo dentro del proyecto de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando	3	2	0	1	0	1	5	0	0	0	50,0%	33,3%	0,0%	16,7%	0,0%	16,7%	83,3%	0,0%	0,0%	0,0%					

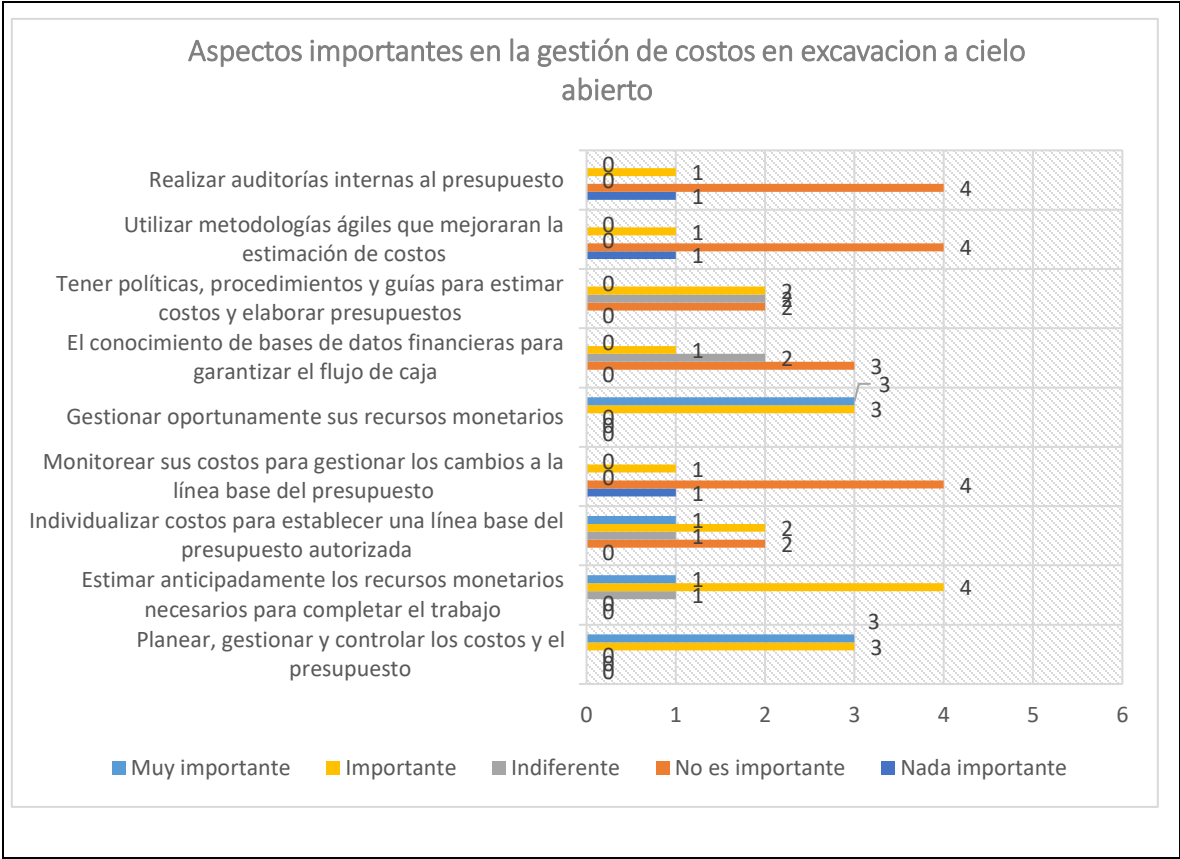
Fuente: Los autores.

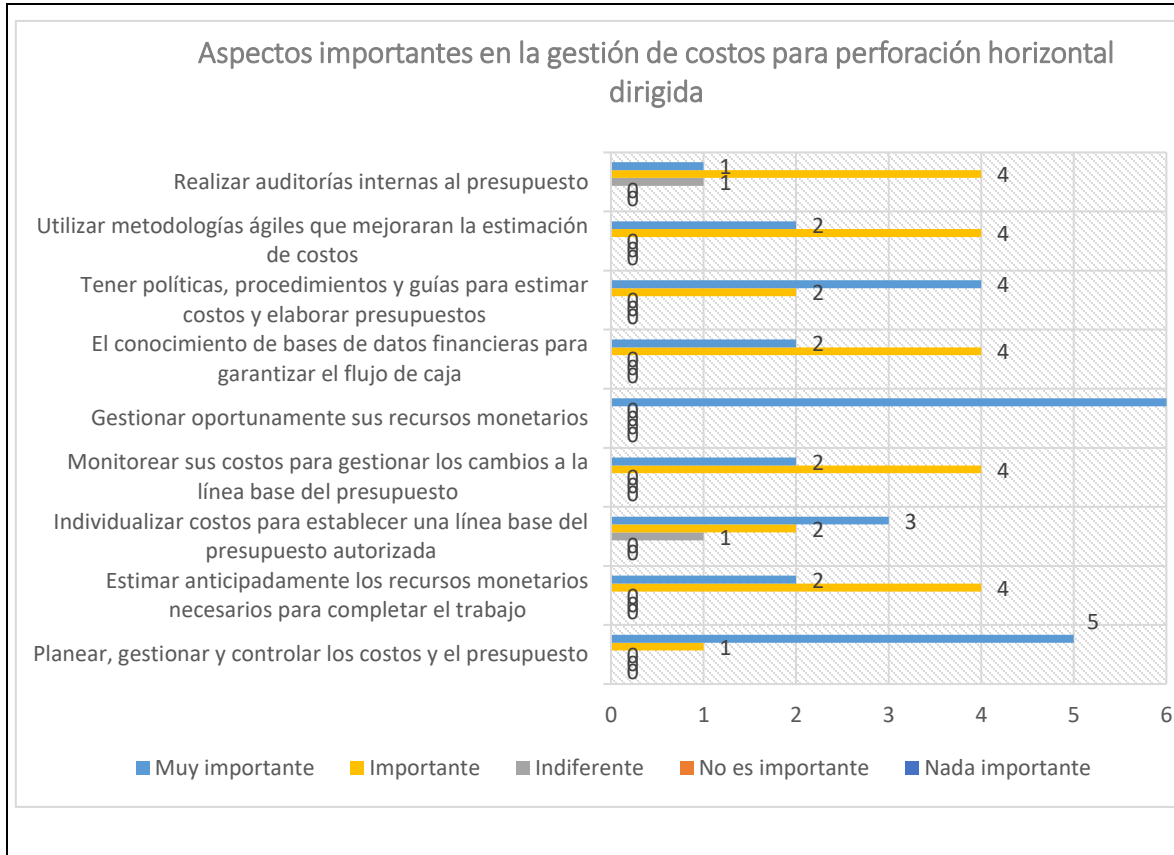
Como se puede ver en la tabla de respuestas anterior, gestionar oportunamente los recursos es el factor más importante, principalmente para los expertos en PHD, con un %100 de profesionales que consideran que este aspecto es muy importante, planear, gestionar y controlar los costos y el presupuesto es otro aspecto muy importante, aunque uno de los encuestados responde que es solamente importante.

