ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA PARA UN GRUPO DE ESTRUCTURAS DEL ENTORNO URBANO QUE PUEDEN VERSE AFECTADAS POR EL USO DE TECNOLOGÍA TRENCHLESS EN UN SECTOR DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ D.C.

María Angélica Gómez Rozo
Camilo Andrés Benítez Pineda

Vo Bo
23-08-2021
Jorge Arturo Pineda Jaime

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad tecnológica
Ingeniería Civil
Bogotá D.C.
2021

ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA PARA UN GRUPO DE ESTRUCTURAS DEL ENTORNO URBANO QUE PUEDEN VERSE AFECTADAS POR EL USO DE TECNOLOGÍA TRENCHLESS EN UN SECTOR DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ D.C.

María Angélica Gómez Rozo
Camilo Andrés Benítez Pineda

Monografía para optar por el título de
INGENIEROS CIVILES

Tutor
Jorge Arturo Pineda Jaimes
Magíster en Ingeniería Civil
Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad tecnológica
Ingeniería Civil
Bogotá D.C.
2021

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del director del proyecto

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá, agosto de 2021.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico a mi familia, quienes siempre estuvieron dispuestos a apoyarme en todo momento, siendo mi mayor motor e inspiración, a mi mamá por ser la que siempre creyó en mí y supo que lo lograría, por su apoyo incondicional, a mi hermana por animarme y ver mi proceso, a Cristian por ser quien me ayudó cada día a seguir adelante para cumplir todas mis metas, por creer firmemente en mí y sentirse orgulloso de la persona que soy.

MARÍA ANGÉLICA GÓMEZ ROZO

Dedico este trabajo de grado a la persona más importante en mi vida mi madre Cecilia Pineda, quien es mi mayor admiración y quien me ha incentivado a ser mejor cada día, a mis hermanos quienes con su esfuerzo y cariño han sido los mejores compañeros de vida y por último a la perseverancia que me ha caracterizado en todas las etapas de mi vida.

CAMILO ANDRÉS BENÍTEZ PINEDA

AGRADECIMIENTOS

A nuestra Alma Mater, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por permitir formarnos profesional y personalmente como Ingenieros Civiles, por brindarnos la oportunidad de abrir nuestra mente a nuevos retos y ser parte integral de nuestra vida en esta etapa académica.

A los docentes que a lo largo de nuestro proceso de formación en la universidad fomentaron en nosotros la investigación, el pensamiento crítico, la creatividad y el amor por nuestra profesión y sobre todo por habernos brindado parte de sus conocimientos para nuestro crecimiento profesional.

Al Ingeniero Jorge Arturo Pineda Jaimes, por ser nuestro director de proyecto de grado e igualmente agradecer su asesoría durante este tiempo y el conocimiento brindado para poder llevar a cabo el presente proyecto.

Finalmente, a Dios por darnos la oportunidad de estudiar esta gran profesión, a nuestras madres y hermanos por ser el apoyo incondicional en tantos años, a nuestros compañeros y amigos de la universidad, quienes fueron parte importante de este proceso y de la meta cumplida, es un logro de todos.

RESUMEN

La ingeniería civil es determinante para el desarrollo propicio del territorio pues implica procesos de planeación y ejecución de proyectos con miras al avance social, económico y tecnológico de la población y del territorio. Por lo tanto, los proyectos de infraestructura civil en entornos urbanos ya asentados pueden llegar a ser arduos durante su ejecución pues tienen implicaciones tanto en los bienes materiales como en el componente social, estas implicaciones dependen en gran parte de los elementos expuestos, condiciones geológicas y geotécnicas de la zona, métodos constructivos empleados, materiales utilizados, entre otros.

De allí surge la necesidad de realizar una adecuada planeación y ejecución de nuevos proyectos o mejoras que impliquen ser realizados en zonas urbanas ya establecidas, evitando grandes afectaciones a los componentes del entorno antes mencionados, esto puede lograrse realizando una correcta caracterización de los elementos urbanos comprometidos (estructuras verticales, vías, senderos, redes de servicios públicos, entre otros) estableciendo el riesgo al cual están expuestos, la vulnerabilidad propia de los elementos y la resiliencia que tienen frente a la acción de un evento inusual provocado por intervenciones antropogénicas derivadas de proyectos de ingeniería civil. Actualmente se ha extendido el uso de tecnologías poco invasivas para proyectos de construcción, cambio o traslado de redes de acueducto y alcantarillado como es la metodología Trenchless o sin zanja, que consiste en la construcción de un túnel a partir de un mecanismo el cual perfora el suelo sin necesidad de la apertura de zanjas, que puede significar un riesgo mayor de desplazamientos verticales o asentamientos mayores en superficie, mediante esta perforación se realiza el hincado de la tubería que posteriormente se utilizara para el servicio de acueducto o alcantarillado. Sin embargo, es importante evaluar los desplazamientos o subsidencias verticales que se pueden generar debido al uso de esta tecnología.

De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo busca realizar una primera aproximación a la medición del índice de resiliencia del entorno urbano compuesto por elementos expuestos que se encuentran alrededor de dos interferencias previamente seleccionadas en las cuales se hará uso de la tecnología trenchless o sin zanja para el traslado de redes de alcantarillado pluvial y sanitario, en el marco de la construcción de la primera línea del metro de Bogotá, esta medición se realiza a partir de valores cuantitativos derivados de la determinación de los componentes de la resiliencia (Robustez,

Redundancia, Capacidad de Gestión, Recuperación) cuyos valores dependen de características técnicas, geotécnicas, tipología, criterios de la NSR-10 y otros aspectos que son necesarios para su determinación.

ABSTRACT

Civil engineering is a determining factor for the proper development of the territory, since it involves planning and execution processes for the social, economic and technological advancement of the population and the territory. Therefore, civil infrastructure projects in urban environments already settled can become arduous during their execution because they have implications both in the material assets and in the social component, these implications depend largely on the exposed elements, geological and geotechnical conditions of the area, construction methods used, materials Used, among others.

Hence the need for proper planning and execution of new projects or improvements to be carried out in established urban areas, avoiding major impacts on the aforementioned components of the environment, This can be achieved by carrying out a correct characterization of the urban elements involved (vertical structures, roads, paths, public service networks, among others) establishing the risk to which they are exposed, the vulnerability of the elements themselves and their resilience to the action of an unusual event caused by anthropogenic interventions derived from civil engineering projects.

Currently, the use of minimally invasive technologies for construction projects, changes or relocation of water and sewerage networks is widespread, such as the Trenchless methodology, which consists of the construction of a tunnel from a mechanism that perforates the ground without the need to open trenches, which can mean a greater risk of vertical displacements or major settlements on the surface, by means of this perforation, the pipe that will later be used for the water or sewerage service is driven. However, it is important to evaluate the vertical displacements or subsidence that can be generated due to the use of this technology.

According to the above, this work seeks to make a first approximation to the measurement of the resilience index of the urban environment composed of exposed elements found around two previously selected interferences in which trenchless technology will be used for the transfer of

storm and sanitary sewerage networks, This measurement is based on quantitative values derived from the determination of the resilience components (Robustness, Redundancy, Resourcefulness, Recovery) whose values depend on technical and geotechnical characteristics, typology, NSR-10 criteria and other aspects necessary for their determination.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN....3
ABSTRACT....4
1. INTRODUCCIÓN. 19
2. OBJETIVOS....23
2.1. Objetivo principal. 23
2.2. Objetivos específicos. 23
3. MARCO DE REFERENCIA O CONCEPTUAL. 24
3.1. La resiliencia en las construcciones y centros urbanos. 24
3.2. Resiliencia en diferentes áreas de conocimiento. 27
3.3. Resiliencia y sus componentes. 28
3.4. El riesgo y cómo se asocia con la resiliencia. 32
3.5. Tecnología sin zanja por hincado de tubería. 35
3.6. Tecnología sin zanja en Colombia. 39
3.7. Estabilidad en excavaciones. 40
3.8. Criterios de construcción y evaluación de edificaciones según NSR-10. 45
3.9. Método de elementos finitos. 46
3.10. Políticas públicas de la gestión del riesgo en Bogotá. 48
4. MARCO METODOLÓGICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA EN ENTORNOS URBANOS. 51
4.1. Introducción. 51
4.2. Estimación del índice de resiliencia. 51
4.3. Determinación criterio de robustez. 55
Evaluación de irregularidades en planta de edificación típica. 55
Evaluación de irregularidades en altura en edificación típica. 57
Evaluación de deflexiones en el pavimento existente. 58
Evaluación de límites de consistencia de la estructura peatonal. 59
Evaluación de asentamientos en edificaciones. 60
Evaluación de deflexiones en redes de servicios. 61
Evaluación de fragilidad de edificaciones según su tipología y altura. 62

Fragilidad de vías 63
Fragilidad de redes de servicios. 63
Ecuación general de la robustez. 65
4.4. Determinación criterio de redundancia. 66
Evaluación de vías alternas. 66
Evaluación de grupo de uso de edificaciones. 67
Evaluación de redundancia en construcciones típicas. 68
Ecuación general de redundancia. 69
4.5. Determinación de la capacidad de gestión. 70
Evaluación de importancia de acuerdo a actividades económicas predominantes. 71
Evaluación de políticas de gestión de riesgo por parte del IDIGER. 71
Evaluación de la articulación de las políticas de gestión de riesgo del IDIGER y otros entes. 72
Ecuación general de capacidad de gestión. 73
4.6. Determinación criterio de Recuperación. 74
Evaluación de actividades económicas. 74
Evaluación de la articulación de las políticas de gestión de riesgo del IDIGER y otros entes. 75
Evaluación de políticas de gestión de riesgo por parte del IDIGER. 76
Ecuación general de capacidad de recuperación. 77
4.7. Resumen 78
5. LOCALIZACIÓN DE LAS INTERFERENCIAS SELECCIONADAS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ENTORNO URBANO ESTABLECIDOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA. 80
5.1. Introducción 80
5.2. Localización de las interferencias seleccionadas para el análisis 81
5.3. Caracterización geotécnica de las intersecciones. 84
5.3.1. Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0 – Consorcio Metro Bog. 84
5.3.2. Documento Estudio geotécnico tramo B1 consorcio metro acueducto 528. 88
5.3.3. Consolidación de perfil estratigrafico para interferencias B1-44 y B1-36. 89
5.4. Caracterización geológica y microzonificación sísmica de la zona. 90
5.5. Área de influencia de las interferencias seleccionadas. 91

5.6. Pavimentos y senderos peatonales existentes. 93
5.6.1. Estudio geotécnico. 93
5.6.2. Espesores de estructura de pavimento metodología GPR. 97
5.6.3. Normativa IDU. 100
5.6.4. Base y sub base granular para vías vehiculares. 101
5.6.5. Sub base granular para zonas peatonales. 102
5.6.7 Estructura de pavimento y andenes. 104
5.7. Edificación típica de la zona. 104
5.7.1. Descripción de principales características de las UPZ. 104
5.7.2. Sistema estructural según NSR-10 y características constructivas principales. 108
5.8. Redes de servicios públicos principales en la zona. 112
5.8.1. Redes de servicio de alcantarillado 112
5.8.2. Redes de servicio de acueducto. 113
5.8.3. Redes de telecomunicaciones 114
5.8.4. Redes de gas 115
5.8.5. Redes de energía 116
6. ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE LA RESILIENCIA PARA LAS INTERFERENCIAS ANALIZADAS. 118
6.1. Estimación de la robustez. 121
Irregularidades en planta y altura. 121
Deflexión en pavimento existente. 123
Límites de consistencia. 128
Asentamientos en edificaciones. 129
Deflexiones en redes. 129
Fragilidad en edificaciones. 131
Fragilidad en vías. 131
Fragilidad en redes. 131
6.2. Estimación de la redundancia. 134
Vías alternas. 135
Grupo de uso edificaciones. 136
Redundancia estructural. 136

6.3. Estimación de Capacidad de gestión. 137
6.4. Estimación Capacidad de recuperación. 139
7. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LAS INTERFERENCIAS ESTUDIADAS. 141
8. CONCLUSIONES 152
9. RECOMENDACIONES 155
10. LIMITACIONES 156
11. BIBLIOGRAFÍA 157

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de excavaciones. 41
Tabla 2. Ponderación parámetro de irregularidades en planta. 56
Tabla 3. Ponderación parámetro de irregularidades en altura. 57
Tabla 4. Ponderación de deflexiones en pavimento. 59
Tabla 5. Ponderación rigidez de senderos peatonales. 60
Tabla 6. Ponderación de deformaciones en construcciones. 61
Tabla 7. Ponderación para deflexión de redes de servicio. 62
Tabla 8. Ponderación de la fragilidad de las edificaciones. 63
Tabla 9. Fragilidad de redes de acueducto. 64
Tabla 10. Fragilidad para redes de alcantarillado. 64
Tabla 11. Evaluación de vías alternas 66
Tabla 12. Grupo de uso de edificaciones 67
Tabla 13. Grupos de clasificación según NSR-10 68
Tabla 14. Redundancia de edificaciones. 69
Tabla 15. Actividades económicas predominantes 71
Tabla 16. Políticas de gestión de riesgo. 72
Tabla 17. Articulación de políticas 73
Tabla 18. Actividades económicas para capacidad de recuperación. 75
Tabla 19. Articulación de políticas en capacidad de recuperación. 76
Tabla 20. Políticas de gestión de riesgo en recuperación. 76
Tabla 21. Perforaciones localizadas en la intersección de estudio. 85
Tabla 22. Parámetros geotécnicos en la intersección de estudio. 86
Tabla 23. Estratigrafía para tramo 2.1 87
Tabla 24. Parámetros de resistencia estratigrafía tramo 2.1 88
Tabla 25. Parámetros de resistencia consorcio metro acueducto**.** 88
Tabla 26. Parámetros geotécnicos interferencia B1-44 89
Tabla 27. Parámetros geotécnicos interferencia B1-36 89
Tabla 28. Descripción de zonas de respuesta sísmica**.** 90
Tabla 29. Exploraciones realizadas. 96

Tabla 30. Espesores de estructura pavimento calzada izquierda. 97
Tabla 31. Espesores de estructura pavimento calzada derecha 98
Tabla 32. Categorías de tránsito**.** 101
Tabla 33. Características Base y Sub base granular. 101
Tabla 34. Tipo de subrasante según CBR 102
Tabla 35. Clasificación de edificaciones. 111
Tabla 36. Irregularidades en planta 121
Tabla 37. Irregularidades en altura. 122
Tabla 38. Propiedades geotécnicas pavimento 124
Tabla 39. Evaluación deflexión en pavimentos interferencia 45-46. 127
Tabla 40. Evaluación deflexión en pavimentos interferencia 36 127
Tabla 41. Robustez interferencia B1 44 45 46 133
Tabla 42. Robustez interferencia B1 36 134
Tabla 43. Desvíos sentido occidente-oriente 135
Tabla 44. Desvíos sentido oriente-occidente 135
Tabla 45. Redundancia interferencia B1 44 45 46. 137
Tabla 46. Redundancia interferencia B1-36 137
Tabla 47. Capacidad de gestión interferencia B1 44 45 46 138
Tabla 48. Capacidad de gestión interferencia B1 36 138
Tabla 49. Capacidad de recuperación interferencia B1 44 45 46 139
Tabla 50. Capacidad de recuperación interferencia B1 36 140
Tabla 51. Índice de resiliencia para la interferencia B1-44-45-46 141
Tabla 52. Índice de resiliencia para la interferencia B1-36 141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura para sub rasante tipo S1.....103
Figura 2. Estructura para sub rasante tipo S2.....103
Figura 3. Estructura para pavimento y andén.....104
Figura 4. Modelo longitudinal interferencia B1 44 45 46.....119
Figura 5. Modelo transversal interferencia B1 44 45 46.....120
Figura 6. Modelo longitudinal interferencia B1 36.....120
Figura 7. Modelo transversal interferencia B1 36.....120
Figura 8. Modelo simulación pavimento. 124
Figura 9. Resultado modelación desplazamientos verticales en superficie interferencia B1 44 45 46.....126
Figura 10. Resultado modelación desplazamientos verticales en superficie interferencia B1 36 127

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Imágenes representativas del área de influencia.....92
Ilustración 2. Exploraciones realizadas. 94
Ilustración 3. Fotografías edificaciones.....109

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación del riesgo.....33
Ecuación 2. Índice de resiliencia.....51
Ecuación 3. Resiliencia en tiempo 1 53
Ecuación 4. Resiliencia en el tiempo 2.....54
Ecuación 5. Fragilidad de la vía respecto a su ancho.....63
Ecuación 6. Ecuación general criterio de robustez.....65
Ecuación 7. Ecuación general redundancia**.**.....70
Ecuación 8. Ecuación general capacidad de gestión. 73

Ecuación 9. Ecuación capacidad de recuperación. 77

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Comparación de características**.** 102
Gráfico 2. Deformaciones en superficie por proceso de tunelación interferencia B1 44 45 46... 125
Gráfico 3. Deformaciones en superficie por proceso de tunelación interferencia B1 36..... 126
Gráfico 4. Comparación propiedades senderos peatonales. 128
Gráfico 5. Influencia de componentes de la resiliencia interferencia B1 44 45 46..... 142
Gráfico 6. Influencia de componentes de la resiliencia interferencia B1 36..... 143
Gráfico 7. Desplazamientos en superficie interferencia B1 36 144
Gráfico 8. Desplazamientos en superficie interferencia B1 36 145
Gráfico 9. Comparación deformaciones**.** 145
Gráfico 10. Proceso completo B1 36..... 146
Gráfico 11. Proceso completo B1 44 45 46..... 147

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Conexión entre los componentes de una estructura que participan en la resiliencia. ..25
Imagen 2. Conexión entre los componentes de una comunidad que participan en la resiliencia. 25
Imagen 3. División de un sistema urbano. 26
Imagen 4. Resiliencia en la ingeniería expresada en términos del cambio en la funcionalidad del sistema respecto al tiempo..... 29
Imagen 5. Sistema con alta robustez y redundancia..... 31
Imagen 6. Sistema con alta recuperación. 31
Imagen 7. Sistema con alta capacidad de gestión. 32
Imagen 8. Relación entre los componentes del riesgo y la resiliencia. 34
Imagen 9. Relación de los componentes del riesgo y la resiliencia en una escala temporal..... 34
Imagen 10. Fase 1 Tecnología GBM..... 37
Imagen 11. Fase 2 Tecnología GBM..... 38
Imagen 12. Fase 3 Tecnología GBM..... 38

Imagen 13. Corte en talud. 42
Imagen 14. Corte escalonado 43
Imagen 15. Caja de zanja. 43
Imagen 16. Sistema tablestacado....44
Imagen 17. Sistema de apuntalamiento....44
Imagen 18. Pozo con anillos tipo Caisson....45
Imagen 19. Nodos y elementos de una malla de elementos finitos....47
Imagen 20. Servicios básicos para la atención de emergencias. 49
Imagen 21. Funciones de respuesta. 50
Imagen 22. Localización tramo B1. 81
Imagen 23. Localización interferencia B1-36. 82
Imagen 24. Localización interferencia B1-44 45 46 83
Imagen 25. Ubicación de sondeos realizados por el consorcio Metro Bog. 84
Imagen 26. Localización área de influencia. 91
Imagen 27. Perfil estratigráfico calzada derecha....99
Imagen 28. Perfil estratigráfico calzada izquierda. 99
Imagen 29. Ejes equivalentes de 8,2 Ton....100
Imagen 30.UPZ Américas. 105
Imagen 31.UPZ Américas N° pisos. 105
Imagen 32.UPZ Muzu 106
Imagen 33.UPZ San Rafael 107
Imagen 34.UPZ Ciudad Montes**.** 107
Imagen 35.Número de pisos según IDECA. 108
Imagen 36. Redes de alcantarillado.....113
Imagen 37. Red de acueducto....114
Imagen 38. Redes telemáticas 115
Imagen 39. Red de gas 116
Imagen 40. Redes eléctricas alta tensión.....117
Imagen 41. Redes eléctricas 117
Imagen 42. Deflexión en redes de acueducto para la interferencia 44 – 45. Fuente propia.....130
Imagen 43. Deflexión en redes de acueducto para la interferencia 36....130

Imagen 44. Redes de acueducto 132
Imagen 45. Redes de alcantarillado Fuente, Geoportal de la EAAB. 132
Imagen 46. Columnas de confinamiento 136

1. INTRODUCCIÓN.

A medida que la sociedad se ha establecido y ha formado centros urbanos en los cuales confluyen una alta cantidad de personas. El desarrollo de las principales ciudades del mundo requiere actividades asociadas naturalmente a la ingeniería civil y los procesos constructivos inherentes, la infraestructura vial, estructuras privadas y públicas, redes y demás elementos urbanísticos de las ciudades están en constante cambio y sin duda alguna requiere de obras sustentables para los habitantes asentados en estas ciudades.

Como es constante, las ciudades siempre están en continuo desarrollo lo que conlleva a que se creen nuevas obras de infraestructura que pueden generar traumatismo al entorno urbano existente y a la población circundante a estas, por lo que es necesario que las ciudades cada vez estén más preparadas para enfrentar los escenarios adversos que se generen producto de estos eventos, lo que conlleva a la creación de mecanismos de atención del riesgo que permitan una respuesta pronta a los diferentes eventos o calamidades y evitar que se generen pérdidas considerables de cualquier índole, permitiendo que las ciudades sean más resilientes.

El espacio subterráneo en ciudades ya asentadas y medianamente desarrolladas es bastante útil para la instalación de redes, túneles, deprimidos y otras estructuras; esto conlleva la planificación y ejecución de obras civiles usando tecnologías nuevas, o tecnologías poco invasivas en el entorno urbano en el cual se estén desarrollando. Las excavaciones profundas y túneles de baja cobertura, instalación sin zanja, por ejemplo, constituyen las principales actividades desarrolladas en el aprovechamiento del espacio subterráneo, contribuyendo a la resiliencia, desarrollo sostenible y sustentable de entornos urbanos; estas actividades conllevan la estimación, estudio y caracterización de parámetros geotécnicos de los materiales involucrados en el suelo en el cual se realicen dichas actividades, parámetros de rigidez, nivel freático y otros aspectos ingenieriles. En entornos urbanos, la ejecución de estas actividades propone retos para la ingeniería, pues genera un impacto en el medio físico y desarrollo de las ciudades.

Inevitablemente estos proyectos han venido en auge durante la última década en nuestro país, aumentando el desarrollo y la complejidad de éstos, lo que ha requerido de un estudio más profundo desde la concepción hasta la ejecución; sin embargo, aún hay deficiencias en la planificación y la atención de las posibles consecuencias de este tipo de proyectos durante su etapa de ejecución,

sobre todo en lo relacionado con desplazamientos en superficie, que genera daños, afectación a comunidades y sobrecostos en la construcción, este fenómeno de desplazamientos en superficie, también denominado subsidencia, es un aspecto a tener en cuenta cuando de proyectos de este tipo se trata, (Corapcioglu, 1984) define la subsidencia como un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa debido a varios factores, que pueden ser naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas.

Estos fenómenos de subsidencia se han visto alrededor del mundo en ciudades como México y Madrid, donde diferentes situaciones han llevado a tener fenómenos de subsidencia especialmente en edificaciones y elementos establecidos en el entorno urbano; en nuestro país y especialmente en Bogotá se tienen casos desafortunados en los cuales queda en evidencia la necesidad de abordar los aspectos relacionados anteriormente con cautela, profesionalismo y racionalismo sobre todo por parte de los profesionales involucrados en proyectos que impliquen realizar excavaciones profundas o uso de otras tecnologías; partiendo del tipo de suelo presente en la ciudad, de acuerdo al modelo geológico - geotécnico establecido en "Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones-2010", se tiene que la ciudad se encuentra definida en cinco zonas: cerros, piedemonte, lacustre, lacustre aluvial y aluvial; siendo arcillas de alta plasticidad y baja resistencia al corte el tipo de suelo típico y más común en la ciudad; esto implica un estudio más profundo y cuidadoso de las actividades o proyectos a ejecutar en la ciudad.

Partiendo de lo anterior, se tienen casos que demuestran la necesidad antes descrita con miras a abordar de manera más clara, racional y profesional los posibles daños causados por fenómenos de subsidencia del terreno o desplazamientos en superficie, por ejemplo, se tiene la falla generada por la excavación de la calle 98 con carrera 11 y la construcción del colector Britalia de la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, donde las excavaciones profundas y el uso de tecnologías sin zanja provocaron afectaciones al entorno urbano en el cual se encuentran inmersos los proyectos.

El uso de tecnología trenchless para la ejecución de proyectos de gran envergadura en una ciudad como Bogotá, implica, por ejemplo, la aparición del fenómeno descrito anteriormente, afectando, como ya se ha dicho, no sólo los elementos presentes en el entorno urbano sino la calidad de vida de las personas que en ellos se encuentren.

De allí, surge la necesidad de analizar, describir y cuantificar la resiliencia de los elementos del entorno urbano constituidos y construidos previo a la realización de los trabajos anteriormente descritos, prediciendo de manera más real y confiable la probabilidad de daños en superficie a partir de las excavaciones o uso de tecnologías sin zanja, mejorando así la capacidad de respuesta ante los posibles daños generados, enmarcado dentro de las variables de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

El presente proyecto, se constituye como una primera aproximación a la estimación del índice de resiliencia del entorno urbano, a partir de la identificación de la problemática descrita anteriormente, para el caso particular del proyecto, se analizó la resiliencia a partir de variables cuantitativas y cualitativas para la zona de afectación establecida en torno a dos interferencias seleccionadas en el trazado de la primera línea del metro de Bogotá, las cuales se trasladarán por medio de la tecnología Trenchless, lo que puede generar fenómenos de subsidencia en el terreno y por lo tanto afectaciones al entorno urbano, para esto se realizó el análisis y evaluación de los componentes de la resiliencia: robustez, redundancia, capacidad de gestión y recuperación a partir de información secundaria consultada y simulaciones numéricas realizadas por el método de elementos finitos; con ello se estableció el índice de resiliencia del entorno circundante a las interferencias.

Este trabajo de grado está compuesto por 8 capítulos, que se mencionan a continuación

- **Capítulo 1. Introducción:** Se presenta la identificación y descripción del problema, además de una descripción general del desarrollo del trabajo de grado.
- **Capítulo 2. Objetivos:** Se describen el objetivo general y los objetivos específicos para el desarrollo del proyecto de grado.
- **Capítulo 3. Marco de referencia:** Se presentan los conceptos teóricos, revisión bibliográfica y antecedentes relacionados con Resiliencia e Índice de resiliencia para entornos urbanos y el uso de tecnologías sin zanja en dichos escenarios.
- **Capítulo 4. Marco metodológico para la estimación del índice de resiliencia en entornos urbanos:** Se describe la metodología propuesta por la cual se determinarán los componentes de la resiliencia para el estudio de caso.
- **Capítulo 5. Localización de las interferencias seleccionadas y caracterización de los elementos del entorno urbano establecidos en el área de influencia:** Se describe la

localización, caracterización geotécnica, propiedades y características de las interferencias seleccionadas y los elementos del entorno urbano del área de estudio.

- **Capítulo 6. Estimación y análisis de los componentes de la resiliencia para las interferencias analizadas:** Se determinan los componentes de la resiliencia a partir de la caracterización realizada y las simulaciones numéricas de acuerdo a lo descrito en el capítulo 4.
- **Capítulo 7. Evaluación del índice de resiliencia para el entorno urbano y análisis de resultados para las interferencias estudiadas.** Se determina el índice de resiliencia del entorno urbano dentro del área de estudio de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 6, además se presentan gráficas y análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior junto con sus implicaciones en los elementos del entorno urbano analizados.
- **Capítulo 8. Conclusiones:** En este capítulo se presenta las conclusiones obtenidas a partir de la estimación del índice de resiliencia para las interferencias en estudio.
- **Capítulo 9. Recomendaciones:** Se presentan las recomendaciones que se deben tener en cuenta para investigaciones similares futuras.
- **Capítulo 10. Limitaciones:** En este capítulo se describen las limitaciones que se presentaron en el desarrollo del proyecto.

2. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo principal.

- Determinar el índice de resiliencia de las estructuras en superficie de la zona de afectación por el traslado de redes de alcantarillado y pluvial a realizarse usando la tecnología de construcción de redes sin zanja o trenchless.

2.2. Objetivos específicos.

- Recopilar información propia del área de influencia referente a las estructuras que se encuentren dentro de ella, como edificaciones, vías, zonas peatonales y redes de servicios públicos.
- Determinar los parámetros que se tendrán en cuenta para la cuantificación de los componentes de la resiliencia en el área de afectación.
- Realizar una modelación en el software phase2 de las dos intervenciones a realizar en la intersección de estudio y las diferentes estructuras en superficie dentro del área de afectación.
- Analizar los datos obtenidos en las simulaciones y la información recopilada del área de afectación para la cuantificación de los componentes de la resiliencia.

3. MARCO DE REFERENCIA O CONCEPTUAL.

3.1. La resiliencia en las construcciones y centros urbanos.

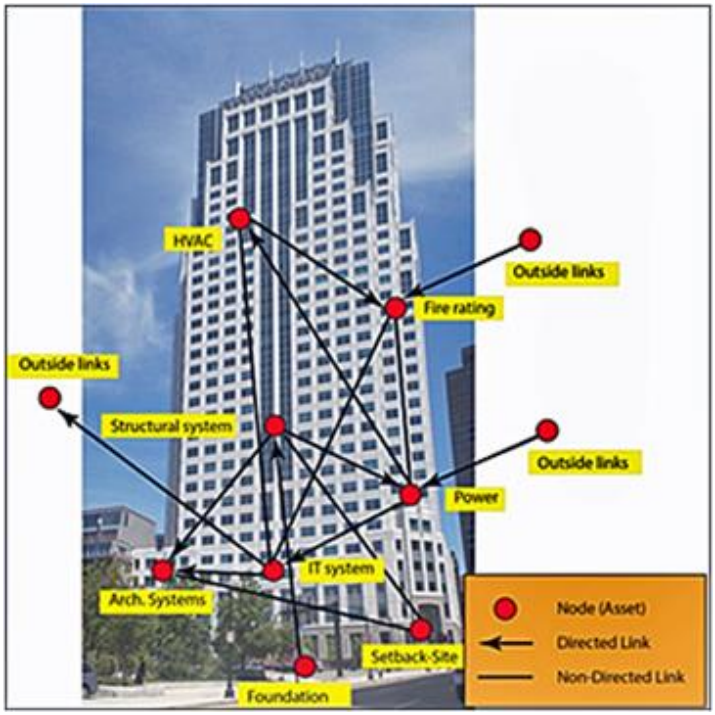
En los últimos años el concepto de resiliencia, la capacidad de los sistemas físicos o humanos de responder a eventos extremos, ha tomado gran importancia en la investigación de desastres. Dentro de las disciplinas que más influencia tienen sobre el entorno constructivo son el diseño, la ingeniería y la construcción, (Lee Bosher, 2011). A pesar de que el concepto de resiliencia sea tan atractivo, la estructura de la industria de la construcción y la interacción entre quienes planean, diseñan, construyen, operan y mantienen el entorno constructivo no está del todo engranada, generando una fragmentación e impidiendo un adecuado proceso de desarrollo.

Debido al aumento en los impactos que los desastres ocasionados por acciones humanas o por la naturaleza, teniendo gran relevancia los relacionados al cambio climático, ocasionan en las estructuras perdidas en su funcionalidad y elevando los costos de mantenimiento y rehabilitación necesarios para garantizar un adecuado funcionamiento de la estructura después de haber sufrido las consecuencias del evento al que fue sometido.

La infraestructura resiliente es la habilidad de reducir la magnitud y/o la duración de eventos disruptivos. La efectividad de una infraestructura resiliente depende de su habilidad para anticipar, absorber, adaptarse y/o recuperarse rápidamente de un evento disruptivo potencial, National Institute of Building Sciences (2018). A esta definición de construcciones resilientes se han adaptado 4 componentes: Robustez, Redundancia, Capacidad de Gestión y Recuperación, con el fin de determinar la resiliencia desde diferentes campos, haciendo a esta multidisciplinaria.

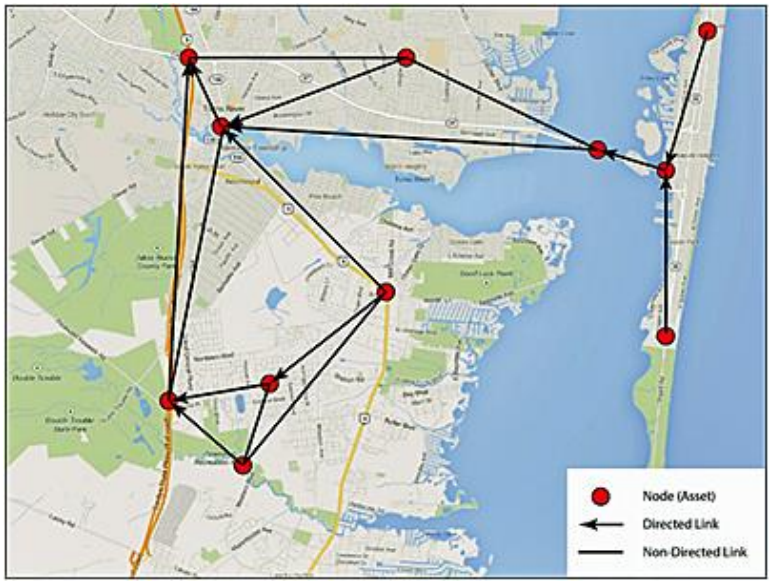
Además de las construcciones resilientes, también es necesario hablar de las comunidades resilientes, pues están íntimamente relacionadas, se puede hacer un símil entre las construcciones resilientes y las comunidades resilientes, pues en las primeras existe una interconexión entre los diferentes componentes de la estructura que confluyen entre sí para garantizar una adecuada resiliencia de la construcción, Imagen 1, lo mismo sucede dentro de una comunidad resiliente, en donde cada uno de los componentes, también denominados nodos o activos, se interconectan para brindar resiliencia a la comunidad, Imagen 2, para que la comunidad sea resiliente, los activos o nodos deben ser resilientes.

Imagen 1. Conexión entre los componentes de una estructura que participan en la resiliencia.



Tomado de National Institute of Building Sciences (2018).

Imagen 2. Conexión entre los componentes de una comunidad que participan en la resiliencia.



Tomado de National Institute of Building Sciences (2018).

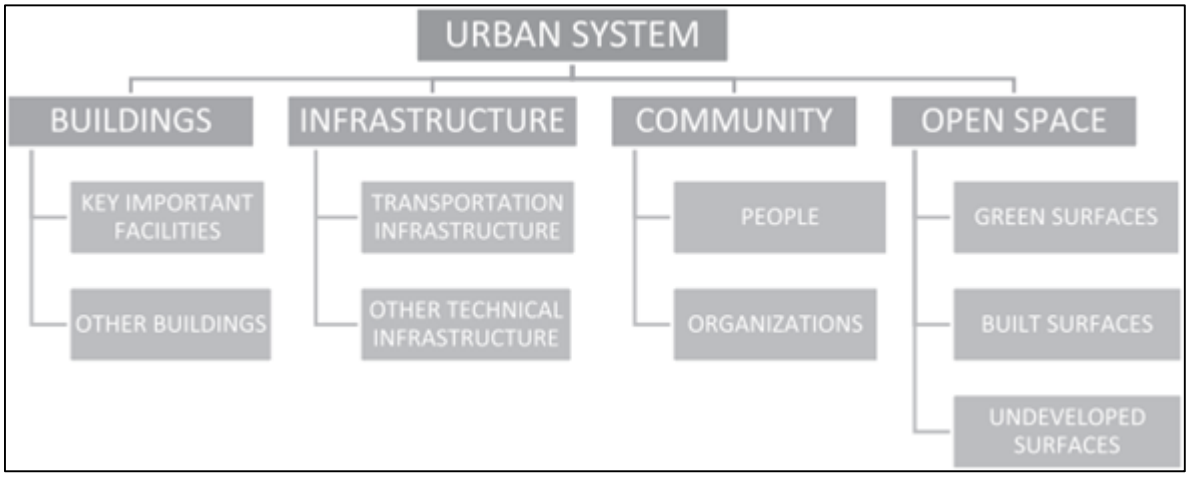
Como se dijo anteriormente, un sistema urbano consiste en un número de redes interdependientes las cuales se basan en diferentes componentes físicos y sociales, en las que hay una interacción

dinámica entre cada componente que permiten un desempeño eficiente del sistema, donde el componente físico actúa como el cuerpo del sistema y el componente social actúa como el cerebro de sistema.

Una comunidad resiliente se refleja en el bienestar de la población e involucra una red de capacidades adaptativas (desarrollo económico, capital social, información y comunicación y competencia comunitaria), que permite su adaptación después de una perturbación, además que requiere de la ampliación de la investigación, la educación y la capacitación en sistemas urbanos, y una mayor colaboración entre los grupos profesionales que participan en la construcción de ciudades y la mitigación de riesgos.

Rus et al (2018) determinaron cuatro componentes básicos que afectan significativamente la resiliencia de los sistemas urbanos en caso de desastres naturales: Edificaciones, Espacio Abierto, Infraestructura y Comunidad, ver Imagen 3. Pero esto no se puede estrictamente de esta manera, sino que depende del objetivo y las prioridades del análisis del sistema urbano.

Imagen 3. División de un sistema urbano.



Tomado de Rus et al (2018).

La finalidad de un sistema urbano resiliente consiste en la capacidad de obtener respuesta a preguntas como la preparación del sistema, su capacidad para absorber las perturbaciones que lo afecten, la capacidad de responder de manera eficiente y la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones.

3.2. Resiliencia en diferentes áreas de conocimiento.

De acuerdo al área de estudio en la cual se esté investigando, el concepto de resiliencia se adapta a dicho campo de acción. La primera definición del concepto de resiliencia fue desarrollada en el ámbito de la ecología por (Holling, 1973) en la cual los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a perturbaciones y a los cambios, es decir, como las condiciones de un sistema complejo no equilibrado e inestable, se transforma al mismo tiempo para presentar otro comportamiento reorganizado. Según (S.L, 1984) desde un punto de vista ingenieril, la resiliencia es el tiempo que le toma a las variables regresar a su punto de equilibrio después de sufrir una perturbación, aunque la resiliencia no está definida para sistemas inestables.

De acuerdo a (Basu D, 2017) la resiliencia, aunque trata un tema en común, de acuerdo al campo en que se esté desarrollando, varía en su significado, como se observa a continuación:

- Para la Ecología, la resiliencia se define tanto en un sentido ingenieril, como la velocidad de un sistema para regresar a su punto de equilibrio luego de una perturbación; como en un sentido biológico como la habilidad de persistir los cambios y eventos para así evitar la extinción de una especie.
- Para la ecología social, la resiliencia se entiende como la capacidad de adaptación y la transformabilidad que poseen las personas en los sistemas socio ecológicos para la creación de resiliencia mediante acciones colectivas.
- Para la economía, la resiliencia se define como las respuestas inherentes y adaptativas a los desastres que permiten a las personas y las comunidades evitar algunas pérdidas potenciales. Esta se puede definir en términos estáticos, como la habilidad de una entidad o sistema de mantener sus funciones durante una perturbación, y dinámicos, como la velocidad en la que la entidad o sistema se recuperan de una perturbación severa y alcanzar un estado deseado.
- En la sociología, la resiliencia está definida como la capacidad de los grupos o individuos para adaptarse a condiciones de cambio y tener una respuesta positiva a dicho cambios. Está caracterizada por la resistencia, recuperación y creatividad.

- En el ámbito de los desastres, la resiliencia es entendida como la capacidad que tienen los cuerpos afectados por una amenaza de resistir pérdidas durante un desastre y regenerarse y reorganizarse después del desastre en un área específica en un periodo de tiempo dado.
- En la ingeniería, la resiliencia se define como la preparación y la respuesta de un sistema frente a un evento disruptivo. Está caracterizada por cuatro componentes, denominadas las 4 R's del inglés Robustness, Redundancy, Resourcefullness and Rapidity, en español Robustez, Redundancia, Capacidad de Gestión y Recuperación respectivamente.

3.3. Resiliencia y sus componentes.

La resiliencia enfocada a la ingeniería, de acuerdo a (Basu D, 2017), ha sido aplicada a los sistemas de infraestructura para abordar las consecuencias causadas a las comunidades por fallas en instalaciones después de eventos extremos. Las respuestas que deben tener los sistemas ingenieriles resilientes son:

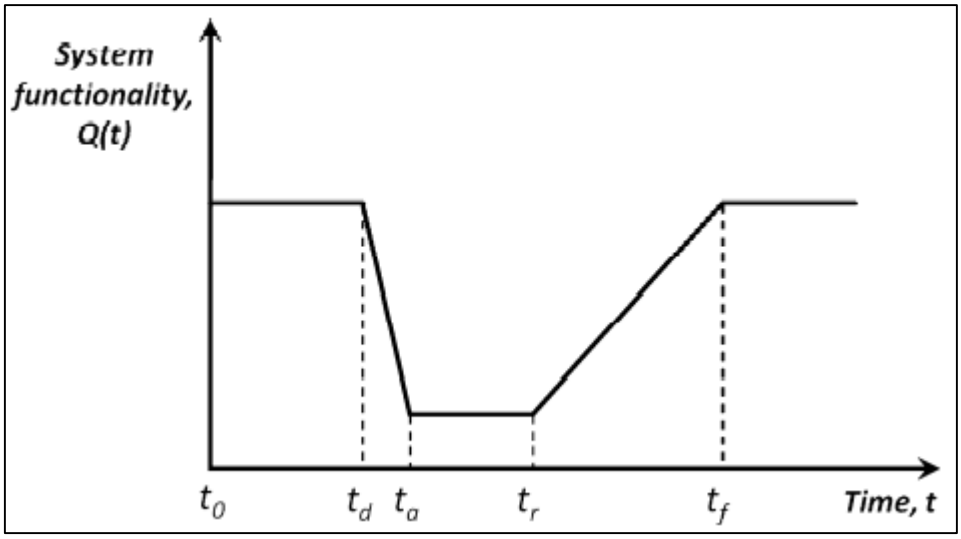
1. Reducir las probabilidades de falla o incrementar la capacidad de absorción
2. Reducir las consecuencias debidas a las fallas
3. Reducir el tiempo de recuperación o incrementar la capacidad de adaptabilidad.