Con respecto a hacer auditorías internas al presupuesto se encuentra una diferencia crucial, puesto que mientras que para los profesionales en PHD es importante, cumplir plenamente con este requisito, para los profesionales en ECA no es una condición determinante dentro de la obra.

Igual situación se encuentra al calificar la pregunta sobre la importancia de utilizar metodologías ágiles para mejorar la estimación de costos, puesto que mientras que para un %100 de los profesionales en PHD es un aspecto importante o muy importante, un % 66 de los expertos en ECA consideran que este aspecto no es importante dentro de la obra.

Figura 21 Aspectos importantes en la gestión de costos





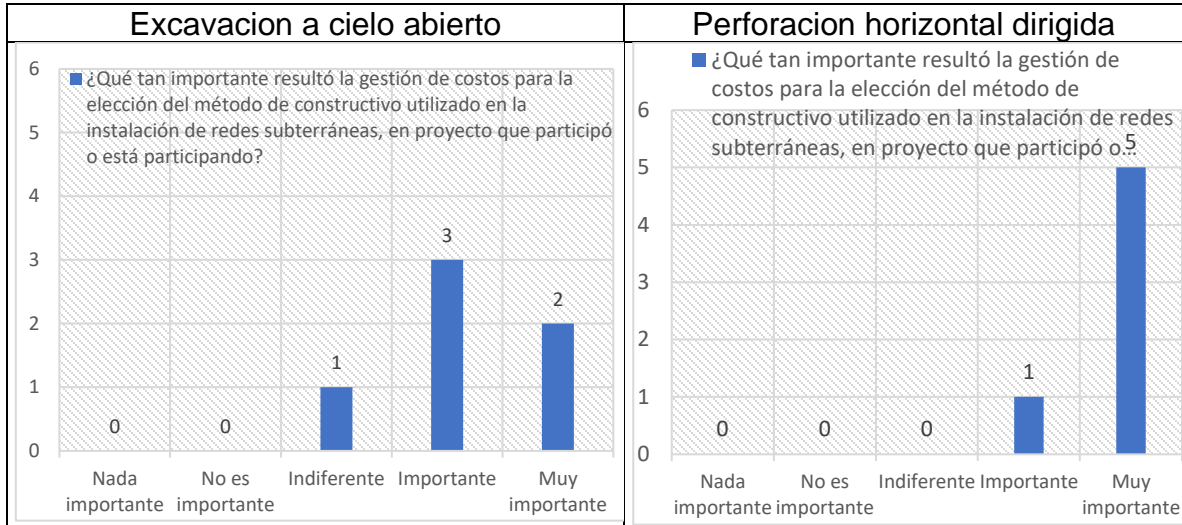
Fuente: Los autores.

Para corroborar lo que se dijo anteriormente, en la figura anterior se observa que para la pregunta sobre gestionar oportunamente los recursos monetarios es muy importante, (promedio = 5), para todos los expertos en PHD. Tener políticas, procedimientos y guías para estimar costos y elaborar presupuestos es otro ítem que concederán importante los expertos en PHD, (promedio= 4.67), así como la pregunta sobre la importancia de utilizar metodologías ágiles para mejorar la estimación de costos (promedio = 4.33) y sobre la importancia de realizar auditorías internas al presupuesto (promedio= 4.00). Contrariamente estos 3 últimos aspectos no son tan importantes para los expertos en ECA, quienes calificaron con promedios de 3.00, 2.17 y 2.17, respectivamente.

Para los expertos en ECA los más importante al respecto es tener una buena planificación, gestionar y controlar los costos del proyecto (promedio 4.5), lo que

parece lógico para todo proyecto, sin embargo, se debe observar que el promedio de importancia para este ítem también es más elevado en PHD (promedio = 4.83)

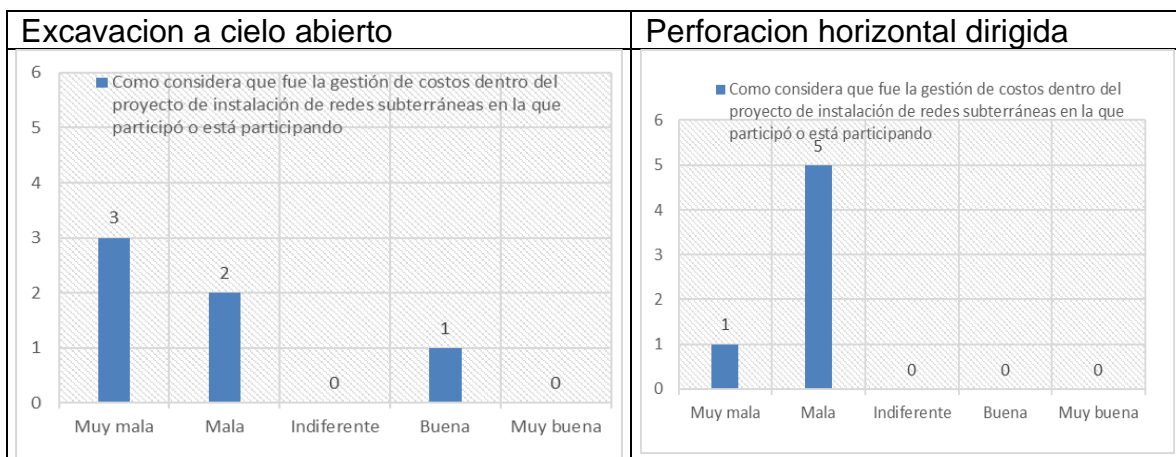
Figura 22. Importancia en obra del cumplimiento de la gestión de costos



Fuente: Los autores.

Con respecto a la pregunta sobre: ¿qué tan importante es la gestión de costos para la selección del método constructivo utilizado?, se observa que el valor promedio de la importancia que le dan los expertos en PHD (promedio=4.83), es más alto que el que le dan los expertos en ECA (promedio=4.17). lo que indica que el proceso de PHD es más exigente en el cumplimiento de una gestión eficiente de costos.

Figura 23 Eficacia de la gestión de costos en obra



Fuente: Los autores.

Independientemente de lo que para los expertos debe ser la gestión de costos dentro de la obra, al preguntar sobre la realidad de ¿Cómo se realizó la gestión de costos dentro de la última obra? La mayoría de los expertos responde que esta gestión no fue eficiente. (promedio = 1.83 para los 2 sistemas constructivos), respuesta que tiene su explicación en que la gestión de costos es un ítem que muchas veces no depende de la parte técnica de la obra, sino de la parte contable y de la eficiencia con que se articule la parte financiera y contable con la parte operativa dentro de la obra.

6.3.4 Gestión de riesgos.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los expertos frente a las preguntas relacionadas con la gestión de riesgos. Similarmente con la gestión de tiempo y con la gestión de costos se tienen un grupo de preguntas relacionadas con criterios de importancia que le dan los expertos a aspectos relacionados con esta gestión, una pregunta sobre la importancia general que tuvo la gestión de riesgos dentro de la obra y una última pregunta sobre lo mala o buena que fue esa gestión.

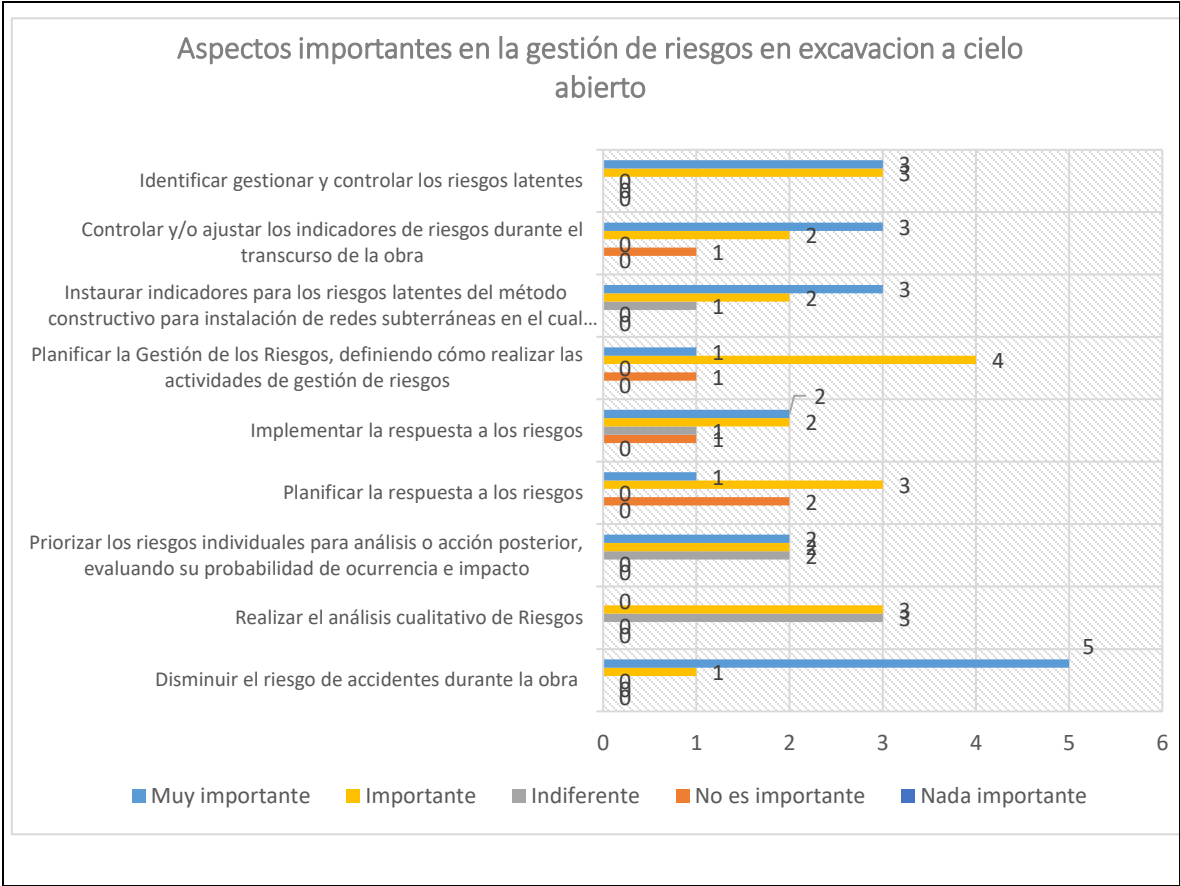
Tabla 11. Resultados de encuesta para categoría de criterios de gestión de riesgos

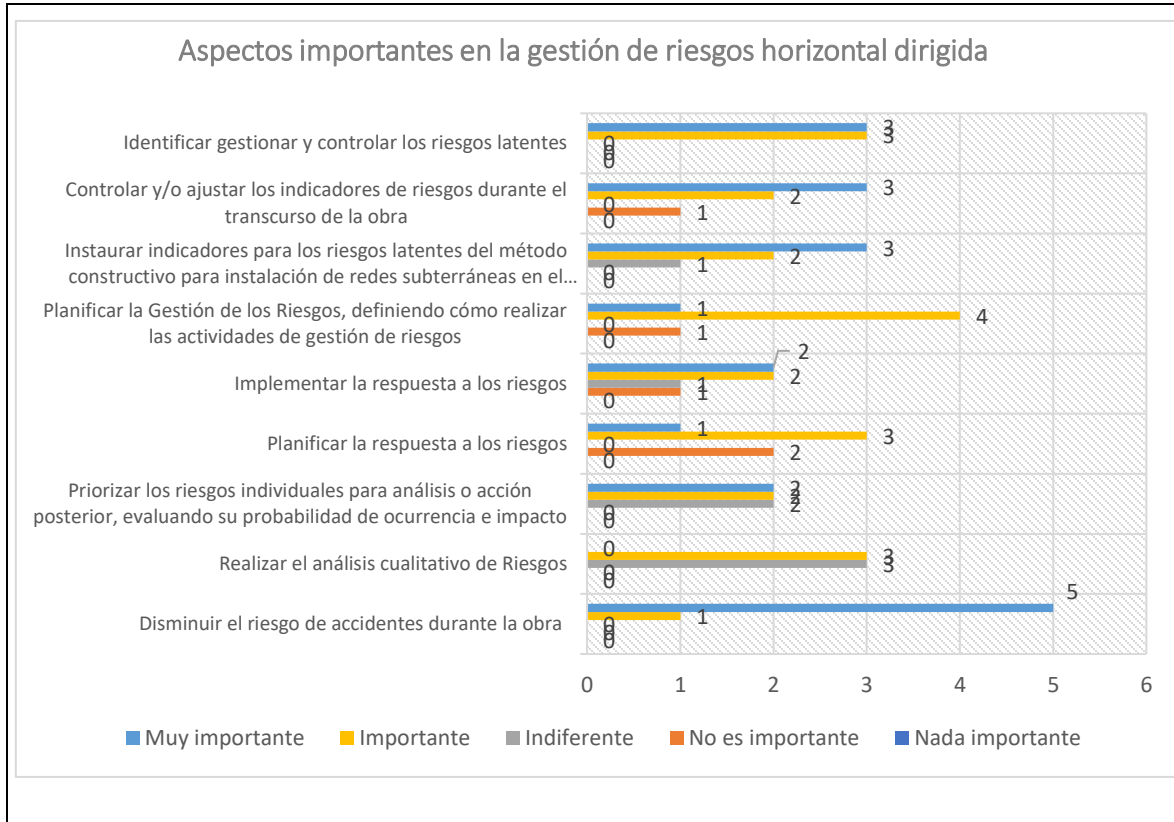
No	PREGUNTA	RESPUESTAS C. ABIERTO						RESPUESTAS H. DIRIGIDA						PORCENTAJE DE RESPUESTAS C. ABIERTO					PORCENTAJE DE RESPUESTAS H. DIRIGIDA				
		Encuestado 1	Encuestado 2	Encuestado 3	Encuestado 4	Encuestado 5	Encuestado 6	Encuestado 1	Encuestado 2	Encuestado 3	Encuestado 4	Encuestado 5	Encuestado 6	Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante	Nada importante	No es importante	Indiferente	Importante	Muy importante
30	Disminuir el riesgo de accidentes durante la obra	5	5	5	4	5	5	3	3	3	3	3	3	0,0%	0,0%	0,0%	16,7%	83,3%	0,0%	16,7%	33,3%	16,7%	33,3%
31	Realizar el análisis cualitativo de Riesgos	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	16,7%	0,0%	50,0%	33,3%	0,0%
32	Priorizar los riesgos individuales para análisis o acción posterior, evaluando su probabilidad de ocurrencia e impacto	5	4	5	3	3	4	3	3	3	3	3	3	0,0%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	33,3%	33,3%	16,7%	16,7%
33	Planificar la respuesta a los riesgos	2	4	4	2	4	5	3	3	3	3	3	3	0,0%	33,3%	0,0%	50,0%	16,7%	16,7%	50,0%	0,0%	33,3%	0,0%
34	Implementar la respuesta a los riesgos	5	3	4	2	4	5	3	3	3	3	3	3	0,0%	16,7%	16,7%	33,3%	33,3%	0,0%	16,7%	16,7%	33,3%	33,3%
35	Planificar la Gestión de los Riesgos, definiendo cómo realizar las actividades de gestión de riesgos	4	4	2	5	4	4	3	3	3	3	3	3	0,0%	16,7%	0,0%	66,7%	16,7%	33,3%	33,3%	0,0%	16,7%	16,7%
36	Instaurar indicadores para los riesgos latentes del método constructivo para instalación de redes subterráneas en el cual participo	4	5	3	4	5	5	3	3	3	3	3	3	0,0%	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%	0,0%	33,3%	16,7%	16,7%	33,3%
37	Controlar y/o ajustar los indicadores de riesgos durante el transcurso de la obra	4	5	2	4	5	5	3	3	3	3	3	3	0,0%	16,7%	0,0%	33,3%	50,0%	16,7%	50,0%	0,0%	16,7%	16,7%
38	Identificar gestionar y controlar los riesgos latentes	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%	33,3%	16,7%
39	¿Qué tan importante resultó la gestión de riesgos para la elección del método de constructivo utilizado en instalación de redes subterráneas, en proyecto que participó o está participando?	3	3	4	2	4	1	3	3	3	3	3	3	16,7%	16,7%	33,3%	33,3%	0,0%	33,3%	33,3%	16,7%	16,7%	0,0%
														Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena	Muy mala	Mala	Indiferente	Buena	Muy buena
40	¿Cómo considera que fue la gestión de riesgos dentro del proyecto de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando?	1	2	1	3	4	1	4	1	3	1	1	1	50,0%	16,7%	16,7%	16,7%	0,0%	50,0%	0,0%	16,7%	33,3%	0,0%