De acuerdo a lo anterior, es posible afirmar entonces que un sistema resiliente tiene una reducida probabilidad de ser dañado o de fallar cuando incrementa la habilidad de absorber la propagación de daños durante eventos disruptivos; las consecuencias como los impactos económicos y sociales se reducen y la adaptación a los eventos disruptivos se incrementa para alcanzar una pronta recuperación.

Así mismo, una infraestructura ingenieril resiliente corresponde a la preparación y respuesta de un sistema frente a eventos disruptivos, en donde la preparación se relaciona con las habilidades de mitigar los efectos de un evento disruptivo mediante la organización adecuada de recursos y la elaboración de estrategias antes del evento disruptivo; y la respuesta, la cual se manifiesta a partir de la absorción, que es la respuesta inmediata de un sistema de infraestructura con la que le hace frente al evento disruptivo, y la recuperación, que son los esfuerzos organizacionales para la reparación rápida de los sistemas afectados y sus efectos.

Una interpretación temporal de la degradación y recuperación de la funcionalidad de un sistema, se observa en la Imagen 4, en la cual la absorción de las perturbaciones se ve reflejada en la degradación de la funcionalidad del sistema, desde el tiempo t_d a t_a, los esfuerzos de recuperación inician inmediatamente después de la perturbación, sin que la funcionalidad del sistema cambie durante un periodo de tiempo, desde el tiempo t_a a t_r, hasta que los recursos adecuados se recolectan y las respuestas estratégicas se organizan, lo que se denomina como fase de evaluación, y finalmente se espera que la funcionalidad del sistema se recupere hasta un nivel aceptable de su operación normal, desde el tiempo t_r hasta t_f. (Basu D, 2017)

Imagen 4. Resiliencia en la ingeniería expresada en términos del cambio en la funcionalidad del sistema respecto al tiempo.



Tomado de (Basu D, 2017)

La resiliencia en la ingeniería se caracteriza por poseer cuatro propiedades o componentes, denominados las 4R's, Robustness – Robustez, Rapidity – Recuperación, Resourcefulness – Capacidad de Gestión y Redundancy – Redundancia.

- La Robustez se refiere a la fuerza que posee el sistema de enfrentar un nivel de esfuerzos o demandas sin sufrir pérdida en su funcionalidad, se manifiesta en la etapa de absorción, también se puede interpretar como la habilidad de mantener operaciones y funciones críticas durante una crisis, incluye a la construcción en sí misma, al diseño de su estructura o en los sistemas de redundancia y sustitución.

A mayor robustez del sistema, menor es la probabilidad de que se propague el daño y que ocurran consecuencias.

- La redundancia se refiere a la capacidad que tiene un sistema de sustituir componentes del mismo sin afectar su funcionalidad, al igual se puede referir a los recursos de respaldo o reserva para apoyar a los originales en caso de fallo.

  La redundancia puede reducir las consecuencias de falla debido a que la falla en sistemas redundantes o en sus unidades, no afectará significativamente el desempeño general del sistema.

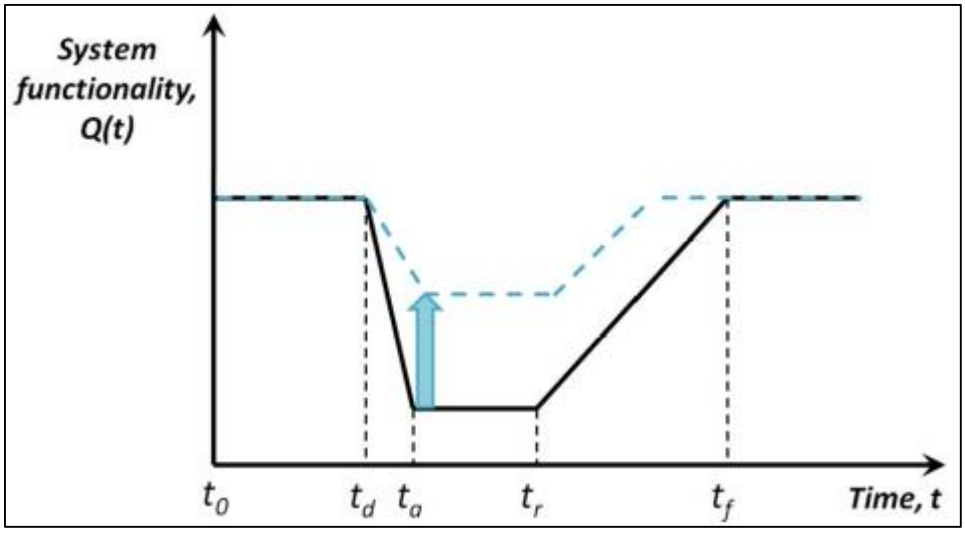
- La capacidad de gestión se refiere a la capacidad de identificar problemas, establecer prioridades y movilizar recursos, al igual es la capacidad o habilidad de preparación para responder y manejar la crisis debida a la presencia de un evento disruptivo, lo que incluye identificar cursos de acción, planeación de recursos, manejo de cadenas de abastecimiento, priorización de acciones para controlar y mitigar el daño, y la efectividad en la comunicación de decisiones.

  Adicionalmente la capacidad de gestión puede contribuir a medidas para el desarrollo de la mitigación y prevención de desastres y contribuir al proceso de recuperación.

- La recuperación se refiere a la capacidad de atender prioridades y alcanzar logros en un periodo de tiempo con el fin de contener las pérdidas y evitar pérdidas futuras, también se puede entender como la habilidad de reconstruir y/o regresar a las operaciones normales de una forma rápida y eficiente después de un evento disruptivo, en donde actúan planes de contingencia elaborados cuidadosamente, operaciones de emergencia competentes y la importancia de tener el personal y recursos idóneos en los lugares correctos.

En aquellos sistemas en los cuales se posea una alta robustez y redundancia, la respuesta a la absorción de las perturbaciones será mayor, con lo que la funcionalidad del sistema no se verá altamente afectada, como se observa en la Imagen 5.

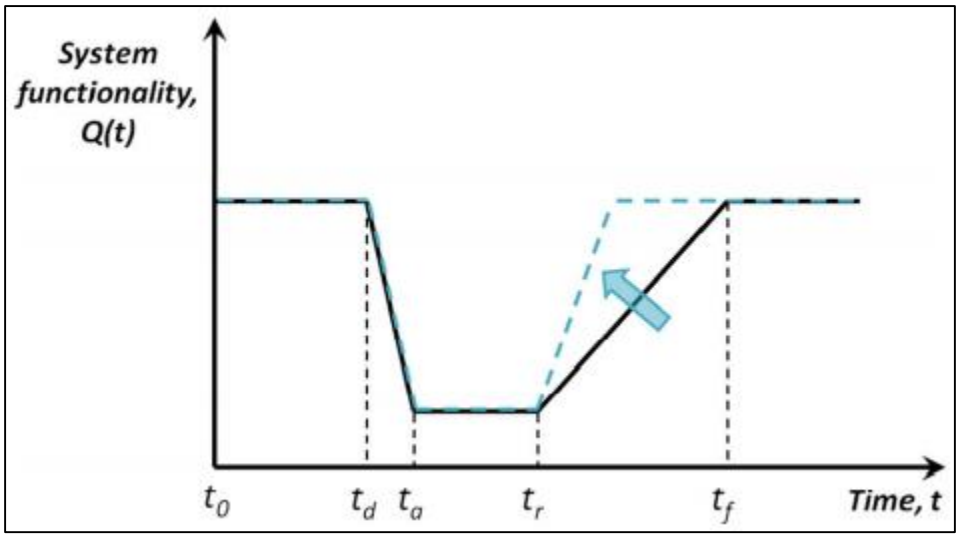
Imagen 5. Sistema con alta robustez y redundancia.



Tomado de (Basu D, 2017)

En los sistemas que presentan una alta recuperación, el periodo en el que se espera que la funcionalidad del sistema se recupere hasta alcanzar un porcentaje similar al que poseía antes del evento disruptivo, se ve significativamente reducido, como se observa en la Imagen 6.

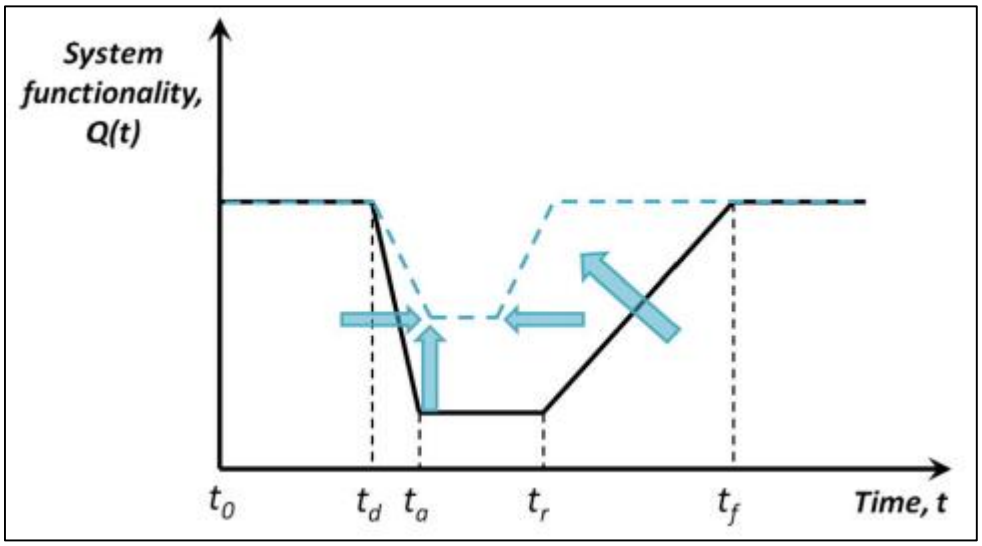
Imagen 6. Sistema con alta recuperación.



Tomado de (Basu D, 2017)

Finalmente, en aquellos sistemas que presentan una alta capacidad de gestión, se tiende a disminuir el tiempo de evaluación, contribuyendo a disminuir los tiempos de respuesta de los demás componentes, como se observa en la Imagen 7.

Imagen 7. Sistema con alta capacidad de gestión.



Tomado de (Basu D, 2017).

3.4. El riesgo y cómo se asocia con la resiliencia.

El riesgo **(R_i)** en una definición general, es una estimación del potencial de un resultado no esperado debido a un evento. El riesgo se puede manifestar de distintas maneras, como:

- Riesgo de amenaza: Es cuando los eventos peligrosos abundan, pueden ser eventos naturales, ocasionados por el hombre, al igual pueden estar relacionados a la salud o al cambio climático y tienen el potencial de producir respuestas indeseables.
- Riesgos operacionales: Debido a que muchas decisiones tomadas involucran algo de incertidumbre, algunas de estas se asocian a las respuestas obtenidas, donde algunas pueden no permitir obtener los resultados esperados y que pueden ser interpretados como riesgos.
- Riesgos financieros: Involucra pérdidas monetarias asociadas con un portafolio financiero o un proyecto en ejecución, debido a su asociación con la comunidad financiera, actualmente poseen relevancia en la infraestructura civil.

- Riesgos estratégicos: Se relaciona con el riesgo asociado con las decisiones estratégicas y dependen de la escala de interés, su naturaleza depende de la tipología, los eventos y la métrica de los riesgos estratégicos.

Una definición del riesgo adecuada a la infraestructura civil, de acuerdo a (Alampalli, 2017), es "Una descripción de un objetivo incierto o una expresión alfanumérica subjetiva, que describa la respuesta de un evento incierto o desfavorable, que puede degradar la respuesta de una unidad o varias unidades de activos de infraestructura civil".

El riesgo posee tres componentes que son:

1. Amenaza, peligro o demanda **(T)** los cuales tienen un efecto potencial de degradación de las infraestructuras civiles expuestos a ellos
2. Vulnerabilidad o capacidad **(V)**, son términos inversamente proporcionales, donde a menor vulnerabilidad tenga un sistema, mayor será su capacidad.
3. Consecuencias **(C)** describe los resultados o el impacto de un evento particular

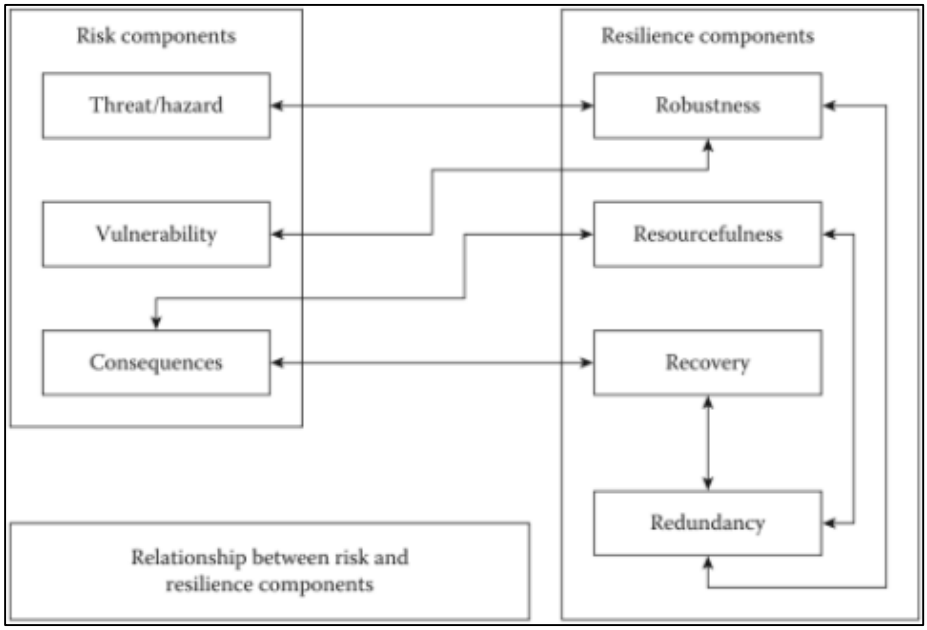
Todos estos términos son proporcionales al riesgo, por lo que una manera de determinar el riesgo debido a un evento que se presente en una infraestructura civil, está en función de estos tres componentes, como se muestra en la Ecuación 1.

$$R_i = f(T, V, C)$$

Ecuación 1. Determinación del riesgo.

Como se observó, tanto el riesgo como la resiliencia poseen diferentes componentes los cuales esta relacionadas, de acuerdo a (Alampalli, 2017), las componentes del riesgo están relacionada con las componentes de la resiliencia, como se observa en la Imagen 8.

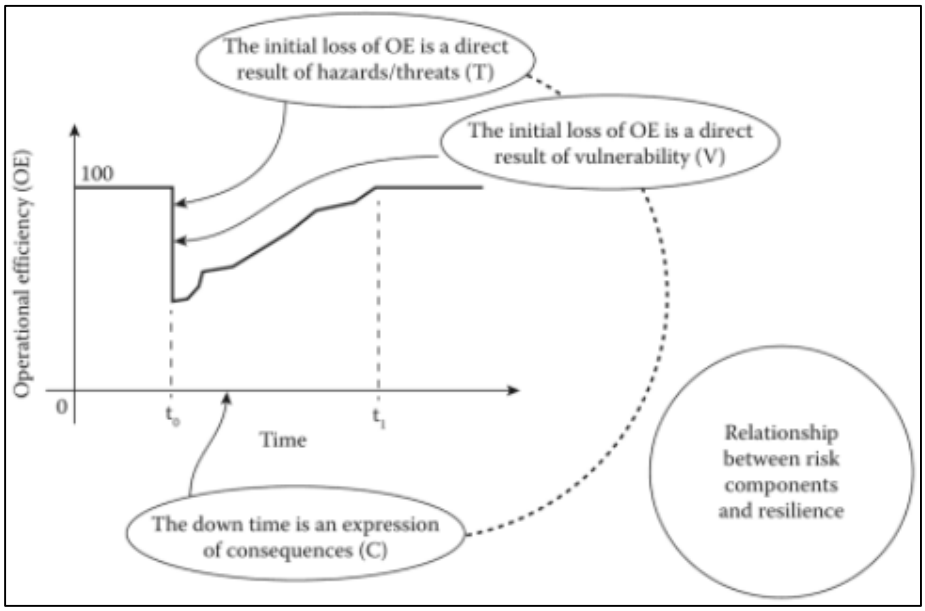
Imagen 8. Relación entre los componentes del riesgo y la resiliencia.



Tomado de (Alampalli, 2017)

A partir de la imagen anterior, (Alampalli, 2017) interpretaron la relación entre el riesgo y la resiliencia dentro de un espacio o escala temporal, como se observa en la Imagen 9.

Imagen 9. Relación de los componentes del riesgo y la resiliencia en una escala temporal.



Tomado de (Alampalli, 2017).

Al igual (Mitchell & K, 2012) establecieron que el riesgo y la resiliencia están relacionadas entre sí y tienen 4 características claves dentro de su relación:

I. Proveen un marco holístico para la evaluación de los sistemas y su interacción desde los hogares y las comunidades, hasta un nivel nacional.
II. Enfatizan en las capacidades de para manejar las amenazas o perturbaciones.
III. Ayudan a explorar opciones para tratar con incertidumbres, sorpresas y cambios.
IV. Se enfocan en ser proactivas.

Además, un sistema efectivo en el manejo del riesgo es probable que sea más resiliente a impactos y presiones, (Mitchell & K, 2012).

Aun así, de acuerdo a (Mitchell & K, 2012), existen riesgos al relacionar el riesgo y la resiliencia, por ejemplo, al enmarcar el riesgo en el contexto de la resiliencia, se puede restar importancia a la pobreza, la vulnerabilidad o la economía, esto se debe principalmente a que el riesgo tiene un enfoque hacia la pobreza y la desigualdad, en cuanto la resiliencia posee un enfoque más científico y tecno gráfico.

3.5. Tecnología sin zanja por hincado de tubería.

La tecnología sin zanja o trenchless se componen de diferentes métodos de construcción que se utilizan para la instalación, reemplazo, traslado, renovación, entre otras actividades, de redes subterráneas de servicios públicos, como acueducto, alcantarillado, gas, redes eléctricas, redes de datos, entre otras, garantizando pocas excavaciones e interrupciones de actividades en la superficie debido a las actividades ya mencionadas.

Dentro de las ventajas de este tipo de tecnología, se tiene que al ser menos invasivas son una mejor opción de construcción en zonas urbanas en las que se presentan altos flujos de tráfico y de personas y existencia de redes subterráneas, de acuerdo a lo anterior, es útil en los casos en que se requiera la construcción de una red subterránea que deba pasar bajo una carretera o cuerpos de agua, también puede ser una opción de construcción en lugares del trazado que no se puedan acceder fácilmente o zonas protegidas ambientalmente.

Esta metodología de construcción suele ser más económica y ayudar a evitar en gran medida el impacto y el riesgo de la zona debido a la construcción de redes subterráneas, además en muchos casos, suele ser la única alternativa de construcción.

Dentro de los métodos de construcción de la tecnología sin zanja, se encuentra el método por Hincado de Tubería o Pipe Jacking, el cual consiste en la instalación de la tubería mediante a partir de un proceso continuo de excavación, retiro de material excavado y posterior hincado de la tubería, el cual usualmente se realiza por medio de un túnel de lanzamiento y uno de recepción

De acuerdo al tipo de excavación que se esté realizando y el método de extracción del suelo excavado, existen diferentes sistemas de hincado de tubería, entre estos se encuentran:

- Perforación guiada con tornillo sinfín (Guide Boring Machine, GBM).
- Perforación con tornillo sinfín (Auger Boring Machine, ABM).
- Tunelación con escudo abierto/cerrado (Tunel Boring Machine, TBM).
- Microtunelación con lodos (MTBM Slurry).

Como se mencionó, los sistemas de hincado de tubería relacionados previamente, requieren de dos estructuras necesarias para su utilización, las cuales son los pozos de lanzamiento y recepción; el pozo de lanzamiento es en el que se realiza la operación de los equipos en hincado de la tubería, estos pozos pueden ser circulares o rectangulares y deben contar con un muro de reacción para la unidad de empuje para el equipo de hincado de la tubería, dicho muro se debe demoler luego de la construcción del túnel; el pozo de recepción puede poseer la misma forma del pozo de lanzamiento y su función principal es la de recepción y extracción del equipo de excavación proveniente del pozo de lanzamiento.