Fuente: Los autores.

Al examinar el porcentaje de expertos en ECA que consideran que reducir el riesgo de accidentes dentro de la obra es muy importante (83.3%) o importante (16.7%), y compáralo con las respuestas de los expertos en PHD, se analiza que los riesgos de accidente son un aspecto más latente dentro de los sistemas constructivos de ECA. De igual manera se observa que, a juicio de los expertos, esta gestión no fue tan importante como debería ser, habiendo sido menos importante dentro de los sistemas de PHD que dentro de los sistemas de ECA, y más grave aún es que para los expertos encuestados la gestión de riesgos en la última obra de instalación de ductos en la que participaron fue mala o muy mala, puesto que los porcentajes presentados así lo hacen concluir, como se discriminara en los siguientes histogramas de respuestas.

Figura 24 Aspectos importantes en la gestión de riesgos.



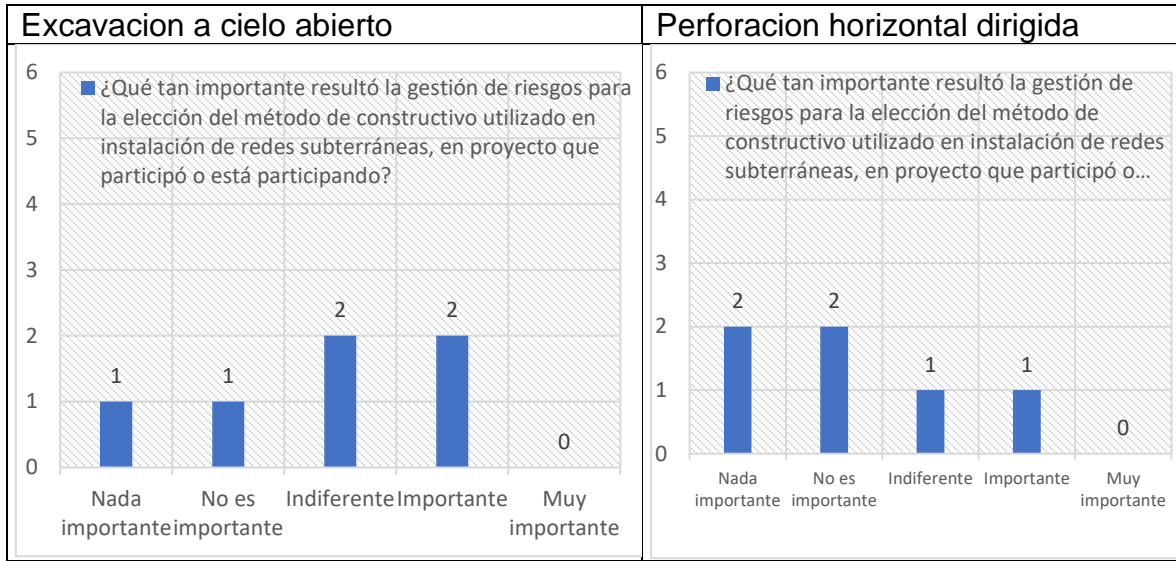


Fuente: Los autores.

De las gráficas anteriores se puede analizar que para los expertos en ECA, el aspecto de riesgos más importante es disminuir el número de accidentes durante la obra, (promedio = 4.83), mientras que para los expertos en PHD el aspecto más importante lo constituye implementar respuesta a los riesgos durante las obras (promedio 3.83). Estas respuestas se justifican en el hecho que por lo general los índices de accidentes son más altos en perforaciones a cielo abierto, donde hay peligros de derrumbes con personal presente dentro de las excavaciones. Este es un riesgo que no se corre dentro de la PHD y que es determinante en algunas exigencias de seguridad industrial para grandes contratos.

Tal vez por este motivo, la siguiente pregunta con promedio alto se refiere a la necesidad de identificar, gestionar y controlar los riesgos latentes durante los proyectos de ECA, mientras que este no es un aspecto tan importante para los expertos en PHD (promedio 3.67).

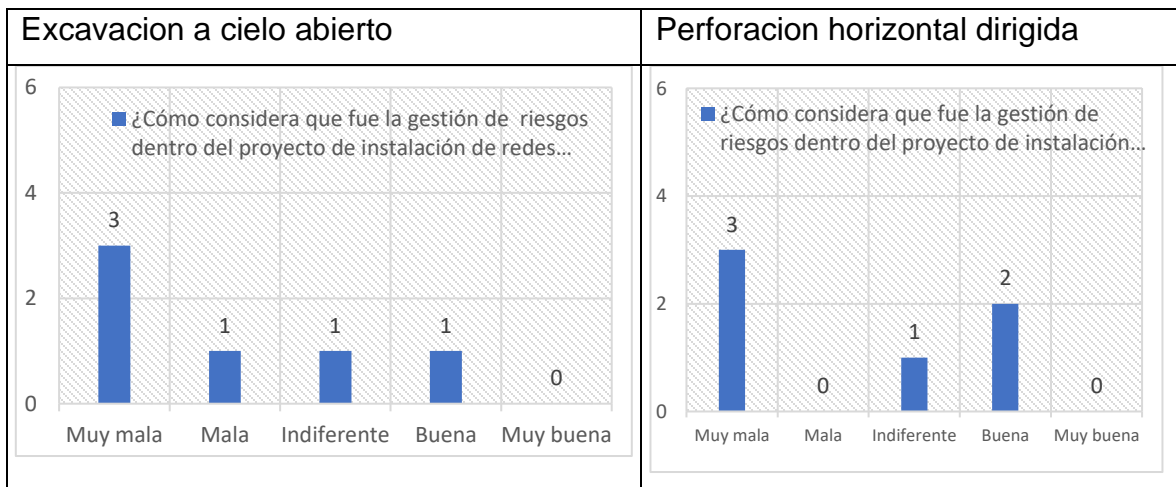
Figura 25. Importancia en obra del cumplimiento de la gestión de riesgos



Fuente: Los autores.

Con respecto a las respuestas sobre ¿Qué tan importante resultó la gestión de riesgos para la elección del método de constructivo utilizado?, se observan promedios muy similares en los dos sistemas constructivos (promedios de 2.83 y de 2.17 para ECA y PHD respectivamente), la superioridad en la importancia que dan los expertos en ECA a este aspecto radica que hay más posibilidad de gestión donde existen riesgos latentes que donde estos no son evidentes.

Figura 26 Eficacia de la gestión de riesgos en obra



Fuente: Los autores.

Al contrario de las respuestas sobre lo importante que debe ser la gestión de riesgos en obras de instalación de ductos utilizando sistemas de ECA y mediante PHD, al preguntar a los expertos en PHD sobre la forma como el personal asume la gestión de riesgos estos promedios de respuesta son mayores que los que se dan en los expertos de ECA, lo que indica que aunque los riesgos son menores en PHD, la gestión que se hace de ellos cuando se identifican es, en algún grado, superior a la que se hace en ECA.

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados de la encuesta realizada a expertos se puede corroborar lo expuesto por Javier Sánchez⁸⁴ por cuanto los expertos también resaltan la importancia, de tener que analizar ampliamente las características del terreno y de entorno, antes de tomar la decisión de la metodología e seguir en un proyecto de instalación subterránea de ductos.

Observando el mayor rango de importancia que los expertos en PHD, y en ECA le dan a las características técnicas del terreno, como densidad y humedad del material a extraer, son determinantes para establecer rendimientos y costos de los sistemas constructivos, como lo expresa Andrés Pinzón⁸⁵, aunque no son criterios definitivos para la selección del método e seguir en la instalación de ductos.

⁸⁴ SÁNCHEZ, Javier. Propuesto de términos de referencia para autorización ambiental de zonas de disposición de material de excavación ZODMES. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Tunja. 2018

⁸⁵ PINZÓN, Andrés. Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado en Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. 2011

Por lo general los proyectos en los que se contempla PHD son proyectos más técnicos, como lo menciona Sandra Rodríguez⁸⁶, en los que se puede necesitar equipos costosos y especializados, como cabezas de perforación, Micro tuneladora, sistema Auger Boring, entre muchas otras, por lo cual los profesionales dan mayor importancia a condiciones extremas que puedan impedir el uso de estos equipos, como son la dureza del material, o existencia de rocas y obstáculos subterráneos.

Igualmente, de acuerdo con las respuestas de los expertos de PHD, que son más rigurosos, en la importancia de la gerencia de proyectos, particularmente en las obras de PHD se hace necesaria una planeación, una gestión y un control más eficiente de los tiempos de obra que en los proyectos de ECA, estos procesos como lo expone Perak⁸⁷, como defensor de métodos de gerencia basados en la gestión del tiempo, deben empezar desde la planeación efectiva de la duración de las actividades a realizar, las cuales deben ser debidamente secuenciadas, monitoreadas y controladas para tomar medidas correctivas o preventivas dentro de transcurso de la obra cuando se requiera, generando sistemas productivos que se caracterizan porque hay una evolución que transforma los recursos disponibles, tal como lo expone Botero⁸⁸.

Según los resultados de la encuesta es claro que, para los expertos las condiciones que más perjudican a los proyectos de ECA son la profundidad de la excavación, la consistencia de los taludes y los posibles problemas con el tránsito de peatones o

⁸⁶ RODRÍGUEZ, Sandra. Matriz cuantitativa de selección de tecnología Trenchless para procesos de construcción de alcantarillado en Colombia. Universidad católica de Colombia. Bogotá, 2016

⁸⁷ PERAK, Jalan. Company profile. Timelapse. Malaysia.2019

⁸⁸ BOTERO, L, «Construcción sin perdidas, análisis de procesos y filosofía Lean Construction,» Lima, 2006

con la comunidad por aspectos sociales o socio ambientales. Estas condiciones exigen el estudio de alternativas menos invasivas como lo es la PHD.

La misma situación anterior ocurre con respecto a la gestión de costos, dado que, de acuerdo con los resultados de la encuesta, en los proyectos que utilizan PHD, la dirección de obra tiene más controlados la disponibilidad eficiente de recursos. Puesto que un atraso sería más crítico en procesos que son relativamente más técnicos y costosos.

En los resultados de la encuesta es evidente que las ECA debe ser mucho más cuidadosas con los índices de accidentalidad, puesto que sus trabajadores están continuamente expuestos a posibles deslizamientos del terreno, esta condición no es tan crítica. Lo que se evidencia en que el 100% de los profesionales, catalogan como muy importante reducir los índices de accidentalidad durante las obras

Sin embargo, los expertos se pueden determinar que, aunque para los directivos e ingenieros, tanto de proyectos de ECA, como de PHD resulta muy importante la planeación, la gestión y el control de tiempos y recurso para minimizar pérdidas ocasionadas por falta de materiales, maquinaria, mano de obra y herramientas; siendo estos factores definitivos en la selección del método para instalación de ductos, en la práctica las directivas no consideran que exista una conciencia ni una capacitación adecuada en la obras por parte del personal o subcontratistas para obedecer y ajustarse a las políticas criterios o guías de sistemas de calidad como lo son las metodologías ágiles o guías prácticas como las expuestas por la International Organization for Standardization⁸⁹.

De acuerdo esta organización, se puede gestionar correctamente el tiempo de un proyecto, planificando, definiendo, secuenciando y estimando la duración de cada actividad, De acuerdo al análisis comparativo y juicioso que se haga para definir

⁸⁹ PROYECT MANAGEMENT INSTITUTE A guide to the Project management body of knowledge. PMBOK guide. Sixth edition. 2017

estos aspectos de tiempo durante la obra se podrá seleccionar el mejor método a emplear, luego se desarrolla y se controla el cronograma más ajustado a las necesidades de cada proyecto.