Los métodos de construcción de los pozos pueden ser por tablestacado, que consiste en un sistema de pantallas o estructura de contención flexible generalmente prefabricados en acero, pero también pueden ser en hormigón, aluminio, vinilo o FRP Composite. Los elementos prefabricados son hincados en el suelo por vibración y tienes juntas para ayudar a impermeabilizar y evitar filtraciones, al igual a guiar las tablestacas contiguas, posee una ventaja pues son rápidos de instalar y de extraer para ser reutilizados en nuevos pozos.

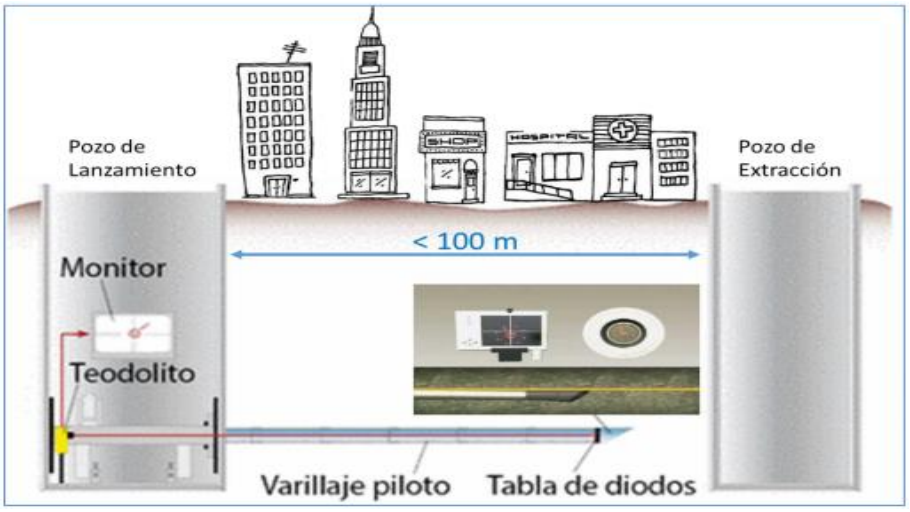
Otro método de construcción de los pozos es con Caisson, el cual consiste en la construcción in-situ de pozos permanentes circulares en concreto reforzado, mediante la excavación e instalación

de concreto en forma de anillos consecutivamente hasta alcanzar la profundidad requerida, el último anillo se completa con la construcción de una placa de contrapiso también en concreto reforzado. Como se emplea el uso de concreto reforzado, los tiempos de construcción de este tipo de pozos son mucho mayores que el de tablestaca.

Dentro del proyecto de construcción de la primera línea del metro de Bogotá, para la realización del traslado de redes de acueducto y alcantarillado, se tiene previsto el uso de la tecnología GBM, las cual consiste en tres fases de construcción que se relacionan a continuación:

- ✓ **Fase 1:** Se realiza una perforación piloto guiada con un sistema laser entre los pozos de lanzamiento y recepción.

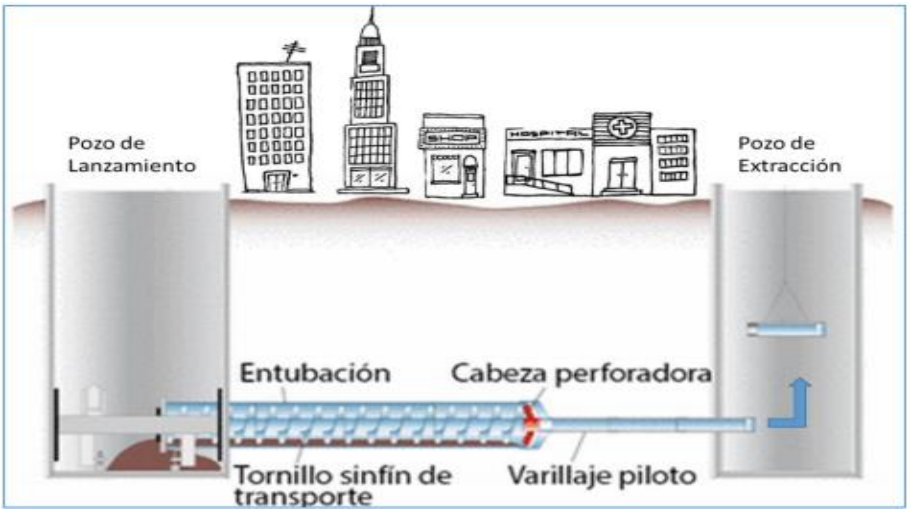
Imagen 10. Fase 1 Tecnología GBM.



Tomado de (CONTELAC, 2017).

- ✓ **Fase 2:** Se efectúa una primera ampliación de la perforación piloto, usando unas camisas de acero en conjunto con tornillos sinfín al interior de ellas, para transportar el material recortado hasta el pozo de lanzamiento.

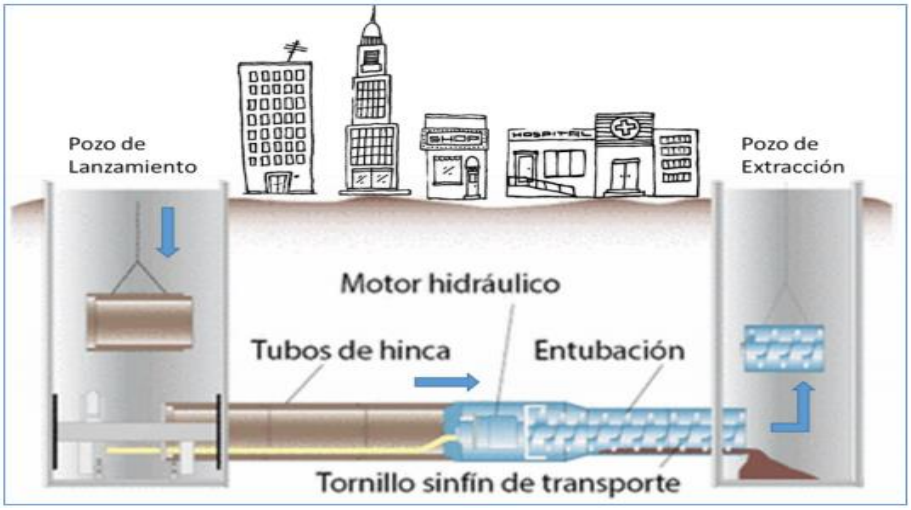
Imagen 11. Fase 2 Tecnología GBM.



Tomado de (CONTELAC, 2017).

- ✓ **Fase 3:** Se ejecuta una ampliación final, correspondiente al diámetro de la tubería a hincar, colocando una cabeza de corte en el último conjunto Camisa/tornillo sinfín instalado. En esta fase el material es retirado desde el pozo de recepción para no contaminar la tubería instalada. La cabeza de corte es accionada hidráulicamente con mangueras instaladas dentro de la tubería hincada.

Imagen 12. Fase 3 Tecnología GBM.



Tomado de (CONTELAC, 2017).

3.6.Tecnología sin zanja en Colombia.

A partir de los años 80 se empieza a aplicar la tecnología sin zanja en Colombia gracias a que la EAAB inicia uno de los proyectos más importantes en temas de alcantarillados al instalar redes de tubería con diámetros mayores a 1m y longitudes lineales mayores a 50m. (Gutierrez, 1997)

Posteriormente en 1992, se daría la visita del ingeniero James C. Thomson, experto internacional en temas de rehabilitación de redes de infraestructura subterránea, quien vino a la Empresa de Agua, acueducto y alcantarillado de Bogotá, con motivo de la consultoría sobre la reparación de la tubería de acueducto de Tibitoc-Casablanca localizada sobre la Autopista Norte, iniciando en el Club Rincón Grande donde antiguamente se ubicaba el reten Intra hasta la calle 129, luego desde la anterior calle hasta la Av. Boyacá y finalizando por esta Avenida hasta la calle 80. La rehabilitación de esta tubería de concreto consistió en la instalación de varias camisas de acero de alrededor de 1.8 m de diámetro interno, con un espesor de lámina cercano a los 11.2mm y unas longitudes fijas de 7 metros. Así mismo y para ciertos tramos se manejaron camisas de acero de longitudes como los 2, 3.5 y 4 metros, todas con un recubrimiento interno o pañete de 12mm de espesor. En las uniones espigo-campana de cada sección de tubería se utilizó soldadura. El proyecto contó con una longitud cercana a los 32 kilómetros y con diámetros del orden de los 2 metros (Ingetec, 2012). La visita del ingeniero James C. Thomson para tal época en donde la mayoría de activos bajo tierra se reparaban y renovaban de manera convencional a zanja abierta implicó un hito importante en lo referente a la utilización de métodos alternativos sin zanja como solución a los problemas estructurales y operacionales asociados al deterioro y vulnerabilidad de las redes. De igual manera aspectos como la reducción en la enorme brecha que existía para ese entonces sobre el conocimiento de métodos alternativos para ser aplicados en este campo de la ingeniería, así como la importancia que empezaba a surgir en las ciudades, temas como los aspectos asociados al impacto social y ambiental causados por la intervención al espacio público, empezarían a tener mayor importancia tras la ejecución de este proyecto el cual se constituyó como una de las obras pioneras realizadas en Bogotá con este tipo de métodos.

Otros proyectos como el interceptor Engativá-Cortijo ENCOR están como megaproyectos importantes realizados en la ciudad de Bogotá en lo referente a sistemas de alcantarillado. Esta obra en particular cuenta con cerca de 4 kilómetros de longitud iniciando en la calle 64 con carrera

127-A, luego se dirige hacia el nor-oriente de la ciudad hasta alcanzar el humedal Jaboque, enseguida continua hacia el norte pasando por sectores como Florida de la Sabana y Parques de granada y finalmente al pasar la calle 80 llega hasta la PTAR Salitre. Dentro de su construcción se evitó la afectación al espacio público en importantes sectores de la ciudad como lo fue a la altura de la calle 80 y a la altura del humedal Jaboque ya que durante la instalación se utilizó un método constructivo sin zanja denominado Túnel Liner, técnica que permitió realizar y manipular toda la instalación de manera subterránea evitando así la afectación social y ambiental en estas zonas de la ciudad. La obra igualmente contribuyó con el mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario de esta importante zona de Engativá. (Eaab, 2012). Cabe anotar que estas obras permitieron a la Empresa de Acueducto importantes ahorros frente a lo que habrían costado construirlas mediante sistemas convencionales a zanja abierta.

En el año 2006 se inició con el uso de esta tecnología en la localidad de Fontibón con la instalación y renovación de 50.000 metros lineales de redes; diámetros entre 1.500 y 2.400 mm, que hacen parte del sistema de alcantarillado del sector.

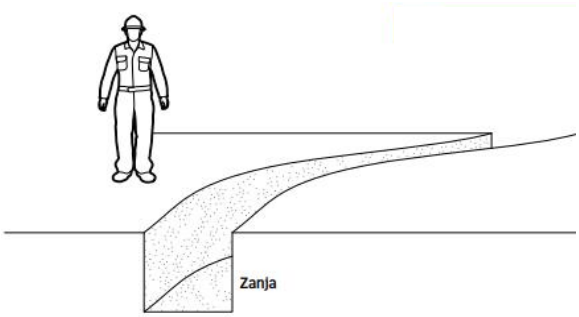
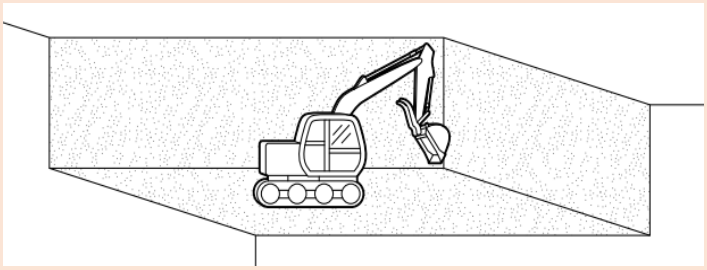
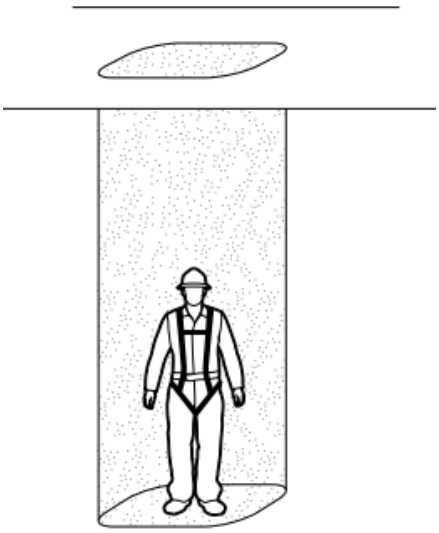
En el año 2007 se inició en la ciudad de Bogotá la construcción del interceptor Tunjuelo con una longitud aproximada de 8.500 m, diámetros entre 2.500 y 2.700 mm

3.7. Estabilidad en excavaciones.

De acuerdo a su definición, una excavación es el corte, cavidad, zanja o depresión hecha por el hombre mediante la remoción de tierra, arena, gravilla, rajón, recebo, suelo, entre otros, adaptado de (MINTRABAJO, 2014).

Dependiendo del tipo de excavación, esta se realiza por medios manuales, mediante el uso de herramientas y personal calificado con experiencia en este tipo de trabajos, o mecánicos, a partir del uso de equipos que posean algún tipo de fuente de potencia que no sea humana. Las excavaciones se pueden dividir en excavaciones por zanja, excavaciones masivas y excavaciones en pozos.

Tabla 1. Tipos de excavaciones.

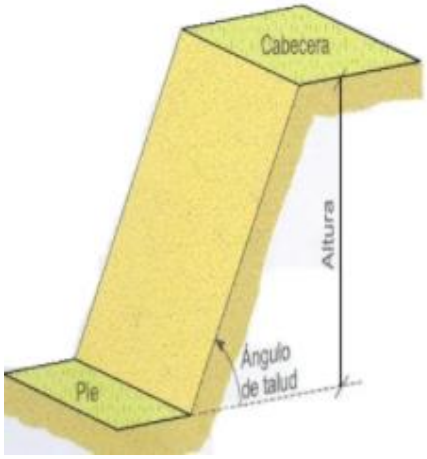
Excavación por zanja: Es una excavación larga y angosta realizada en el terreno y se utiliza para instalar tuberías subterráneas de aguas, electricidad o gas o para construcción de fundaciones superficiales, entre otros usos	
Excavación masiva: Consiste en la remoción de grandes volúmenes de suelo natural. Se realiza complementariamente de forma mecanizada (excavadoras) y manual en la construcción de subterráneos de edificios, caminos, muros de contención, etc.	
Excavación de pozos: Excavaciones ejecutadas verticalmente. Pueden ser de sección circular o cuadrada, y por lo general son de gran profundidad. Se utilizan para la construcción de pilas de entibación, para pozos de reconocimiento de suelos o captación de aguas. En estos casos la excavación generalmente es manual.	

Adaptado de (ACHS, 2013)

De acuerdo al tipo de excavación que se haya realizado, se debe tener en cuenta la estabilidad de esta y así implementar el tipo de protección que se requiera para tal fin, entre estos se encuentran los taludes y escalonadas y los sistemas de entibado.

- ✓ **Taludes:** Esta medida de protección consiste en el corte de las paredes de la excavación con un ángulo respecto a la horizontal que permita que el talud sea estable, este ángulo es determinado por el tipo de suelo, entre más "plano" sea el ángulo de corte, más estable será la excavación.

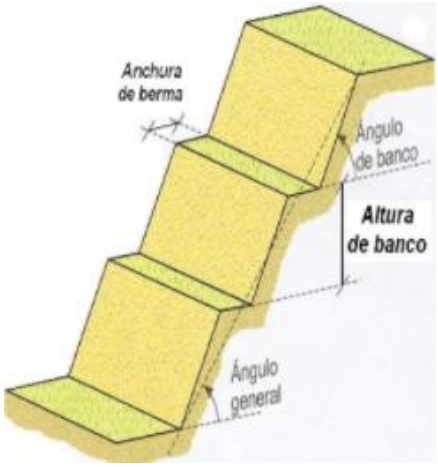
Imagen 13. Corte en talud.



Tomado de (IRVEN, 2010)

- ✓ **Escalonadas:** Consiste en realizar bancas o escalones en las paredes de la excavación, para determinar el ángulo de los escalones se determina una relación de cortes horizontales (anchura de berma) a verticales (altura de banco), solo es útil en suelos cohesivos.

Imagen 14. Corte escalonado



Tomado de (IRVEN, 2010)

- ✓ **Entibado:** Es un sistema diseñado para prevenir derrumbes de las paredes de la excavación pues se apoya a las paredes de la excavación un sistema horizontal y vertical de montantes o planchas. Existen diferentes métodos de entibados, como:
    - Caja de zanja: Se usan para cualquier tipo de suelo en los que se realizan zanjas para la instalación de tubería, pueden tener diferentes formas y tamaños.

Imagen 15. Caja de zanja.



Tomado de (PROTEC EQUIPMENT, 2019)

- Tablestaca: Se utiliza en grandes excavaciones, pero debido a que se requiere el uso de grúas y martillos hinchadores, es un método costoso.

Imagen 16. Sistema tablestacado.



Tomado de (Universitat Politecnica de Valencia, 2014)

- Apuntalamiento: Se colocan apoyos metálicos o de madera para asegurar las paredes de la excavación ya sea de forma temporal o permanente.

Imagen 17. Sistema de apuntalamiento



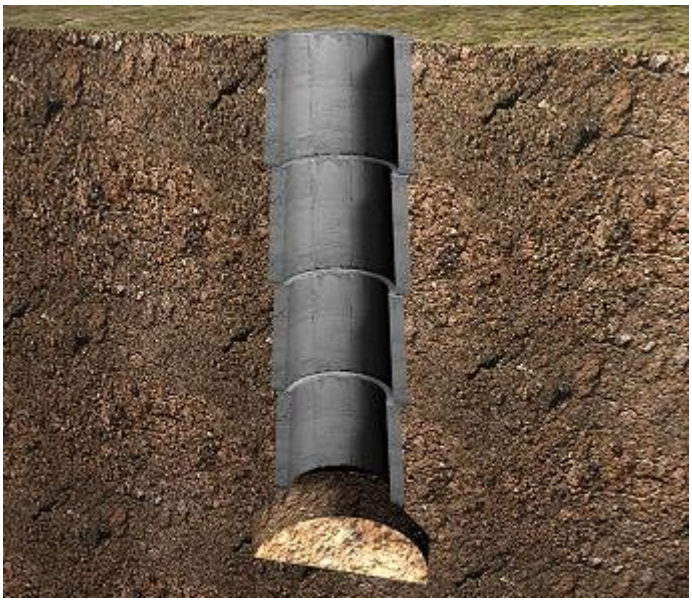
Tomado de (CIMTRONIC, s.f.)

Cuando las excavaciones para pozo sean permanentes, existe un método de protección de la excavación que sirve como estructura de contención y que servirá igualmente como estructura del

elemento que va a servir, el método consiste en la construcción en sitio de pozos permanentes de sección circular usando concreto reforzado. Normalmente ejecutado excavando y fundiendo en concreto, anillos de manera progresiva hasta alcanzar la profundidad deseada. El anillo final contempla la fundición de una placa de suelo en concreto reforzado.

Dada que, para la construcción del siguiente anillo, se requiere que el concreto del anillo anterior se encuentre en condiciones de resistencia óptimas para la estabilización de la excavación, los tiempos de construcción de este tipo de estructuras suelen ser mucho mayores a los requeridos para la construcción de pozos temporales con tablestacas.

Imagen 18. Pozo con anillos tipo Caisson.



Tomado de (CYPE INGENIEROS, s.f.)

3.8. Criterios de construcción y evaluación de edificaciones según NSR-10.

Debido a que Colombia se ubica en una zona de alta sismicidad debido a que su territorio está repartido en tres placas tectónicas, Suramérica, Nazca y Caribe, además tanto la placa Nazco como Caribe subducen bajo la placa Suramérica, lo que hace que Colombia se ubique en una zona de subducción. (Universidad de Los Andes, 2017).

Por dicha razón se han adoptado diferentes reglamentos o códigos para realizar una adecuada construcción de edificaciones en Colombia como han sido El Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes de 1984, el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-

98 y el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el cual se encuentra actualmente en vigencia.

Aunque la NSR-10 determina las pautas para la construcción adecuada de edificaciones sismo resistentes, sus lineamientos pueden ser tenidos en cuenta para la evaluación de las viviendas frente a un evento como lo son las subsidencias generadas en el terreno.

Dentro de los lineamientos que se deben tener en cuenta para realizar la construcción de edificaciones en el territorio colombiano, se encuentran los estudios de suelo, debido a que son imprescindibles para conocer el tipo de suelo y así saber el tipo de materiales y el diseño requerido para la edificación, con el fin de garantizar un comportamiento adecuado de la edificación.