Igualmente, en proyectos de ECA se da más importancia a el manejo de los riesgos relacionados con accidentalidad, puesto que con el seguimiento a indicadores eficientes se pueden prevenir perdidas por incidentes o accidentes dentro de las obras, sin embargo, los expertos no consideran que dentro de las obras en las que han participado se hayan llevado procesos eficientes y participativos que reduzcan la accidentalidad. Esta condición es menos critica en proyectos de PHD.

Dentro de las técnicas de gerencia de obra que pueden ayudar a minimizar las problemáticas que se presentan en las instalaciones subterráneas están el modelo justo a tiempo, que ofrece técnicas para disminuir tiempos y optimizar recursos de una forma fácil y controlada, también está la metodología Scrum, que es una metodología ágil diseñada para sistematizar los procesos, y se ha llevado exitosamente en varias empresas de construcción a nivel mundial.

Finalmente, el modelo que se presenta podría estar acorde con la guía PMBOK, que ayuda en la toma de decisiones gerenciales, mediante una secuencia suficientemente probada y detallada de actividades, dentro de las que la gestión de tiempo, la gestión de costos y la gestión de riesgos se muestran en los capítulos 6.7 y 11 de una forma amplia y bien explicada.

7. NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO.

Las nuevas áreas de estudio pueden profundizar en los otros aspectos del manual PMBOK como son

- El entorno en el que operan los proyectos
- El rol del director del proyecto
- Gestión de la integración del proyecto
- Gestión del alcance del proyecto
- Gestión de la calidad del proyecto
- Gestión de los recursos del proyecto
- Gestión de las comunicaciones del proyecto
- Gestión de las adquisiciones del proyecto

Gestión de los interesados del proyecto.

Estos aspectos junto con los estudiados en el presente documento componen una guía eficientemente amplia para la gestión directiva de las empresas de construcción.

8. CONCLUSIONES

Con el diagnóstico efectuado mediante la encuesta a expertos, se concluye que, tanto para los proyectos de ECA como los de PHD, es importante indagar sobre las condiciones técnicas más favorables, antes de la selección del método a emplear.

Con un buen análisis, de alternativas, como compromiso de la gerencia de obra, se puede encontrar el origen de cada pérdida de tiempo, sobrecosto o riesgo, derivado de la naturaleza misma de las actividades de obra, generando así las denominadas oportunidades de mejora, al seleccionar el método más eficiente y el mejor equipo de trabajo, con suficiente conciencia en la necesidad de aplicar los correspondientes correctivos a los errores del pasado

Como resultado del diagnóstico se pudo evidenciar que, en promedio para %100 de los expertos en PHD y para el 83% de los expertos en ECA, los aspectos técnicos como peso y densidad del material, condiciones hidrológicas, condiciones de humedad, la profundidad de los ductos, las pendientes y la erosibilidad del terreno, son aspectos muy importantes para la determinación del costo de las obras, sin embargo no consideran que estas condiciones técnicas exijan un método único de excavación, puesto que la selección es propia de cada proyecto y de un estudio conjunto de estas condiciones.

Un 100% de los expertos en PHD encuestados, consideran que son más determinantes para seleccionar el método de instalación de tuberías subterráneas, aspectos del entorno, como son los posibles problemas con la comunidad, el tránsito peatonal o vehicular y las condiciones de limpieza y ambientales que se requieren en algunas obras. Puesto que estas condiciones, en muchas ocasiones impiden la utilización del ECA, dejando las puertas abiertas para emprender PHD, como una

forma rápida, limpia, menos invasiva y más segura para los trabajadores, de realizar instalación de ductos subterráneos. Como lo expresa también Víctor Yepes⁹⁰

Igualmente, los expertos en PHD dan mayor importancia a los aspectos técnicos relacionados con las condiciones hidrológicas, con el régimen de lluvias en la zona y con las condiciones de humedad del terreno. La explicación a esta mayor importancia, radica en que cualquiera de estas condiciones técnicas, podría hacer inviable la selección de otro tipo de sistema constructivo. De esta forma, condiciones hidrológicas o humedades extremas del material, podrían impedir la ECA, dejando un amplio margen para seleccionar la PHD como método a seguir para la instalación de ductos.

Las falacias evidenciadas mediante las respuestas, adquiridas a través de la encuesta a expertos base de esta investigación, consisten principalmente en que adicional a que en muchas de las empresas se lleva a cabo el proceso de gestión de tiempos, costos y riesgos de manera deficiente, tampoco se cuenta en su gran mayoría con procesos de seguimiento a dichos procesos, lo cual se ve reflejado en la etapa de ejecución, cuando los cronogramas, los presupuestos y los panoramas de riesgos se quedan solamente como documentos de planeación colgados en la oficina del residente o del director de obra, porque en las obras no se cumplen..

En la mayoría de los casos la gestión de costos, tiempo y riesgos, tiempo , está contemplada dentro de las obligaciones logísticas de la gerencia de obra, es decir que este tiene a su cargo la logística del proceso que incluye la planeación, el desarrollo y el control de estos procesos, por lo que una buena gestión en estos aspectos debe ser contemplada desde el momento de la selección del método de instalación de redes subterráneas y la gerencia de obra deberá formar parte en las aclaraciones del cuadro comparativo analizando la alternativa más conveniente.

⁹⁰ YEPES, Víctor. Aspectos generales de la perforación horizontal dirigida. Curso postgrado, especialista en tecnología sin zanja. 2015, p. 2

Las herramientas gerenciales como guías o sistemas de calidad, ayudan a interpretación a la gerencia de obra eficiente de estas actividades, incluyendo la selección del método de instalación de redes subterráneas, puesto que se puede ver que, si se planifican y se estiman correctamente los costos, se tendrá un criterio de comparación para dicha selección, esta planificación se desarrollará en la obra, determinando un presupuesto, que debe ser controlado. Como aspecto general se deben gestionar correctamente las actividades que se contemplan en la figura anterior y se tendrá un ayuda muy valioso para seleccionar el método constructivo a seguir,

De acuerdo con la guía PMBOK, la gestión de riesgos ayuda en la toma de decisiones generales mediante una secuencia de actividades dentro de las que se encuentran: Planificar la gestión de riesgos, Identificar, realizar análisis estadístico y cuantitativo de los riesgos, para de esa forma tener la bases de como planear, implantar y monitorear la respuesta a los riesgos

La existencia de departamentos técnicos tales como calidad, planeación y control, en muchos de los casos, no tienen la suficiente autonomía o incidencia en la toma de decisiones para la planeación de proyectos, impidiendo con esto, la verdadera acción de su naturaleza por la cual es creada al interior de una empresa.

El crear un cronograma general por hitos sin la debida especificación de tiempos ejecutorios, un presupuesto que no se encuentre directamente ligado a una programación de insumos, o un panorama de riesgos que no corresponda a las condiciones diarias de vulnerabilidad de los procesos, hará que se pierda la objetividad de los procesos de control y la calidad de la obra, siendo más costoso para proyectos técnicos y más riesgoso para proyectos donde los trabajadores están más expuestos.

El conocimiento de las normas vigentes en el proceso de materialización de estos procesos por parte de las diferentes partes interesadas, será de vital importancia en el planteamiento alternativas preliminares y será en este punto donde se fijen las

directrices definitivas que permitan llevar a cabo la materialización de cronogramas y presupuestos reales y aterrizado a los entregables deseados.

La guía PMBOK contempla una serie de actividades que se podrían implementar como parte de la solución a la problemática identificada, puesto que su contenido facilita el diseño de un proceso único para la gestión de tiempos costos y riesgos, que junto con la implementación de las herramientas propias de estos procesos y la asignación de responsabilidades pueden mejorar continuamente las diferencias entre la programación y los presupuestos y la gestión eficiente de las mismas en las obras.

Es de anotar que el manual PMBOK es un documento articulado que además de la gestión de tiempo, costos y riesgos contempla varios numerales que ayudan a entender cómo se puede mejorar dentro de las decisiones gerenciales que se requieren a nivel de las empresas. Como son: el rol del director del proyecto, la gestión de la integración del proyecto, la gestión del alcance del proyecto, la gestión de la calidad del proyecto, la gestión de los recursos del proyecto y la gestión de las comunicaciones del proyecto, entre otros temas que se tratan en su amplio contenido. Sin embargo, por los alcances del proyecto se este documento se centra en los capítulos referentes a tiempos costos y riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Barojas, S. (Enero-Agosto de 2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud,. (S. d. Tabasco, Ed.) *Salud en Tabasco,, 11, (1-2), 333-338.*

Aguilar Barojas, S. (Enero-Agosto de 2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud,. (S. d. Tabasco, Ed.) *Salud en Tabasco,, 11, (1-2), 333-338.*

Robles, P., & Rojas, M. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada, 42-58.*

AGENCIA PRESIDENCIAL DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE COLOMBIA. Manual de formulación de proyectos de cooperación internacional. 2012

ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Documento de análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales para el distrito capital.2019

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. La estratificación en Bogotá. Bogotá.2015

AKKERMAN. Microtunneling systems. USA. s.f

AZIZ, R.«Applying lean thinking in construction and performance improvement, » Alexandria Engineering Journal, pp. 679-695, 2013

AZIZ, R «Applying lean thinking in construction and performance improvement, » Alexandria Engineering Journal, pp. 679-695, 2013

BECKER, J. « Developing Maturity Models for IT, » Business & Information Systems Engineering, pp. 213-222, 2009.

BENÍTEZ Lobato, p. 25, Análisis y mejora de los procedimientos de una empresa de ingeniería eléctrica, Sevilla: Ingenieros de la Organización Industrial de Sevilla,

BOTERO, L, «Construcción sin pérdidas, análisis de procesos y filosofía Lean Construction,» Lima, 2006

BOTERO, L. «Diez años de implementación Lean en Colombia, logros y detalles (Construcción sin pérdidas),» Universidad EAFIT, Medellín, 2014

CARRERA, Hugo. Perforación horizontal dirigida, en pasos de líneas de conducción de agua potable bajo vías de primer orden. Universidad central del Ecuador, carrera de ingeniería civil. Quito, 2017

CHAVEZ, D, CÁRDENAS, MORENO, C. AVILEZ, J. y Bernal, “Estudio comparativo técnico y económico del sistema de perforación horizontal ramming y el sistema convencional, estudio de caso”, Revista Ingeniería Solidaria, vol. 14, no. 24, pp. 16, enero 2018

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99 de 1993.

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 41 de 1993.

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1152 de 2007

DALEN VAN y W. Meyer, «Síntesis de Estrategia de la investigación descriptiva. En,» de Manual de técnica de la investigación educacional., México D.F, Paidós, 2013., pp. 123-143

DANE. Fuerza laboral y educación. Bogotá, 2019

DINERO. Congestión poblacional en Bogotá. Bogotá, 2015

DUQUE CALLEJAS, Juan Esteban. Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja en Colombia. Universidad EAFIT, Informe de tesis de posgrado en gestión de obra

GARCÍA, Jesús. Mecánica de suelos aplicada. Instituto tecnológico de Tijuana. México. 2015

GIRALDO, Hilder y OLAYA, Nixon. Estudio conceptual ferroviario proyectado en la intersección de la carrera 30 con línea del ferrocarril en la ciudad de Bogotá. Universidad Católica de Colombia

HERNÁNDEZ, R. (2010). Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill

KERGUELEN, Alejandro. Estabilidad de taludes de excavaciones a cielo abierto basada en análisis de confiabilidad. Universidad de los Andes. 2006

LEGUIZAMÓN, Yorly. Metodología para realizar perforación dirigida en la modalidad de pipe Ramming y túnel Linner. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2015

LIMÓN, D.«Measuring Lean Construction - A Performance measurement model supporting the implementation of Lean practices in the Norwegian construction industry., » Norwegian University of Science and Technology, New York, 2015

MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL, Resolución 2400 de 1979

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá.2014

MOSCOZO, Luis. Metodología para la ejecución y control de excavaciones en sótanos para edificios. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2011

OSALAN. Seguridad en los trabajos en zanjas. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales.2012

PINZÓN, Andrés. Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado en Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. 2011

PINZÓN, Jorge. Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Ingeniería

civil. 2011

PONS Achell, Introducción a Lean Construction, 1ª edición ed., Madrid: Fundación Laboral de la Construcción, 2014.

PROYECT MANAGEMENT INSTITUTE, A guide to the Project managemente boby of knowledge. PMBOK guide. Sixth edition. 2017

RAMOS, L, «Definición de optimización de recursos,» Gestipolis, Madrid, 2015

PIRES S. y CARRETERO, L. Gestión de la Cadena de Suministros., Madrid; McGraw Hill, 2007

ROBLES, P., & ROJAS, M. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. Revista Nebrija de Lingüística Aplicada, 42-58.

RODRÍGUEZ, «Mejoramamiento de la productividad en la construcción de obras con Lean Construction.,» Cultura abierta, Lima, 2012

RODRÍGUEZ, Sandra. Matriz cuantitativa de selección de tecnología Trenchless para procesos de construcción de alcantarillado en Colombia. Universidad católica de Colombia. Bogotá, 2016

SÁNCHEZ, Javier. Propuesto de términos de referencia para autorización ambiental de zonas de disposición de material de excavación ZODMES. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Tunja. 2018

SILVA, Héctor. Flujo de agua transitorio en excavaciones en suelo. Instituto de Ingeniería, UNAM. México. 2010

SUPERINTENDENCIA DE SOCIEDADES, «Comportamiento de las empresas más grandes del sector real, por ingresos operacionales,» Supersociedades, Delegatura de Asuntos Económicos y Contables, Grupo de Estudios Económicos y Financieros, Bogotá D.C., 201

SURA. Construcción segura. s.f

VILLAMIZAR, J. DUQUE, N. CÁCERES Y B. RAMÍREZ, «Informe sobre desempeño del sector construcción y edificaciones,» Grupo de Estudios Económicos y Financieros, Bogotá D.C., 2016.