Además, la norma recomienda que las edificaciones posean una forma simple, simétrica respecto a sus ejes y regular para evitar torsiones y así garantizar una mayor estabilidad de la misma; cuando sea inevitable la irregularidad en la edificación, es recomendable dividir la edificación en diferentes módulos independientes y conectados por medio de juntas para garantizar una simetría de los mismos.

Se debe garantizar una alta rigidez de la edificación a partir de una adecuada longitud de muros que se encuentren confinados en los dos sentidos principales de la estructura, igualmente debe poseer una adecuada cimentación que le proporciona resistencia y equilibrio a la edificación y están en función del diseño estructural y de las propiedades del suelo de fundación. La NSR-10 también determina unos límites máximos de asentamientos de las edificaciones que varían en función del tipo de edificación que se está construyendo, de acuerdo al título H del mismo reglamento. La altura de la estructura también es tenida en cuenta, pues es determinante en el peso de la edificación que será trasmitido a la estructura y al suelo.

La calidad de los materiales también es indispensable pues son los encargados de soportar o absorber la energía, por lo tanto, deben poseer una buena calidad y ser certificados y así mismo se deben utilizar la cantidad necesaria de acuerdo al diseño que se haya realizado.

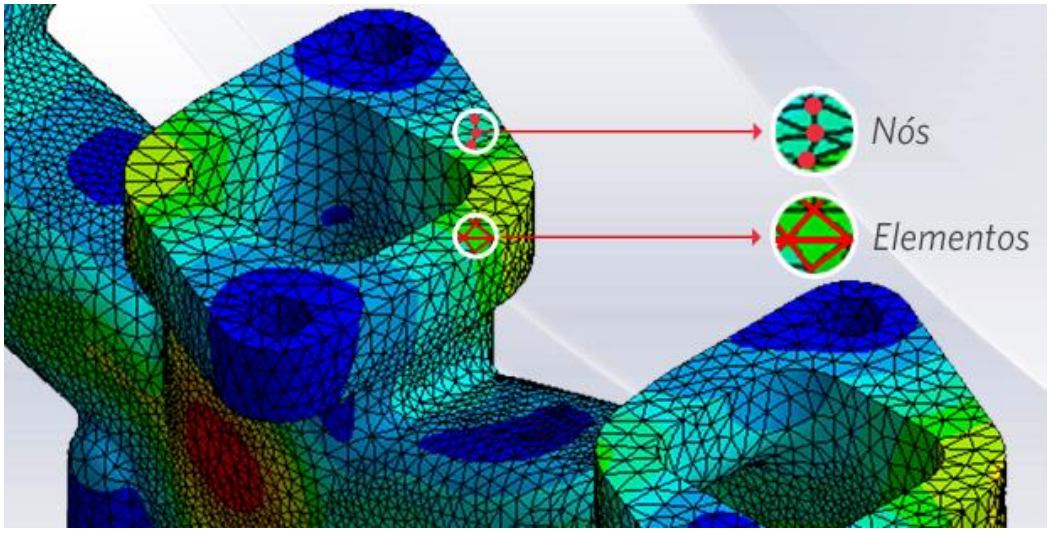
3.9.Método de elementos finitos.

Es un método que consiste en subdividir en partes más pequeñas, conocidas como elementos, una pieza o parte de alguna estructura que se esté analizando, los cuales representan el dominio

continuo del problema. Con la subdivisión de la pieza en partes más pequeñas, se aborda el problema inicial, que posee una alta complejidad, en problemas menos complejos que permite que el programa o software en el que se está realizando el análisis realice el trabajo más eficientemente. (ESSS, 2016)

Las subdivisiones o elementos poseen una forma geométrica definida que puede variar desde un triángulo, un cuadrado, entre otras; cabe aclarar que estas subdivisiones deben tener un número finito de elementos, de allí que el método se denomine como elementos finitos, estos elementos están conectados en sus extremos con otros elementos, estas uniones se denominan nodos y al conjunto de todos los elementos unidos se le denomina malla. El método es más preciso cuando se tiene una mayor cantidad de elementos con un tamaño pequeño. (ESSS, 2016).

Imagen 19. Nodos y elementos de una malla de elementos finitos.



Tomado de (ESSS, 2016)

Este método es aplicado en problemas de análisis estructural, estados de esfuerzos y comportamiento del suelo, entre otras aplicaciones, mediante el cual se pueden obtener desplazamientos, deformaciones y tensiones. El método de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas, las deformaciones y tensiones, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. (Ochoa Diana, 2009)

El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además, el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD) o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica de ingeniería los métodos numéricos (y en particular, los elementos finitos), se convierten en la única alternativa práctica de cálculo. (Ochoa Diana, 2009)

La mayoría de programas o software de modelación en 3D utilizan este método como base para el análisis de los problemas a los que son sometidos, dentro de estos softwares encontramos el PHASE2.

3.10. Políticas públicas de la gestión del riesgo en Bogotá.

En la ciudad de Bogotá existe un instituto encargado de velar por la seguridad de los habitantes de la ciudad en aquellos casos que presenten algún tipo de riesgo y que puedan llegar a comprometer la vida de las personas y la integridad de la infraestructura civil que llegue a verse afectada.

El Instituto Distrital de Gestión del Riesgos y Cambio Climático, IDIGER es el ente regular y encargado de adoptar las políticas públicas de la gestión en la ciudad de Bogotá D.C., quien en articulación con las entidades del Sistema Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático SDGR-CC implementaron un MARCO DE ACTUACIÓN PARA LA RESPUESTA A EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.

De acuerdo a lo determinado en este marco y conforme a lo determinado en la Ley 1523 de 2012, en la ciudad de Bogotá se prestan 16 servicios básicos para la atención a emergencias como se muestra en imagen 20.

Imagen 20. Servicios básicos para la atención de emergencias.

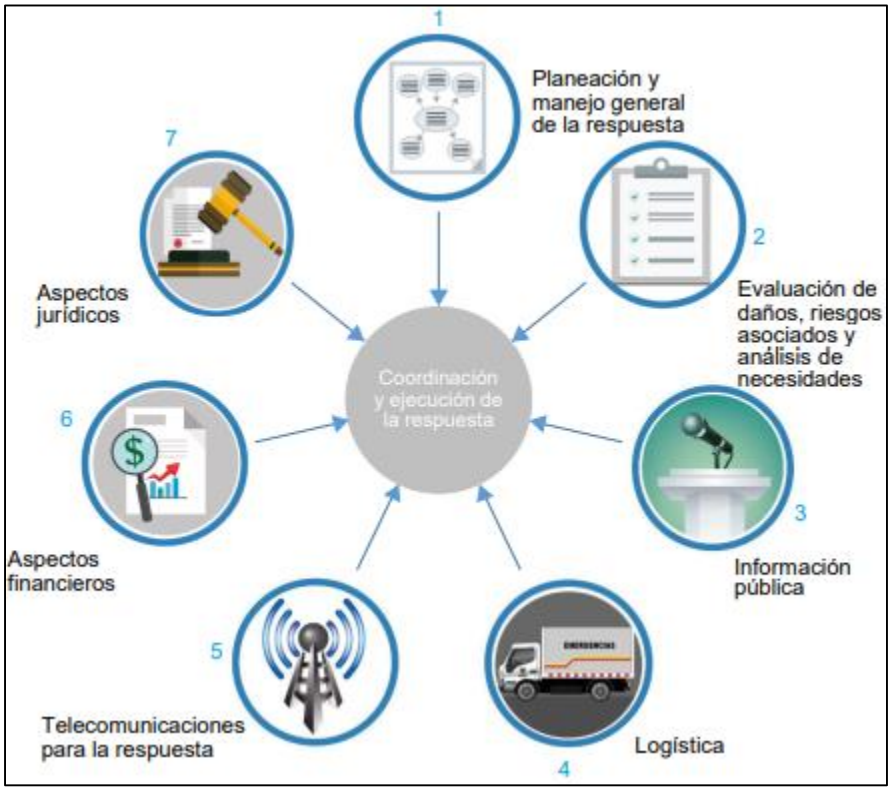


Tomado de (IDIGER, 2017)

Así mismo, se definen las entidades encargadas de prestar los servicios básicos y el debido procedimiento para realizar dichos servicios y los canales y cadenas de mando encargadas para la atención y coordinación, las cuales se dividen en 4 niveles: la red de telecomunicaciones para emergencias, el Puesto de Mando Unificado – PMU en terreno, el Centro de Operaciones de Emergencia – COE y el Consejo Distrital de Gestión de Riesgos. (IDIGER, 2017).

Para garantizar una adecuada atención y coordinación y prestación de los servicios básico por parte de las entidades encargadas para dicho fin, en el marco de atención de emergencias se establecieron 7 funciones de respuesta, como se observa en la imagen 21.

Imagen 21. *Funciones de respuesta.*



Tomado de (IDIGER, 2017)

A partir de lo anteriormente descrito, el marco determinado por el IDIGER presenta las diferentes guías de actuación tanto de los servicios básicos como de las funciones de respuesta en las que se describen las actividades esenciales, recomendaciones de seguridad y pautas para la recuperación. Este Marco de Actuación es aplicable en emergencias o desastres generados por cualquier evento de origen natural, socio natural o antrópico. (IDIGER, 2017).

4. MARCO METODOLÓGICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA EN ENTORNOS URBANOS.

4.1. Introducción.

Según el marco conceptual definido en el capítulo anterior, para determinar el índice de resiliencia, como la relación entre la resiliencia del entorno para dos tiempos definidos (antes y después del evento disruptivo), se deben determinar los cuatro criterios o componentes de la resiliencia.

Este capítulo presenta la metodología utilizada en la determinación de cada uno de los cuatro componentes de la resiliencia a partir de evaluaciones cuantitativas de diferentes aspectos relacionados con los elementos expuestos del entorno urbano: Vías, Senderos peatonales, Redes de Servicios Públicos y Edificaciones, estas evaluaciones contemplan ponderaciones que serán explicadas con detalle más adelante, además se presenta la metodología para estimar el índice de resiliencia del entorno urbano.

4.2. Estimación del índice de resiliencia.

Como se ha dicho anteriormente, la estimación del índice de resiliencia depende de las cuatro componentes que se enmarcan dentro de este concepto, de acuerdo con (Basu D, 2017), la resiliencia en el caso de ellos fue evaluada en un estudio relacionado con escenarios de amenazas naturales , analizando inundaciones y su repercusión en la resiliencia de la infraestructura, este autor establece ecuaciones para cuantificar los componentes de la resiliencia, evaluados en un intervalo de 0 a 1, donde 0 significa que el sistema no posee resiliencia, y 1 cuando el sistema es totalmente resiliente, para el presente caso, se hará uso del criterio anteriormente mencionado, además, el índice de resiliencia se tomó como la relación entre la resiliencia obtenida para un tiempo 1 o inicial, antes del evento disruptivo, y un tiempo 2 que representa el instante después del evento disruptivo, la ecuación presentada es:

$$IR = \frac{R\ (t2)}{R\ (t1)}$$

Ecuación 2. Índice de resiliencia

Para la evaluación cuantitativa de los parámetros de la resiliencia también se propone una ponderación que va de 0 a 1 donde 0 indica una menor representación del parámetro dentro de la resiliencia y 1 es cuando esta reviste mayor representación; esta evaluación se realiza en el área de influencia establecida inicialmente la cual corresponde a 100m a la redonda del CAI El Tejar, pues este punto fue tomado como referencia.

Para la estimación del índice de resiliencia y los componentes se propone que el índice varíe entre 0 y 1, igual que como se realiza con los componentes, además de esto para la evaluación general de cada criterio se propuso una ponderación que va de 0 a 100%, donde entre mayor sea el valor, este aspecto reviste mayor importancia o relevancia en cada caso.

Para proponer las ecuaciones mediante las cuales se evaluará la resiliencia en los dos tiempos mencionados anteriormente, se realiza la consulta bibliográfica correspondiente;(Basu, 2014) indica que los factores que afectan a cada uno de los componentes (robustez, redundancia, capacidad de gestión y recuperación) de la resiliencia, así como cada uno de los componentes antes mencionados, fueron determinados de acuerdo a la importancia que éstos representan en el instante previo al evento disruptivo (t1) y una vez ocurre el evento (t2); (Paolo, Andrei, & Michel, 2010) desarrollaron formulaciones analíticas para medir la resiliencia de las instalaciones físicas de una comunidad sometida a terremotos, se basan en funciones de pérdida y recuperación, además de factores de ponderación o peso que se colocan en función de criterios socio políticos, utilizando el análisis de costos y beneficios y otros factores sociales, un caso más está dado por (Puppala & Das, 2016) , en el que se realiza el análisis de la sustentabilidad y resiliencia para estabilización de taludes con diferentes métodos, en este caso los autores desarrollan ecuaciones en las que se tienen factores de ponderación de acuerdo a la importancia que éstos aspectos tienen dentro de la evaluación propuesta.

Partiendo de lo anterior y del fenómeno estudiado en el presente proyecto, el cual se basa en la aparición de deformaciones en superficie o subsidencias debido al uso de tecnología trenchless, se tiene que el fenómeno de subsidencia de acuerdo con (Cano & Molina, 2011) tiene una clara correlación con los daños superficiales en redes hidráulicas, estructuras civiles e infraestructura urbana, la cual está íntimamente relacionada con los códigos o normativas de construcción seguidos para la construcción, (Sureda, 2010), en su documento *"Efectos de interacción en el estudio del impacto de las subsidencias sobre las edificaciones",* realiza una evaluación del daño potencial de

una edificación debido a movimientos inducidos por la construcción de un túnel, donde se evidencia que la rigidez de la edificación influye de forma decisiva en los efectos que pueda tener sobre ésta los desplazamientos inducidos debido a la excavación de un túnel; además (Basu D, 2017), de acuerdo a la imagen 5, evidencia que una mayor redundancia y robustez (relacionadas con criterios de rigidez) significa una menor reducción en la funcionalidad del sistema; en vista de lo anterior, se propone la siguiente ecuación para la redundancia en el tiempo t1 es decir, antes del evento disruptivo.

$$R\,(t1) \;=\; 0.40\,\mathrm{Rob}_1 \;+\; 0.40\,\mathrm{Red}_1 \;+\; 0.10\,\mathrm{Cg}_1 \;+\; 0.10\,\mathrm{Cr}_1$$

Ecuación 3. Resiliencia en tiempo 1

En la ecuación 3, se asigna un porcentaje de 40% para la robustez y 40 % para la redundancia, teniendo en cuenta que son los componentes que de gran manera definen la capacidad de resiliencia del entorno urbano; estos porcentajes se basan en el análisis realizado por los autores (Cano & Molina, 2011), (Sureda, 2010) y (Basu D, 2017), acerca de la correlación existente entre la robustez y redundancia de la infraestructura con el potencial de daño ante la ocurrencia de subsidencias en el terreno; además de criterios basados en los conceptos de ingeniería referentes a la correlación existente entre la rigidez y redundancia de elementos del entorno con parámetros cuantificables a través de ensayos y/o modelaciones numéricas que representan de manera más acertada la realidad; la asignación de estos valores no cuenta con una referencia totalmente explicita, pues no se tienen estudios relacionados con el objeto del presente proyecto, por lo anterior, esta asignación se determinó de esta manera debido a que según lo consultado, en el instante de tiempo 1, previo al evento disruptivo, la resiliencia de las estructuras depende de la robustez y la redundancia (en términos de rigidez), pues éstas pueden evitar que la ocurrencia del evento afecte de manera significativa su funcionalidad.

Para la capacidad de gestión y recuperación se le asigna una ponderación de 10% a cada una, esto, igual que los anteriores parámetros basados en la importancia que estas tienen cuando el entorno se encuentra en condiciones “normales”, es decir, en el instante de tiempo 1, como es bien sabido, la capacidad de gestión y de recuperación se basan principalmente en la activación de protocolos para la atención de emergencias, para el caso de este instante de tiempo, se tiene en cuenta las acciones de prevención que las entidades de gestión del riesgo realicen. Para el caso en estudio, la

ciudad de Bogotá cuenta con estos protocolos, aunque estos generalmente son activados una vez ocurre una emergencia. Por lo anterior, se asignó esta ponderación para el instante de tiempo1.

Así, los criterios de robustez y redundancia tendrían un peso del 80%, respecto al valor de la resiliencia en el primer tiempo evaluado, entre más altos sean estos valores, el entorno tendrá una mayor capacidad de responder adecuadamente a la ocurrencia de un evento disruptivo y así mismo evitar la pérdida total de su funcionalidad; demostrado con casos similares ocurridos en otros países y ciudades, donde se evidencia que la ausencia de redundancia y robustez previo a la ocurrencia de subsidencias genera pérdida de funcionalidad de elementos del entorno urbano.

Para el caso de la resiliencia una vez a ocurrido el evento disruptivo, se asigna una mayor ponderación a los dos últimos componentes (capacidad de gestión y de recuperación), de acuerdo con (Paolo, Andrei, & Michel, 2010), la capacidad de gestión o resourcefulness está fuertemente relacionada con la redundancia una vez ha ocurrido un evento disruptivo, ya que estos dos juntos pueden disminuir el tiempo de recuperación, y a través de estas dos componentes, la capacidad de recuperación y la robustez pueden actuar para generar una mejora de la funcionalidad del sistema, basado en ello, se formula la ecuación para la resiliencia en el tiempo 2:

$$\mathrm{R\,(t2)} \;=\; 0.30\,\mathrm{Rob}_1 \;+\; 0.20\,\mathrm{Red}_1 \;+\; 0.30\,\mathrm{Cg}_1 \;+\; 0.20\,\mathrm{Cr}_1$$

Ecuación 4. Resiliencia en el tiempo 2.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, la robustez junto con la capacidad de gestión tiene 60% de importancia dentro de la ecuación 4, esto se debe a que las dos están relacionadas entre sí, pues en el segundo tiempo es importante tener entidades y protocolos direccionados a restablecer de manera rápida la funcionalidad, esto se logra teniendo robustez en el sistema que permita una respuesta menos desfavorable a la ocurrencia del evento disruptivo y que permita tener una actuación efectiva de las entidades encargadas para la atención de emergencias, dando suficiente tiempo, por ejemplo, para la evacuación de lugares y solución de otras emergencias provocadas por la ocurrencia del evento disruptivo, el 40% restante fue asignado a la redundancia y la capacidad de recuperación, éste último relacionado con factores ligados a la capacidad de gestión, entidades, presupuestos, actividades económicas, materiales e insumos disponibles, aunque reviste importancia después del evento disruptivo, no se puede dejar de lado la redundancia en el sistema,

por ejemplo, la existencia de suficientes vías alternas permiten la actuación rápida y la gestión para la mitigación del riesgo, recuperación efectiva y rápida de las condiciones previas al evento.

4.3. Determinación criterio de robustez.

La robustez se refiere a la fuerza de los sistemas para soportar un determinado nivel de estrés o demanda sin sufrir una pérdida de funcionalidad. Cuanto mayor sea la robustez del sistema, menor será la probabilidad de que el daño se propague y se produzcan consecuencias graves en él.

Este aspecto involucra la evaluación cuantitativa con parámetros ingenieriles de las principales características referentes a los componentes del entorno urbano o elementos que se encuentran presentes en él y son susceptibles a sufrir deterioro por el evento disruptivo estudiado en el presente proyecto, el cual corresponde a la implementación de la tecnología trenchless en el traslado de redes de acueducto y alcantarillado como interferencias del trazado de la primera línea del metro en la ciudad de Bogotá.

Los principales criterios tenidos en cuenta para la evaluación de la robustez del entorno urbano se basan en simulaciones numéricas, visitas de campo e información secundaria recopilada acerca de las estructuras de pavimento, zonas peatonales y edificaciones existentes en la zona de influencia de las intersecciones referenciadas.

La evaluación de los criterios anteriormente descritos se basa en criterios ingenieriles y el análisis realizado de situaciones similares o estudios realizados con anterioridad, se realiza la unificación de criterios cuantitativos y cualitativos que permitan evaluar de manera integral los componentes del entorno urbano, las ponderaciones dadas se basan igualmente en la bibliografía y demás artículos e investigaciones realizadas con anterioridad.

Evaluación de irregularidades en planta de edificación típica.

De acuerdo a lo anterior y a partir de lo descrito en el título A del Reglamento Colombiano de sismo resistencia NSR-10, en el capítulo A.9, se tienen 6 tipos de irregularidades en planta, se realiza la evaluación de la siguiente manera:

Tabla 2. Ponderación parámetro de irregularidades en planta.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
El sistema estructural no presenta irregularidades en planta.	1
El sistema estructural presenta al menos una irregularidad en planta	0.83
El sistema estructural presenta dos irregularidades en planta	0.66
El sistema estructural presenta tres irregularidades en planta	0.50
El sistema estructural presenta cuatro irregularidades en planta	0.33
El sistema estructural presenta cinco irregularidades en planta	0.166
El sistema estructural presenta seis irregularidades en planta	0

Fuente propia.

La ponderación descrita en la Tabla 2 corresponde a un porcentaje respecto a la robustez y la cantidad de irregularidades en planta (seis irregularidades), teniendo como supuesto una robustez del 100% se asignan las ponderaciones como sigue: si no se tienen irregularidades se le asigna una ponderación de 1, indicando una mayor robustez, si se tiene una irregularidad en planta se tendría un porcentaje de 83%, respecto al 100% de robustez , para este caso la ponderación corresponde a 0.83; así mismo se asigna la ponderación para el caso de tener dos, donde la ponderación corresponde al 66%, es decir, en la tabla 0,66, para el caso de tres se tiene un porcentaje de 50%, teniendo en la tabla un valor de 0,50, así mismo para el caso de tener cuatro o cinco irregularidades en planta, se asigna porcentajes de 33 y 16,6% , para el caso de tener 6 irregularidades en planta , se asigna una ponderación de 0, indicando que la edificación no tendría robustez en este aspecto, al poseer seis irregularidades en planta.

Estas ponderaciones y porcentajes, están basados en el criterio que al tener irregularidades la robustez disminuye, de allí que tener una irregularidad en planta, aunque representa el 16,66% del total de irregularidades, significa que la robustez aún se mantiene, por lo que se realiza la resta entre el 100% y el porcentaje que la cantidad de irregularidades encontradas representa (16,66%).

Evaluación de irregularidades en altura en edificación típica.

De acuerdo con lo anterior y a partir de lo descrito en el título A del Reglamento Colombiano de sismo resistencia NSR-10, en el capítulo A.9, se tienen siete tipos de irregularidades en altura, se realiza la evaluación de la siguiente manera:

Tabla 3. Ponderación parámetro de irregularidades en altura.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
El sistema estructural no presenta irregularidades en altura.	1
El sistema estructural presenta al menos una irregularidad en altura.	0.857
El sistema estructural presenta dos irregularidades en altura.	0.714
El sistema estructural presenta tres irregularidades en altura.	0.571
El sistema estructural presenta cuatro irregularidades en altura.	0.428
El sistema estructural presenta cinco irregularidades en altura.	0.285
El sistema estructural presenta seis irregularidades en altura.	0.142
El sistema estructural presenta siete irregularidades en altura.	0

Fuente propia

La ponderación descrita en la Tabla 3 corresponde a un porcentaje respecto a la robustez y la cantidad de irregularidades en planta (siete irregularidades), teniendo como supuesto una robustez del 100% se asignan las ponderaciones como sigue: si no se tienen irregularidades se le asigna una ponderación de 1, indicando una mayor robustez, si se tiene una irregularidad en planta se tendría un porcentaje de 85,7%, respecto al 100% de robustez , para este caso la ponderación corresponde a 0.857; así mismo se asigna la ponderación para el caso de tener dos, donde la ponderación corresponde al 71,4%, es decir, en la tabla 0,714, para el caso de tres se tiene un porcentaje de 57,1%, teniendo en la tabla un valor de 0,571, así mismo para el caso de tener cuatro o cinco irregularidades en planta, se asigna porcentajes de 42,8 y 28,5% , para el caso de tener 6 irregularidades en planta , se asigna una ponderación de 0, indicando que la edificación no tendría robustez en este aspecto, al poseer seis irregularidades en altura.

Estas ponderaciones y porcentajes, están basados en el criterio que al tener irregularidades la robustez disminuye, de allí que tener una irregularidad en altura, aunque representa el 14,28% del

total de irregularidades, significa que la robustez aún se mantiene, por lo que se realiza la resta entre el 100% y el porcentaje que la cantidad de irregularidades encontradas representa (14,28%).

Evaluación de deflexiones en el pavimento existente.

Un aspecto importante en la evaluación de la robustez del entorno urbano es la rigidez de la estructura de pavimento presente, para esto se realiza una simulación numérica en la que se obtienen las deformaciones de la estructura dadas por las características propias de los materiales y la carga de tránsito impuesta, ésta simulación se realiza por medio del software Phase2; una vez obtenidas estas deflexiones, se comparan con las resultantes de la simulación del uso de tecnología trenchless y con base en ello se define que tan robusto es el sistema una vez ha pasado el evento disruptivo respecto a este aspecto.

Las características de los materiales de la estructura de pavimento están dadas por información secundaria recolectada a través de la página web del metro de Bogotá, además de características típicas de las estructuras de pavimento flexible de la ciudad de Bogotá teniendo en cuenta las características y el tipo de vía en la cual se encuentran las interferencias en estudio.

De acuerdo a lo establecido en el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, en el numeral 1.2.3 referente a hundimientos en el pavimento flexible, se tienen 3 niveles de severidad dependiendo de la magnitud del hundimiento, donde se presenta baja severidad cuando se tiene un hundimiento menor a 20mm, una severidad media cuando se presenta un hundimiento entre 20mm y 40mm y una severidad alta cuando se presenta un hundimiento mayor a 40mm.

Una vez obtenida la deformación de la estructura de pavimento, esta se compara con los niveles de severidad antes descritos cuyo valor se relacionará con la deformación obtenida por el uso de tecnología trenchless, esto basado en la metodología presentada por el Servicio Geológico Colombiano, en su Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. En la tabla 4, se muestra la relación de deformación entre el umbral tolerable, donde este último se refiere al valor de deformación obtenido de la simulación de la estructura de pavimento actual; una vez se tienen estas relaciones se asigna una ponderación, como se muestra a continuación:

Tabla 4. Ponderación de deflexiones en pavimento.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** es <0,2.	1
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,2 y 0,4.	0.80
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,4 y 0,6.	0.60
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,6 y 0,8.	0.40
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,8 y 1,0.	0.20
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 1,0 y 1,2.	0.10
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** es > 1,2	0

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Evaluación de límites de consistencia de la estructura peatonal.

Se debe evaluar de igual manera la robustez de las zonas peatonales presentes en el área de influencia, el estado de éstas puede ser importante y determinante en la evaluación de la resiliencia, para esto se evalúan dos de los principales requisitos definidos por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU en las especificaciones técnicas para Sub bases granulares a utilizar en la construcción de zonas peatonales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se asigna la ponderación en función del cumplimiento o no de los requisitos establecidos en la tabla 512.2 del documento 512-18 Sub base granular para vías peatonales y ciclo rutas con agregados naturales del IDU, teniendo como criterios de evaluación los parámetros de Limite Liquido e Índice de Plasticidad, puesto que la información secundaria no permite establecer de manera clara algún otro parámetro.

De acuerdo a lo anterior se toman los dos criterios antes mencionados como 100% de allí se realiza la asignación de la ponderación de acuerdo a la cantidad de criterios cumplidos por los materiales

presentes en la estructura peatonal, en la tabla 4 se relacionan las ponderaciones con los criterios antes definidos.

Tabla 5. Ponderación rigidez de senderos peatonales.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Si el LL e IP se encuentran dentro de los rangos de la tabla 512.2 del documento 512-18 del IDU	1
Si el LL o IP se encuentran dentro de los rangos de la tabla 512.2 del documento 512-18 del IDU	0.50
Si ni el LL ni el IP se encuentran dentro de los rangos de la tabla 512.2 del documento 512-18 del IDU	0

Fuente propia

En la tabla 5, las ponderaciones de 1, 0,5 y 0, indican que el cumplimiento de los rangos especificados por el IDU en sus documentos técnicos implica una reducción o no en la robustez del entorno urbano, por lo que si el material presente en las zonas peatonales cumple con los requisitos de IP y LL, se puede decir que el material contribuye de manera completa a la robustez, de allí que su ponderación sea asignada como uno (1), para el caso del cumplimiento de alguno de los dos parámetros (LL e IP) se puede asumir que se aporta un 50% de la robustez al solo cumplir uno de los dos criterios, finalmente cuando no se cumple ninguno de los dos criterios se asigna una ponderación de cero (0), indicando que el material no posee las características necesarias para ser clasificado dentro de los parámetros establecidos por el IDU, entregando un nulo aporte a la robustez del sistema; siendo susceptible, en este caso, la estructura peatonal a posibles fallas en su funcionamiento a partir de la aparición de subsidencias o deformaciones en el terreno.

Evaluación de asentamientos en edificaciones.

Una vez realizadas las visitas de campo, y demás recolección de datos, se hace uso de la tabla H.4.9-1 de la Norma Sismo Resistente del 2010, NSR-10, para evaluar los asentamientos diferenciales admisibles de acuerdo con el tipo de edificación típica seleccionada en el área de influencia; éstos valores son contrastados con lo obtenido a través del software phase2 en el uso de tecnología trenchless.

Para este caso también se realiza una relación entre el asentamiento obtenido del software Phase 2 con el umbral tolerable siguiendo la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano en su Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. De acuerdo a lo anterior y a partir de lo dispuesto en la tabla H.4.9-1 de la NSR-10, se tiene que el umbral tolerable depende del tipo de construcción que se esté evaluando.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 6 se describen las relaciones de deformación / umbral tolerable y la ponderación de acuerdo al caso.

Tabla 6. Ponderación de deformaciones en construcciones.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
La relación de ***deformación /*** **umbral tolerable** es <0,2.	1
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,2 y 0,4.	0.80
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,4 y 0,6.	0.60
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,6 y 0,8.	0.40
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,8 y 1,0.	0.20
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 1,0 y 1,2.	0.10
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** es > 1,2	0

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Evaluación de deflexiones en redes de servicios.

Para realizar el análisis de la robustez de redes de tubería flexible y rígida presentes en las interferencias seleccionadas, se hizo uso de la referencia de la Norma ASTM D3034, en la que se tiene que para tuberías flexibles (se hace uso de esta referencia puesto que las redes subterráneas de energía, servicios de telecomunicaciones y algunas de servicios de acueducto y alcantarillado se encuentran en este tipo de material) la deflexión excesiva se establece normalmente en el orden de 7,5% del diámetro de la tubería.

Los criterios para establecer los límites de serviciabilidad de las tuberías flexibles están dados por la deflexión vertical, fluencia de las paredes del tubo por compresión y pandeo de las paredes. Con base en lo anterior, se realiza la comparación entre ese límite de serviciabilidad con la deformación

obtenida en las simulaciones realizadas en el software Phase2, esta deformación se analiza a partir de la profundidad promedio a la cual se encuentran las redes dentro de la zona de influencia.

Para la evaluación de la deflexión en tuberías rígidas en la zona de influencia, se tienen los umbrales admisibles que corresponden al 1% del diámetro de la tubería, de acuerdo a (Perez, 2007)

En la tabla 7 se muestran las ponderaciones dadas para las relaciones de deformación (obtenido en simulación de Phase2) con el umbral tolerable definido a partir de la información anterior para cada tipo de tubería, para evaluar este umbral tolerable en las redes de servicios, se escoge la menor obtenida luego de evaluar este parámetro en las redes correspondientes, posterior a esto se realiza la comparación definida en la tabla 7.

Tabla 7. Ponderación para deflexión de redes de servicio.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** es <0,2.	1
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,2 y 0,4.	0.80
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,4 y 0,6.	0.60
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,6 y 0,8.	0.40
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 0,8 y 1,0.	0.20
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** esta entre 1,0 y 1,2.	0.10
La relación de ***deformación / umbral tolerable*** es > 1,2	0

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Evaluación de fragilidad de edificaciones según su tipología y altura.

Teniendo en cuenta la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano en su Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Se evaluó la fragilidad de las edificaciones presentes en la zona de influencia según la tipología constructiva a la cual pertenecen.

Por lo tanto, de acuerdo al tipo de construcción que se tenga en el área de influencia, se asigna la ponderación correspondiente, teniendo en cuenta que, a mayor fragilidad, menor robustez presenta la estructura.

Tabla 8. Ponderación de la fragilidad de las edificaciones.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Construcciones simples (F) y Estructuras ligeras (E), con número de pisos mayor o igual a 2	0.10
Estructuras con confinamiento deficiente (D), con número de pisos mayor o igual a 4	0.10
Estructuras con confinamiento deficiente (D), con número de pisos entre 2 y 3	0.40
Mampostería reforzada (C), Edificaciones reforzadas (B) y Edificaciones con reforzamiento especial (A) sin importar el número de pisos	0.95

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Fragilidad de vías

Para evaluar este parámetro se establece la relación entre el ancho mínimo de vía para circulación de un vehículo para condiciones adecuadas de tránsito con el ancho real de la vía que se esté evaluando, el resultado de esta relación se considera como la fragilidad, para obtener este parámetro en función de la robustez, se toma el valor obtenido de la resta entre 1 y la relación antes mencionada.

$$S_{ancho} = \frac{3{,}0}{Ancho_{via}}$$

Ecuación 5. Fragilidad de la vía respecto a su ancho.

Fragilidad de redes de servicios.

Para determinar la fragilidad de las redes de servicios que se encuentran en la zona de influencia, para el caso de las redes de acueducto, a partir de lo establecido por el Servicio Geológico

Colombiano en su Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, esta fragilidad va en función del diámetro que posea la red, de igual manera para el caso de las redes de alcantarillado, la fragilidad de esta se determina a partir del material del cual estén fabricadas. Una vez evaluadas las redes y asignada las ponderaciones, se escoge la menor como valor de fragilidad de las redes de servicio, posteriormente se realiza la resta entre 1 y el valor antes escogido para determinar la relación entre la fragilidad y la robustez de las redes.

Tabla 9. Fragilidad de redes de acueducto.

PARÁMETRO	FRAGILIDAD
Si el diámetro es de 1/2"	1
Si el diámetro es de 3/4"	0.44
Si el diámetro es de 1"	0.25
Si el diámetro es de 1 1/4"	0.16
Si el diámetro es de 1 1/2"	0.11
Si el diámetro es de 2"	0.06

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Tabla 10. Fragilidad para redes de alcantarillado.

PARÁMETRO	FRAGILIDAD
Si el material es Asbesto Cemento	0.90
Si el material es Gres	0.44
Si el material es Concreto Simple	0.25
Si el material es Polietileno	0.16
Si el material es Concreto Reforzado	0.11

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Ecuación general de la robustez.

Como se dijo anteriormente, la robustez tiene una mayor relevancia en el tiempo t1, antes de la ocurrencia de un evento disruptivo, siendo esta menor una vez ha ocurrido el evento disruptivo, es decir en el instante de tiempo t2, esta robustez se evaluó por medio de los nueve (9) parámetros antes expuestos, basados en criterios técnicos e ingenieriles.

Una estructura puede ser vulnerable en mayor o menor grado a una amenaza como la subsidencia dependiendo de si fue dañada y construida para resistir tales efectos. La vulnerabilidad depende de varios factores que se tienen que cumplir para poder determinar en qué grado la estructura es vulnerable. Las condiciones de servicio de la estructura, así como la intensidad y el tiempo en que actúan sobre ella son algunos de los factores que se tienen que considerar. Gómez Pedro (2016).

Teniendo en cuenta que la robustez se relaciona de manera significativa con la rigidez y basado en lo anterior, se propone la ecuación general para la robustez.

$$\text{Rob (t)} = 0.05\,R_1 + 0.05\,R_2 + 0.20\,R_3 + 0.05\,R_4 + 0.20\,R_5 + 0.15\,R_6 + 0.10\,R_7 + 0.10\,R_8 + 0.10\,R_9$$

Ecuación 6. Ecuación general criterio de robustez.

En la ecuación 6, los valores R_n corresponden a cada uno de los criterios evaluados anteriormente, se les asignó un valor de importancia de acuerdo a lo explicado, donde los criterios relacionados con deflexiones y fragilidad tienen una mayor ponderación que los demás criterios, pues se relacionan de manera directa con la vulnerabilidad de las estructuras en superficie, las modelaciones realizadas (enfocadas a simular de manera más cercana la realidad), por ejemplo, tienen una mayor relevancia; la evaluación de estos criterios en los dos instantes de tiempo analizados cambian y son más susceptibles a percibir el posible efecto de la ocurrencia de un evento disruptivo, los demás criterios con ponderación de 0,05 y 0,10 permiten evaluar en primera instancia y de manera muy somera el estado actual de las estructuras pero no son determinantes a la hora de la respuesta que estas tienen una vez a ocurrido el evento disruptivo.

4.4. Determinación criterio de redundancia.

La redundancia es entendida como la capacidad que tienen los elementos y/o el sistema de seguir funcionando a pesar de que algunos de sus componentes se deterioren. La redundancia indica la medida en que los elementos o sistemas existentes son sustituibles. La redundancia puede reducir las consecuencias de los fracasos, porque el fracaso del sistema o las unidades redundantes no afectarán significativamente el rendimiento general del sistema.

La estimación de la redundancia se realiza evaluando este criterio en cada uno de los componentes del entorno urbano (vías, edificaciones y redes), se usan criterios cuantitativos y cualitativos de características determinantes, a continuación, los criterios evaluados y las ponderaciones propuestas para estos criterios.

Evaluación de vías alternas.

Teniendo en cuenta que se desea determinar la redundancia en el entorno circundante a la zona donde se haga uso de la tecnología trenchless, es importante tener en cuenta las vías alternas existentes en la zona, de acuerdo al flujo de tránsito, la cantidad de carriles para cada sentido. A continuación, a ponderación propuesta para la evaluación de este parámetro, para asignarle la ponderación es importante realizar un análisis detallado de las vías de desvío dadas por los documentos oficiales de la PLMB.

Tabla 11. Evaluación de vías alternas

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
La zona cuenta con vías alternas en los sentidos de circulación y número suficiente de carriles por el que se pueda tener el mismo flujo de tránsito y permitan realizar el desvío de tráfico en caso de realizar el cierre de la vía.	1
La zona cuenta con vías alternas en los sentidos de circulación y número de carriles por el que se pueda suplir el 70% o más del flujo de tránsito sin que se presenten mayores embotellamientos o flujo lento en las vías alternas por donde se realice el desvío en caso del cierre de la vía.	0.70
La zona cuenta con vías alternas en los sentidos de circulación y número de carriles por el que se pueda suplir entre el 50 y 70% del flujo de tránsito se presentan embotellamientos o flujo lento en las vías alternas por donde se realice el desvío en caso del cierre de la vía.	0.50

La zona cuenta con vías alternas en los sentidos de circulación y número de carriles por el que se pueda suplir entre el 30 y 50% del flujo de tránsito sin que se presenten mayores embotellamientos o flujo lento en las vías alternas por donde se realice el desvío en caso del cierre de la vía.	0.30
Las vías alternas son insuficientes para suplir el flujo de tránsito, con un porcentaje menor al 30%, no se puede realizar el desvío del tráfico en caso de cierre de la vía.	0

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de porcentajes en las vías alternas y las estudiadas en la zona de influencia se hace uso de los datos obtenidos en la información secundaria investigada de los documentos oficiales del metro de Bogotá. Los valores de ponderación se encuentran basados en el porcentaje de flujo de transito suplido por las vías alternas de acuerdo a lo descrito.

Evaluación de grupo de uso de edificaciones.

Teniendo en cuenta la definición de redundancia, es pertinente evaluar si dentro del área de influencia estudiada de una interferencia dada, se cuenta con redundancia de las edificaciones o estructuras con diferentes usos, para esto se tiene la NSR-10 y los grupos de uso en ella descritos, a continuación, la ponderación propuesta:

Tabla 12. Grupo de uso de edificaciones

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Si en el 100% del área de afectación se encuentran varias edificaciones que correspondan a un mismo grupo de edificaciones dentro de un grupo de clasificación.	1
Si en el 100% del área de afectación se encuentra una sola edificación para un grupo de edificaciones dentro de un grupo de clasificación.	0

Fuente: Elaboración propia

Los grupos de clasificación mencionados en la tabla 12, se establecen según la NSR-10 de acuerdo a la tabla 13:

Tabla 13. Grupos de clasificación según NSR-10

Grupo	Uso	Ejemplos
IV	Edificaciones indispensables	Atención a la comunidad, hospitales, clínicas, UCI, urgencias; aeropuertos, sistemas masivos de transporte, refugios para emergencia, centros de control de energía eléctrica, RCI.
III	Edificaciones de atención a la comunidad	Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, prevención y atención de desastres; colegios, universidades, centros de enseñanza.
II	Estructuras de ocupación especial	Donde se reúnan más de 200 personas, graderías al aire libre, centros comerciales, edificios gubernamentales, almacenes, donde trabajen o residan más de 300 personas.
I	Estructuras de ocupación normal	Ocupación normal: las no incluidas en los grupos anteriores.

Fuente: Capitulo A.2.5.1.1 NSR-10 Título A.

Evaluación de redundancia en construcciones típicas.

De acuerdo a la inspección visual y el recorrido realizado en el área de influencia de las interferencias seleccionadas, se tiene que las edificaciones típicas se encuentran en mampostería confinada, por lo que se han tomado algunos criterios dados en el título E de la NSR-10 en el que se especifica la ubicación de columnas de confinamiento, a partir de ello se establecen los parámetros a evaluar; entendiendo que la distribución visualizada de dichas columnas se referencia como un indicador de redundancia estructural, esta evaluación se debe hacer en ambas direcciones, esto con el fin de tener el parámetro más claro.