YEPES, Víctor. Aspectos generales de la perforación horizontal dirigida. Curso postgrado

ZAPATERO, María Antonia. La densidad urbana, concepto y metodología. Madrid.
2017

ANEXOS

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS EN SISTEMA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA Y EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA
--	--

ANEXO A ENCUESTA A PROFESIONALES

La presente encuesta tiene como objetivo analizar las características gerenciales de la última obra de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando, en cuanto a su tiempo, costos y riesgos. Por favor leer detenidamente y contestar objetivamente, seleccionando una única respuesta en cada caso. Recuerde que el carácter de las respuestas es únicamente académico, buscando beneficiar el mejoramiento continuo de los procesos constructivos en la ciudad de Bogotá.

Datos del encuestado.

Perfil del profesional encuestado	Cargo:	
Tipo de proceso constructivo en la instalación de redes subterráneas en el que participa o participó	A cielo abierto	Perforación horizontal dirigida

CATEGORÍA 1, CRITERIOS TÉCNICOS PREDOMINANTES EN CADA MÉTODO CONSTRUCTIVO EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS.

Por favor en la celda correspondiente indique qué tan importantes fueron los siguientes criterios técnicos, para la selección del método constructivo de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando.

CATEGORÍA 1. CRITERIOS TÉCNICOS						
No	Criterios técnicos, para la selección del método constructivo de instalación de redes subterráneas	Muy importante	Importante	Indiferente	No es importante	Nada importante
1	El peso y densidad del material					
2	Condiciones hidrológicas, régimen de lluvias de la zona					
3	Condiciones de humedad del terreno					
4	Profundidad de los ductos					
5	Pendientes altas, o muy variables					
6	Posibles problemas con la comunidad					
7	El tránsito vehicular					
8	El tránsito de peatones					
9	La inseguridad de la zona					
10	Condiciones ambientales que se exigen en la zona					

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS EN SISTEMA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA Y EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA
--	--

CATEGORÍA 2, ASPECTOS DE GESTIÓN DE TIEMPO PREDOMINANTES EN EL MÉTODO CONSTRUCTIVO EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS.

Por favor en la celda correspondiente indique qué tan importante es o fue para el proyecto, cada uno de los siguientes aspectos de gestión del tiempo.

CATEGORÍA 2. CRITERIOS IMPORTANTES EN LA GESTIÓN DEL TIEMPO						
No	Aspectos importantes en la gestión del tiempo	Muy importante	Importante	Indiferente	No es importante	Nada importante
11	Planear, gestionar y controlar el cronograma de obra					
12	Definir previamente las actividades y controlar su duración					
13	Secuenciar las actividades y determinar las relaciones entre las distintas actividades					
14	Estimar el tiempo necesario para cada actividad					
15	Documentar la planeación, la ejecución y el control del tiempo para cada actividad					
16	Monitorear el estado del proyecto para actualizar el cronograma y gestionar cambios a su línea base					
17	¿Qué tan importante fue el cumplimiento del cronograma y la gestión del tiempo para la elección del método de constructivo utilizado en la instalación de redes subterráneas, en proyecto que participó o está participando?					
		Muy buena	Buena	Indiferente	Mala	Muy mala
18	Como considera que fue la gestión de tiempo dentro del proyecto de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando					

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS EN SISTEMA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA Y EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA
--	--

CATEGORÍA 3, ASPECTOS DE GESTIÓN DE COSTOS PREDOMINANTES EN EL MÉTODO CONSTRUCTIVO EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS.

Por favor en la celda correspondiente indique qué tan importante es o fue para el proyecto, cada uno de los siguientes aspectos de gestión de costos

CATEGORÍA 3. CRITERIOS IMPORTANTES EN LA GESTIÓN DE COSTOS						
No	Aspectos importantes en la gestión de costos	Muy importante	Importante	Indiferente	No es importante	Nada importante
19	Planear, gestionar y controlar los costos y el presupuesto					
20	Estimar anticipadamente los recursos monetarios necesarios para completar el trabajo					
21	Individualizar costos para establecer una línea base del presupuesto autorizada					
22	Monitorear sus costos para gestionar los cambios a la línea base del presupuesto					
23	Gestionar oportunamente sus recursos monetarios					
24	El conocimiento de bases de datos financieras para garantizar el flujo de caja					
25	Tener políticas, procedimientos y guías para estimar costos y elaborar presupuestos					
26	Utilizar metodologías ágiles que mejoraran la estimación de costos					
27	Realizar auditorías internas al presupuesto					
28	¿Qué tan importante fue la gestión de costos para la elección del método de constructivo utilizado en la instalación de redes subterráneas, en proyecto que participó o está participando?					
		Muy buena	Buena	Indiferente	Mala	Muy mala
29	¿Cómo considera que fue la gestión de costos dentro del proyecto de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando?					

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS EN SISTEMA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA Y EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO, EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA
--	--

CATEGORÍA 4, ASPECTOS DE GESTIÓN DE RIESGOS PREDOMINANTES EN EL MÉTODO CONSTRUCTIVO EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS.

Por favor en la celda correspondiente indique qué tan importante es o fue para el proyecto, cada uno de los siguientes aspectos de gestión de riesgos

CATEGORÍA 4. CRITERIOS IMPORTANTES EN LA GESTIÓN DE RIESGOS						
No	Aspectos importantes en la gestión de riesgos	Muy importante	Importante	Indiferente	No es importante	Nada importante
30	Disminuir el riesgo de accidentes durante la obra					
31	Realizar el análisis cualitativo de Riesgos					
32	Priorizar los riesgos individuales para análisis o acción posterior, evaluando su probabilidad de ocurrencia e impacto					
33	Planificar la respuesta a los riesgos					
34	Implementar la respuesta a los riesgos					
35	Planificar la Gestión de los Riesgos, definiendo cómo realizar las actividades de gestión de riesgos					
36	Instaurar indicadores para los riesgos latentes del método constructivo para instalación de redes subterráneas en el cual participo					
37	Controlar y/o ajustar os indicadores de riesgos durante el transcurso de la obra					
38	Identificar gestionar y controlar los riesgos latentes					
39	¿Qué tan importante fue la gestión de riesgos para la elección del método de constructivo utilizado en instalación de redes subterráneas, en proyecto que participó o está participando?					
		Muy buena	Buena	Indiferente	Mala	Muy mala
40	¿Cómo considera que fue la gestión de riesgos dentro del proyecto de instalación de redes subterráneas en la que participó o está participando?					

Muchas gracias

ANEXO B FORMATO PARA JUICIO DE EXPERTOS

Categoría	Criterio a evaluar								Observaciones
	Suficiencia		Claridad		Coherencia		Relevancia		
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	
1 Criterios técnicos									
2 Gestión de tiempo									
3 Gestión de costos									
4 Gestión del riesgo									
Aspectos Generales							SI	NO	Observaciones
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario									
las preguntas permiten el logro de los objetivos									
Las preguntas están distribuidas en forma lógica									
APLICABLE					NO APLICABLE				

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GERENCIA DE OBRAS EN SISTEMA
DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA Y EXCAVACIÓN A CIELO
ABIERTO, EN LA INSTALACIÓN DE REDES SUBTERRÁNEAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ANEXO C ENCUESTAS DILIGENCIADAS