De lo anterior se tiene que ambas direcciones evaluadas representarían el 100 % de la evaluación, al encontrar que una de las direcciones es redundante, se tendría el 50%, mientras si ninguna de las dos direcciones es redundante, se tendría un 0%, de allí se tiene entonces la tabla 14 la cual representa los parámetros evaluados y la ponderación de cada uno.

Tabla 14. Redundancia de edificaciones.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
La distancia entre columnas del sistema estructural es menor o igual a 35 veces el espesor del muro en ambas direcciones.	1
La distancia entre columnas del sistema estructural es mayor a 35 veces el espesor del muro en una sola dirección	0.5
La distancia entre columnas del sistema estructural es mayor a 35 veces el espesor del muro en ambas direcciones.	0

Fuente: Elaboración propia

Para la asignación de las ponderaciones descritas en la tabla 14, se tiene en cuenta que la evaluación de la redundancia en edificaciones se realiza para ambas direcciones tomados estas dos como el 100%, de allí que cuando se tiene redundancia de elementos estructurales en ambas direcciones se asigne una ponderación de 1, mientras que si esta redundancia se tiene en una sola dirección, se asigna una ponderación de 0,5 indicando que el 50% de las direcciones bajo estudio, es decir una (1) cumple con el criterio normativo, de igual forma cuando no se tiene redundancia en ninguna de las dos direcciones se asigna una ponderación de cero (0), indicando que la redundancia de las edificaciones es nula.

Ecuación general de redundancia.

Para el caso de la redundancia, la ecuación general es propuesta de acuerdo a (Basu D, 2017), el cual menciona que la redundancia es un atributo importante de la resiliencia ya que representa la capacidad de utilizar recursos alternativos cuando los principales no sean suficientes, si el sistema es resiliente, siempre habrá al menos un escenario de recuperación.

De acuerdo a lo anterior, se tiene que el parámetro que reviste mayor importancia es la evaluación de vías alternas, seguido de la redundancia estructural, de allí se tiene la ecuación general de redundancia:

$$\text{Red (t1)} = 0.5\,R_1 + 0.3\,R_3 + 0.20\,R_2$$

$$\text{Red (t2)} = 0.6\,R_1 + 0.3\,R_3 + 0.10\,R_2$$

Ecuación 7. Ecuación general redundancia**.**

Para el instante de tiempo 1, previo a la ocurrencia del evento disruptivo, un buen criterio para la medición de la robustez es la existencia de vías alternas que posibiliten una rápida evacuación por ejemplo, luego de un evento adverso, de allí que se asigne una ponderación del 50%, pues se puede estimar que para el caso del presente proyecto, al ser una zona altamente transitada y de afluencia vehicular, éste criterio es de mayor relevancia, la redundancia en las edificaciones también es un factor importante pues involucra los habitantes del sector mayormente poblado por edificaciones familiares, siendo una zona altamente residencial; estos dos criterios, suman el 80% del total, siendo el 20% restante asignado a la redundancia respecto al tipo de edificaciones que se tiene en la zona.

Para el instante de tiempo 2, es importante tener en cuenta que toma una mayor relevancia las condiciones de redundancia en vías de la zona, así como la redundancia estructural de las edificaciones presentes en la zona; pues la redundancia por ejemplo en las vías, permite que la capacidad de gestión pueda actuar de manera más rápida y eficaz, mientras que la redundancia estructural permite por ejemplo, da tiempo para evacuación pertinente de estructuras que puedan quedar en riesgo de caída de objetos, colapso u otras situaciones.

4.5.Determinación de la capacidad de gestión.

Este criterio contempla aspectos relacionados con actividades económicas, políticas estatales de gestión del riesgo de desastres por parte del distrito y otras entidades involucradas en la atención de emergencias en la ciudad, estas variables permiten establecer si la ciudad cuenta con la capacidad suficiente para la gestión de las consecuencias que puede tener un evento disruptivo en la zona de influencia analizada.

Evaluación de importancia de acuerdo a actividades económicas predominantes.

La ocurrencia de un evento disruptivo como los desplazamientos en superficie, puede generar afectaciones en las actividades económicas desarrolladas en la zona de influencia, la población, grupos especiales y demás características propias de la zona, en este ítem se realiza una evaluación de las actividades económicas predominantes en la zona de acuerdo a actividades de primera necesidad desarrolladas.

Tabla 15. Actividades económicas predominantes

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Se desarrollan actividades económicas de producción y abastecimiento primario, actividades indispensables o de primera necesidad.	1
Se desarrollan actividades industriales, producción y/o distribución de mercancía, producción y/o distribución de productos y servicios de primera necesidad.	0.6
Se desarrollan actividades industriales, producción y/o distribución de mercancía, producción y/o distribución de productos y servicios que no son de primera necesidad.	0.3
Se desarrollan actividades económicas que no son indispensables.	0

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de políticas de gestión de riesgo por parte del IDIGER.

Para la evaluación de este aspecto, se realiza recopilación de información distrital, de acuerdo a políticas adoptadas por parte del distrito, en este caso del IDIGER (Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo).

Debido a que en un territorio pueden ocurrir diversos eventos disruptivos debidos a diferentes procedencias, como inundaciones, movimientos en masa, sismos, entre otros, las políticas de gestión del riesgo deben comprender los diferentes tipos de desastre que puedan tener lugar de acuerdo al tipo de actividad que la pueda desencadenar, para tal fin se realizó una ponderación de las políticas públicas de gestión del riesgo a partir de ciertos parámetros como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Políticas de gestión de riesgo.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Las políticas públicas de la gestión del riesgo comprenden la atención de diferentes eventos o emergencias que se puedan presentar y además posee procedimientos específicos para la atención de emergencias asociadas al evento disruptivo de estudio.	1
Las políticas públicas de la gestión del riesgo comprenden la atención de diferentes eventos o emergencias que se puedan presentar pero no posee procedimientos específicos para la atención de emergencias asociadas al evento disruptivo de estudio.	0.6
Las políticas públicas de la gestión del riesgo comprenden la atención de diferentes eventos o emergencias que se puedan presentar pero no poseen un amplio rango de eventos que puedan atender.	0.4
Las políticas públicas de la gestión del riesgo son deficientes y no contemplan la atención de los diferentes riesgos o emergencias que se puedan presentar.	0

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de la articulación de las políticas de gestión de riesgo del IDIGER y otros entes.

Para la evaluación de este aspecto, al igual que en el ítem anterior, se realizó una recopilación de información distrital, de acuerdo a políticas adoptadas por parte del distrito, en este caso del IDIGER (Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo).

Como se dijo anteriormente, en un territorio se puede presentar gran variedad de eventos disruptivos que deben ser atendidos, es por esto que deben existir diferentes actores o entidades que tengan la capacidad técnica y logística para atenderlos en el menor tiempo posible y evitar pérdidas mayores que puedan ocurrir, para tal fin se realizó una ponderación de las políticas públicas de gestión del riesgo a partir de ciertos parámetros como se muestra en la tabla 17:

Tabla 17. Articulación de políticas

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Dentro de las políticas públicas de la gestión del riesgo existe un amplio rango de instituciones públicas y/o privadas encargadas de atender los diferentes eventos que se puedan presentar causados por un evento disruptivo de cualquier tipo.	1
Dentro de las políticas públicas de la gestión del riesgo existen algunas instituciones públicas y/o privadas encargadas de atender los diferentes eventos que se puedan presentar causados por un evento disruptivo de cualquier tipo.	0.4
Dentro de las políticas públicas de la gestión del riesgo hay deficiencia de instituciones públicas y/o privadas que puedan atender los diferentes eventos que se puedan presentar causados por un evento disruptivo de cualquier tipo.	0

Fuente: Elaboración Propia

Ecuación general de capacidad de gestión.

La capacidad de gestión entendida como la identificación de problemas, establecimiento de prioridades, movilización de recursos, contribuye a reducir el tiempo que tarda el sistema en recuperarse (Basu D, 2017). Basado en ello, y en los parámetros descritos anteriormente, se consideró que las políticas de gestión de riesgo resultan ser las más relevantes puesto que conllevan la movilización de recursos y actividades que contribuyen a una rápida recuperación del sistema, de allí se propone la ecuación general para la capacidad de gestión en los instantes de tiempo:

$$\mathrm{Cg\,(t1)} = 0.4\,\mathrm{R_1} + 0.3\,\mathrm{R_2} + 0.3\,\mathrm{R_3}$$

$$\mathrm{Cg\,(t2)} = 0.2\,\mathrm{R_1} + 0.4\,\mathrm{R_2} + 0.4\,\mathrm{R_3}$$

Ecuación 8. Ecuación general capacidad de gestión.

Debido a que antes de la ocurrencia del evento disruptivo (instante de tiempo t1), son más relevantes las actividades económicas que se realizan en la zona de influencia, dicho parámetro posee una ponderación del 40% dentro de la ecuación para el cálculo de la capacidad de gestión en el tiempo 1, las políticas por parte del Idiger y la articulación de éstas con otros entes encargados de ciertas actividades y procesos, suman el 60% del total, teniendo cada uno una asignación de 0,3

esto en vista de que la ciudad de Bogotá cuenta con los protocolos y políticas de gestión asociadas al riesgo.

En el momento en que ya ha ocurrido el evento disruptivo (Instante de tiempo t2), se da mayor relevancia a los parámetros relacionados con las políticas de gestión del riesgo, pues son los entes de gestión del riesgo, los encargados de agilizar y de gestionar de manera oportuna los recursos, actividades y demás acciones pertinentes a recuperar de manera rápida la funcionalidad del sistema.

4.6. Determinación criterio de Recuperación.

La recuperación se refiere a la capacidad de atender prioridades y alcanzar logros en un periodo de tiempo con el fin de contener las pérdidas y evitar pérdidas futuras, también se puede entender como la habilidad de reconstruir y/o regresar a las operaciones normales de una forma rápida y eficiente después de un evento disruptivo, en donde actúan planes de contingencia elaborados cuidadosamente, operaciones de emergencia competentes y la importancia de tener el personal y recursos idóneos en los lugares correctos. Para la evaluación de este concepto se tienen en cuenta los mismos criterios evaluados en la capacidad de gestión, pero dándole una ponderación diferente.

Evaluación de actividades económicas.

La ocurrencia de un evento disruptivo como los desplazamientos en superficie, puede generar afectaciones, esto requiere insumos, materiales, herramientas, personal, entre otros, para lograr una recuperación rápida, teniendo esto en cuenta, es necesario que dentro de la zona afectada se desarrollen actividades económicas que contribuyan a la recuperación de la zona. En este ítem se realiza una evaluación de las actividades económicas en la zona de acuerdo a lo descrito anteriormente.

Tabla 18. Actividades económicas para capacidad de recuperación.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Se desarrollan actividades económicas que puedan proveer de insumos, materiales, equipos, herramientas y demás elementos necesarios para la pronta recuperación (zona de influencia).	1
Se desarrollan actividades económicas que puedan proveer de insumos, materiales, equipos, herramientas y demás elementos necesarios para la pronta recuperación (fuera de la zona de influencia, pero en localidades cercanas).	0.5
No se desarrollan actividades económicas que puedan proveer de insumos, materiales, equipos, herramientas y demás elementos necesarios para la pronta recuperación (tanto en la zona de influencia como en localidades cercanas).	0

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de la articulación de las políticas de gestión de riesgo del IDIGER y otros entes.

Para la evaluación de este aspecto, al igual que en el ítem anterior, se realizó una recopilación de información distrital, de acuerdo a políticas adoptadas por parte del distrito, en este caso del IDIGER (Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo).

Como se dijo anteriormente, en un territorio se puede presentar gran variedad de eventos disruptivos que deben ser atendidos, es por esto que deben existir diferentes actores o entidades que tengan la capacidad técnica y logística para atenderlos en el menor tiempo posible y evitar pérdidas mayores que puedan ocurrir, para tal fin se realizó una ponderación de las políticas públicas de gestión del riesgo a partir de ciertos parámetros como se muestra en la tabla 19:

Tabla 19. Articulación de políticas en capacidad de recuperación.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Dentro de las políticas públicas de la gestión del riesgo existe un amplio rango de instituciones públicas y/o privadas encargadas de atender los diferentes eventos que se puedan presentar causados por un evento disruptivo de cualquier tipo.	1
Dentro de las políticas públicas de la gestión del riesgo existen algunas instituciones públicas y/o privadas encargadas de atender los diferentes eventos que se puedan presentar causados por un evento disruptivo de cualquier tipo.	0.4
Dentro de las políticas públicas de la gestión del riesgo hay deficiencia de instituciones públicas y/o privadas que puedan atender los diferentes eventos que se puedan presentar causados por un evento disruptivo de cualquier tipo.	0

Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de políticas de gestión de riesgo por parte del IDIGER.

Para la evaluación de este aspecto, se realiza recopilación de información distrital, de acuerdo a políticas adoptadas por parte del distrito, en este caso del IDIGER (Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo).

Debido a que en un territorio pueden ocurrir diversos eventos disruptivos debidos a diferentes procedencias, como inundaciones, movimientos en masa, sismos, entre otros, las políticas de gestión del riesgo deben comprender los diferentes tipos de desastre que puedan tener lugar de acuerdo al tipo de actividad que la pueda desencadenar, para tal fin se realizó una ponderación de las políticas públicas de gestión del riesgo a partir de ciertos parámetros como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Políticas de gestión de riesgo en recuperación.

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Las políticas públicas de la gestión del riesgo comprenden la atención de diferentes eventos o emergencias que se puedan presentar y además posee procedimientos específicos para la atención de emergencias asociadas al evento disruptivo de estudio.	1
Las políticas públicas de la gestión del riesgo comprenden la atención de diferentes eventos o emergencias que se puedan presentar pero no posee procedimientos específicos para la atención de emergencias asociadas al evento disruptivo de estudio.	0.6

Las políticas públicas de la gestión del riesgo comprenden la atención de diferentes eventos o emergencias que se puedan presentar pero no poseen un amplio rango de eventos que puedan atender.	0.4
Las políticas públicas de la gestión del riesgo son deficientes y no contemplan la atención de los diferentes riesgos o emergencias que se puedan presentar.	0

Fuente: Elaboración Propia

Ecuación general de capacidad de recuperación.

La capacidad recuperación se refiere a la capacidad de atender prioridades y alcanzar logros en un periodo de tiempo con el fin de contener las pérdidas y evitar pérdidas futuras, también se puede entender como la habilidad de reconstruir y/o regresar a las operaciones normales de una forma rápida y eficiente después de un evento disruptivo, en donde actúan planes de contingencia elaborados cuidadosamente, operaciones de emergencia competentes y la importancia de tener el personal y recursos idóneos en los lugares correctos; de acuerdo a esta definición, mostrada en el capítulo 3 del presente documento, se propone la siguiente ecuación:

$$\mathrm{Cr\ (t1)} = \ 0.4\ \mathrm{R_1}\ +\ 0.3\ \mathrm{R_2}\ + 0.3\ \mathrm{R_3}$$

$$\mathrm{Cr\ (t2)} = \ 0.4\ \mathrm{R_1}\ +\ 0.3\ \mathrm{R_2}\ + 0.3\ \mathrm{R_3}$$

Ecuación 9. Ecuación capacidad de recuperación.

Para este caso, se asigna una mayor importancia a las actividades económicas que se encuentren en la zona de influencia o en localidades cercanas y que sean necesarias para ayudar a la recuperación de la zona que se pueda ver afectada por el evento disruptivo, sin embargo, los otros dos parámetros relacionados con las políticas de gestión del riesgo, también son determinantes en la capacidad de recuperación que pueda tener el entorno urbano antes y después de la ocurrencia del evento disruptivo.

4.7.Resumen

En este capítulo se presentaron los criterios a evaluar en cada componente de la resiliencia con sus respectivos parámetros y ponderaciones seleccionadas, esto basado en criterios ingenieriles y en la bibliografía existente ((Basu D, 2017), (Basu, 2014), (Alampalli, 2017), (Colombiano, 2016), (Cano & Molina, 2011), (IDIGER, 2017), (Mitchell & K, 2012), (Paolo, Andrei, & Michel, 2010), (Puppala & Das, 2016), (Sureda, 2010)) referente a las características propias de los elementos presentes en el entorno urbano de la zona de influencia para las interferencias que se describirán en el capítulo siguiente.

A continuación, un resumen de las ecuaciones presentadas anteriormente, con las cuales se realizará la estimación de la resiliencia para el caso en estudio.

- **Ecuación del índice de resiliencia.**

$$IR = \frac{R\,(t2)}{R\,(t1)}$$

- **Ecuación general para la estimación de la resiliencia en los tiempos t1 y t2.**

$$\mathrm{R\,(t1)} = 0.40\,\mathrm{Rob}_1 + 0.40\,\mathrm{Red}_1 + 0.10\,\mathrm{Cg}_1 + 0.10\,\mathrm{Cr}_1$$

$$\mathrm{R\,(t2)} = 0.30\,\mathrm{Rob}_1 + 0.20\,\mathrm{Red}_1 + 0.30\,\mathrm{Cg}_1 + 0.20\,\mathrm{Cr}_1$$

- **Ecuación general de robustez**

$$\mathrm{Rob\,(t)} = 0.05\,\mathrm{R}_1 + 0.05\,\mathrm{R}_2 + 0.20\,\mathrm{R}_3 + 0.05\,\mathrm{R}_4 + 0.20\,\mathrm{R}_5 + 0.15\,\mathrm{R}_6 + 0.10\,\mathrm{R}_7 + 0.10\,\mathrm{R}_8 + 0.10\,\mathrm{R}_9$$

- **Ecuación general de redundancia**

$$\mathrm{Red\,(t1)} = 0.5\,\mathrm{R}_1 + 0.3\,\mathrm{R}_3 + 0.20\,\mathrm{R}_2$$

$$\mathrm{Red\,(t2)} = 0.6\,\mathrm{R}_1 + 0.3\,\mathrm{R}_3 + 0.10\,\mathrm{R}_2$$

- **Ecuación general de la capacidad de gestión.**

$$\mathrm{Cg\,(t1)} = 0.4\,\mathrm{R}_1 + 0.3\,\mathrm{R}_2 + 0.3\,\mathrm{R}_3$$

$$\mathrm{Cg\,(t2)} = 0.2\,\mathrm{R}_1 + 0.4\,\mathrm{R}_2 + 0.4\,\mathrm{R}_3$$

- **Ecuación general de la capacidad de recuperación.**

$$Cr\ (t1) = \ 0.4\ R_1\ +\ 0.3\ R_2\ + 0.3\ R_3$$

$$Cr\ (t2) = \ 0.4\ R_1\ +\ 0.3\ R_2\ + 0.3\ R_3$$

5. LOCALIZACIÓN DE LAS INTERFERENCIAS SELECCIONADAS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ENTORNO URBANO ESTABLECIDOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA.

5.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan para las interferencias seleccionadas, principales características geotécnicas y su zona de influencia, la descripción general y características de la zona, como lo son su ubicación geográfica, descripción de las características de elementos del entorno urbano presentes, condiciones geotécnicas e información secundaria recopilada; estos parámetros son claves para lograr una buena caracterización de la zona y así realizar una correcta y acertada evaluación de los criterios que permitan determinar el índice de resiliencia de la zona de influencia en las interferencias.

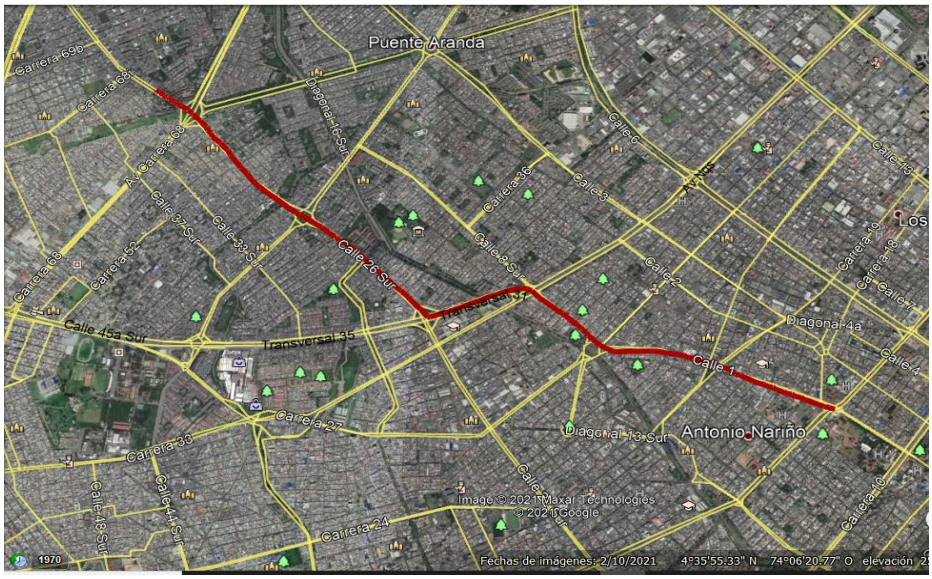
Para la elección de las interferencias en estudio, se tuvo en cuenta su variación en cuanto al tipo de servicio, diámetro de tubería y profundidad de excavación, estas interferencias pertenecen al tramo B1 de la primera línea del metro de Bogotá el cual está comprendido de la **Av. 1 de mayo con carrera 68f hasta la Av. Caracas con calle 1;** para estas interferencias se cuenta con la información (documentos, estudios geotécnicos y planos de las redes e interferencias a trasladar) brindada por el Ingeniero Jorge Arturo Pineda; además de esto, se tienen datos, revisiones bibliográficas y demás información secundaria obtenida a través de visitas técnicas y documentos de fuentes electrónicas principalmente.

En los próximos ítems se hará la descripción detallada de la localización de las interferencias, su área de influencia, pavimento y senderos peatonales presentes, así como las principales características del sistema estructural de las edificaciones presentes en la zona y la existencia de redes eléctricas, gas, acueducto, acueducto y telecomunicaciones existentes; todo esto en la zona de influencia establecida para las intersecciones.

5.2. Localización de las interferencias seleccionadas para el análisis

Las interferencias, como se ha dicho antes pertenecen al tramo B1 de la primera línea del metro de Bogotá, el cual se encuentra comprendido entre la Av. 1 de mayo con carrera 68 f hasta la Av. Caracas con calle 1.

Imagen 22. Localización tramo B1.



Fuente: Google Earth

Dentro de las especificaciones técnicas de la primera línea del metro de Bogotá, se estableció una zona de influencia para los pilotes del viaducto, definiendo así las redes húmedas y secas que requieren de un traslado anticipado. El catastro de redes realizado por la EAAB se cruzó con la ubicación de las estructuras para definir las redes que muestran afectación para proyectar su traslado a los corredores definidos para su implantación de acuerdo con los criterios técnicos definidos por la EAAB.

El pre diseño realizado permitió a cada una de las redes con interferencia proyectar su traslado en las mismas condiciones que presentan las redes existentes a los espacios definidos por el urbanismo de cada sector, permitiendo estimar las cantidades de redes con sus diámetros y elementos requeridos.

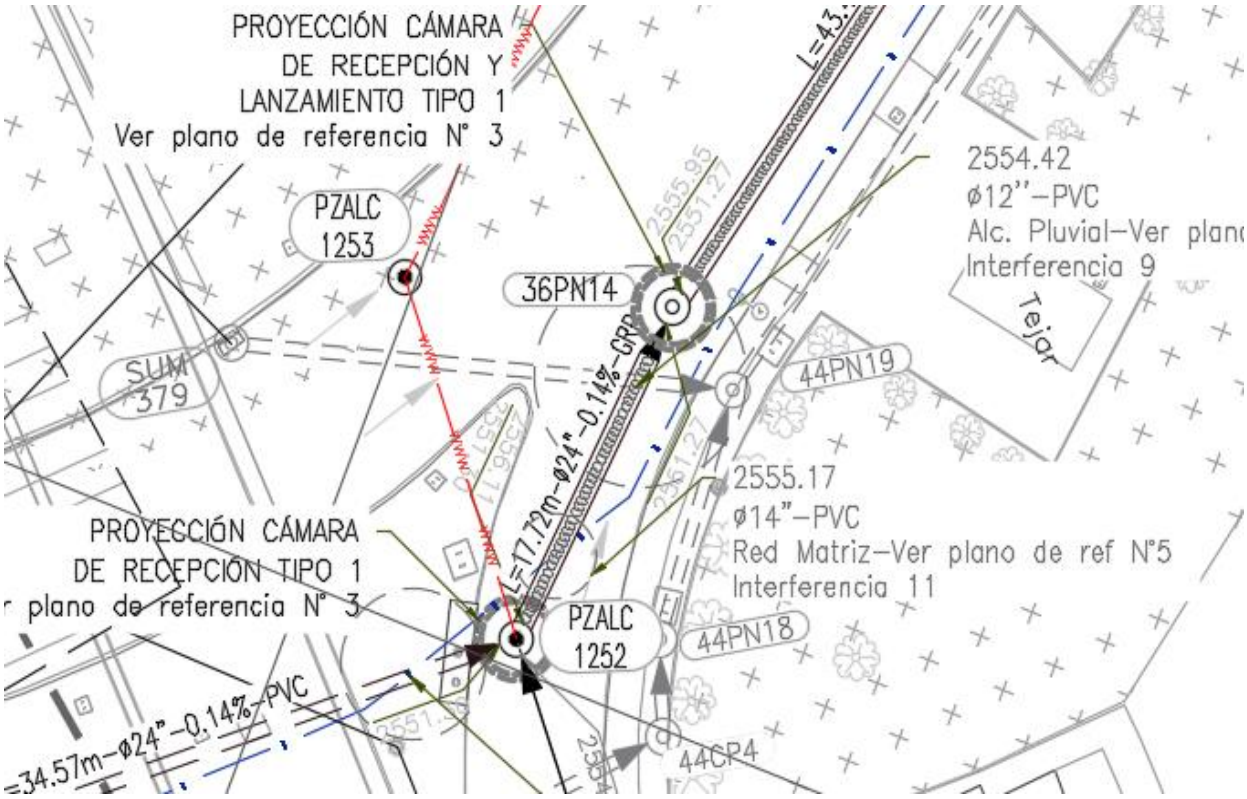
De allí se definió que para el tramo B1 se presentan 39 interferencias, las cuales varían en su diámetro, longitud y sistema al cual pertenecen, presentando todas condiciones diferentes para su

traslado, a continuación, se muestran las características más relevantes de las interferencias seleccionadas para la realización del presente proyecto.

- **Interferencia 1 – B1 36 GLO 1 MAYO AV 68**

Se trata de una interferencia ubicada en la glorieta de la Av 1 de mayo con 68, es de alcantarillado sanitario con un diámetro de 24'', tiene una longitud de 17,7 m, el material de la tubería es de PVC, para este caso se realizará una instalación tipo GBM (Véase capítulo 3).

Imagen 23. Localización interferencia B1-36.



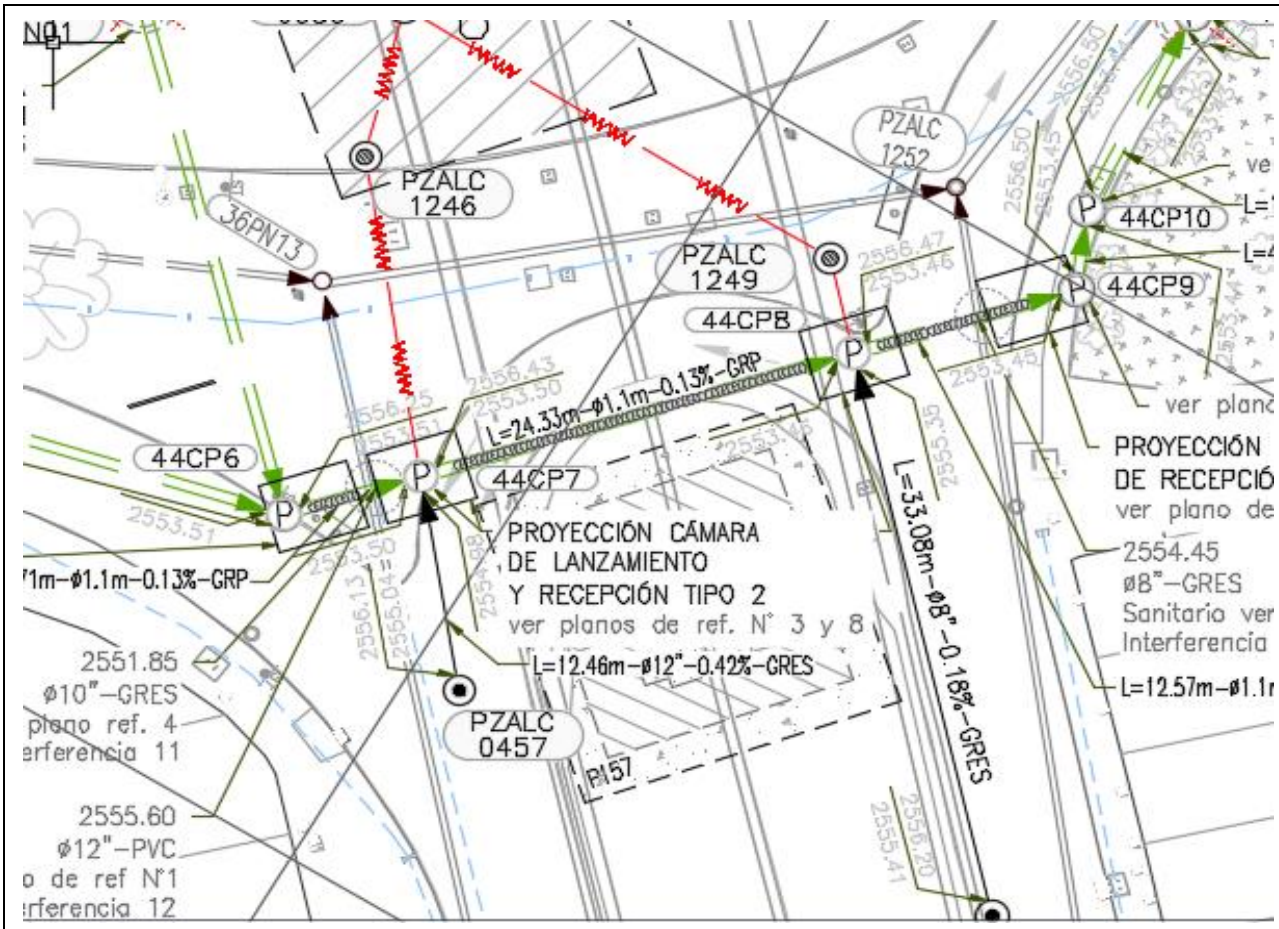
Pozo inicial: PZALC1252	**Pozo final:** 36PN14
Coordenadas (N,E): 101419,08; 94360,86	**Coordenadas (N,E):** 101461,32;94372,41

Fuente: Planos consorcio metro acueducto 528.

- **Interferencia 2 – B1 44 45 46 GLO 1 MAYO KR 68**

Se trata de una interferencia ubicada en la glorieta de la Av. 1 de mayo con 68. Es de alcantarillado pluvial con un diámetro de 43’’, tiene una longitud de 24,33 m, el material que se tendría para la tubería es de GRP, se hará también una instalación tipo GBM (Véase capítulo 3).

Imagen 24. Localización interferencia B1-44 45 46



Pozo inicial: 44CP7	**Pozo final:** 44CP8
Coordenadas (N, E): 101372,34;94344,72	**Coordenadas (N, E):** 101390,41;94361,02

Fuente: Planos consorcio metro acueducto 528.

5.3. Caracterización geotécnica de las intersecciones.

Para la caracterización geotécnica de la zona de influencia de las interferencias seleccionadas se tiene en cuenta el documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0, titulado “Informe de diseño geotécnico de cimentaciones del proyecto”, además el documento del consorcio Metro Acueducto 528 titulado “ESTUDIO GEOTÉCNICO TRAMO B1”, a partir de las exploraciones geotécnicas realizadas por ambos consorcios, se define la estratigrafía y principales características de resistencia de las capas de suelo.

5.3.1. Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0 – Consorcio Metro Bog.

En este documento se evidencia el resumen de las exploraciones geotécnicas realizadas por el consorcio y los parámetros de resistencia establecidos.

Se tiene entonces, los sondeos relacionados a continuación, realizados en la zona de influencia del presente proyecto, por medio de estas exploraciones geotécnicas

Imagen 25. Ubicación de sondeos realizados por el consorcio Metro Bog.





Fuente: Planos consorcio metro bog, anexos Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0.

Tabla 21. Perforaciones localizadas en la intersección de estudio.

Sondeo	Profundidad (m)	Ejecutó
PMLB-PT-AV68-01	75.45	CONSORCIO SISTRA-INGETEC 2017
PMLB-PT-AV68-02	75.10	CONSORCIO SISTRA-INGETEC 2017
PMLB-CPT-AV68-01	22.17	CONSORCIO SISTRA-INGETEC 2017
SE2-01	50	CONSORCIO LINEA 2017
SE2-02	50	CONSORCIO LINEA 2017
SE2-03	50	CONSORCIO LINEA 2017
SE2-04	50	CONSORCIO LINEA 2017
SL2-03	50	CONSORCIO LINEA 2017
SL2-05	50	CONSORCIO LINEA 2017

Fuente: Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0. Consorcio Metro Bog.

En general, la estratigrafía está conformada por una capa de arcilla con trazas de arena de espesor promedio 10 m, plasticidad baja a media y consistencia firme, seguido del anterior estrato se tiene un estrato de arena limosa, no plástica y densidad suelta a medio suelta, éste estrato tiene un espesor promedio de 3 m, a partir de aproximadamente los 13 m y hasta los 50 m de profundidad se encontró una arcilla limosa de plasticidad alta y consistencia media a alta, intercalados con trazas de arenas limosas, finalmente y hasta los 75 m de profundidad se observó un estrato de arcilla arenosa de plasticidad media con trazas de arena, de consistencia firme.

En la siguiente tabla se resumen los parámetros geotécnicos dados para la intersección en estudio:

Tabla 22. Parámetros geotécnicos en la intersección de estudio.

PROF. (m)		**COMPORTAMIENTO**	γ **(kN/m³)**	ϕ **(°)**	N_{60}	**IP (%)**	**Su (kPa)**	**E (MPa)**
0,0	10,0	COHESIVO	17,7	32	19	18	59	31
10,0	13,5	GRANULAR	17,0	36	27	8	-	20
13,5	50,0	COHESIVO	16,7	33	28	23	71	21
50,0	75,0	COHESIVO	19,1	29	48	17	89	44

Fuente: Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0. Consorcio Metro Bog

Según el mismo documento, el primer trazado de la linea del metro se dividió en zonas homogeneas a las cuales se les dio una caracterización geotécnica particular de acuerdo a los resultados de los sondeos realizados.

Para la zona de estudio, se tiene que la zona homogenea corresponde a la 2,1; la cual se encuentra comprendida entre la Av. Primera de Mayo con carrera 68h y la Av. Primera de Mayo con carrera 51ª. La caracterización geotécnica se realiza teniendo en cuenta que se consideran estratos de suelo netamente cohesivos, esto de acuerdo al índice de plasticidad y presencia de finos en el suelo. A partir de la informacion primaria y secundaria, se relizaron mediciones directas e indirectas para la obtencion de valores de resistencia al corte no drenado (Su), se relizaron ensayos de compresión inconfinada, veletas de campo, SPT y correlaciones de este. Para los estratos que presentan comportamiento granular se realizaron mediciones que se relacionan directamente con el angulo de fricción a partir de ensayos de pruebas de corte directo, correlaciones a partir del SPT, pruebas triaxiales.

En este caso, en el tramo 2,1 se caracteriza por presentar un comportamiento principalmente cohesivo con lentes de arena presentes a diferentes profundidades, presentandose en los primeros cinco metros un estrato arcillosos con humedad promedio de 25%, indice de plasticidad promedio de 30%, de 5 a 24 m se presenta un estrato limo arcilloso con algo de arena, presentándose valores de humedad del 5%, indice de plasticidad promedio de 14%, entre 4 y 33 m se evidencia un estrato de comportamiento cohesivo, humedad natural del 5% y un indice de plasticidad de %, el siguiente estrato consiste en una arcilla arenosa con humedades entre el 25 y 40 % e indices de plasticidad entre el 8 y el 10%, sigue un estrato de arcilla limosa con algo de arena, porcentaje de humedad del 20%, indice de plasticidad del 7%, en la tabla 23 se encuentra el resumen de lo descrito anteriormente.

Tabla 23. Estratigrafía para tramo 2.1

PROF. (m)		**COMPORTAMIENTO**
0,0	5	Arcilla con algo de limo con tonalidades gris claro y marrón amarillento, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
5	24	Arcilla con lentes de limo y arena con tonalidades gris verdoso, verde oliva y marrón oliva, humedad baja, plasticidad media, consistencia medio firme.
24	33	Arcilla con algo de limo de tonalidades marrón oliva a marrón oscuro amarillento, humedad media, plasticidad alta, consistencia firme.
33	40	Arcilla de tonalidades gris pardusco a marrón oscuro amarillento con lentes de arena limosa, humedad baja, plasticidad alta, consistencia firme.
40	75	Arcilla con lentes de limo y arenas limosas de tonalidades marrón oliva a marrón oscuro, humedad baja, plasticidad media, consistencia muy firme.

Fuente: Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0. Consorcio Metro Bog

A continuacion en la tabla 24 se muestra el resumen de parámetros de resistencia del suelo obtenidos para la estratigrafia mostrada en la tabla 23.

Tabla 24. Parámetros de resistencia estratigrafía tramo 2.1

PROF. (m)		Su (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)
0,0	5	68		48,6
5	24	43		20,1
24	33	64		24,5
33	40	77		24,5
40	75	109		46,6

Fuente: Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0. Consorcio Metro Bog

5.3.2. Documento Estudio geotécnico tramo B1 consorcio metro acueducto 528.

En este documento, se tienen en cuenta los sondeos realizados y los sondeos de informacion secundaria recopilada para establecer el perfil estratigráfico típico del subsuelo para el tramo B1, teniendo como caracteristicas sueos de tipo arcilloso con algunos lentes de arena muy delgados; se realiaron correlaciones (analisis de SPT para encontrar parámetros de resistencia del suelo) y calculos directos respectivos de acuerdo a los ensayos realizados, a continuación se presenta en la tabla 25 un resumen de la caracterizacion geotenica realizada por el consorcio para las interferencias en estudio.

Tabla 25. Parámetros de resistencia consorcio metro acueducto**.**

Interferencia	Nivel freático (m)	Clasificación	γ (kN/m³)	ϕ' (°)	Wn (%)	Su (kPa)	E (MPa)
B1-44	3	Relleno	20			10	6
		CL	19.5	28.9	21.10	28.9	13.2
		ML	17	21.12	22.8	21.12	5.4
B1-36	13	Relleno	20	22		10	6
		CL	17	24.35	29.4	57	7.8
		SM	20	26.73	27.5	25	10.2

Fuente: Documento Estudio geotécnico tramo B1 consorcio metro acueducto 528.

5.3.3. Consolidación de perfil estratigrafico para interferencias B1-44 y B1-36.

En los ítemas anteriores, se mostró la caracterización geotécnica dadas por los documentos mencionados, a partir de ello, se realizao la consolidacion del perfil estratigrafico para las dos intersecciones, asi como sus caracteristicas de resistencia, los cuales serán posteriormente utiilizados en las simulaciones necesarias para la evaluacion de los componentes de la resiliencia de acuerdo a los parametros y criterios mostrados en el capítulo 4.

Tabla 26. Parámetros geotécnicos interferencia B1-44

PROFUNDIDAD (m)	Espesor (m)	Nivel Freático (m)	USCS	C (KPa)	γ (KN/m3)	ϕ'(°)	E (MPa)	v (Relación de Poisson)	Ko
0-2.40	2,4	3	Relleno	10	20	0	6	0,45	0,82
2.40-6.00	3,6		CL	57	19,5	0	13.2	0,45	0,82
6-8.4	2,4		ML	45	17	0	5.4	0,35	0,54
8.4-20	11,6		CL	43	16.7	0	20.1	0,45	0,82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Parámetros geotécnicos interferencia B1-36

PROFUNDIDAD (m)	Espesor (m)	Nivel Freático (m)	USCS	C (KPa)	γ (KN/m3)	ϕ'(°)	E (MPa)	v (Relación de Poisson)	Ko
0-1.98	1,98	13	CH	28	17	0	23	0,45	0,82
1.98-4.92	2,4		CL	57	17	0	7.8	0,45	0,82
4.92-8.48	2,4		SM	0	20	26,73	10.2	0,3	0,43
8.48-20	11,6		CL	43	16.7	0	20.1	0,45	0,82

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de phi se mantienen en cero para suelos cohesivos, puesto que los suelos arcillosos presentan un valor muy bajo, debido a su poca fricción, por esto se tiene un valor de cero en suelos netamente cohesivos. Para el caso de las arenas, al ser un suelo de comportamiento granular, no existe ningún tipo de material cementante que pueda producir adherencia, por lo que el valor de la cohesión se mantiene en cero.

5.4. Caracterización geológica y microzonificación sísmica de la zona.

Como se ha mencionado anteriormente, se realiza la revisión de los documentos oficiales de la primera linea del metro de Bogotá, con el fin de establecer las caracteristicas geoñlógicas de la zona de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá y a las caracteriasticas propias de la zona. La ciudad de Bogotá se sitúa sobre un gran sinclinal de materiales terciarios y cretácicos que rodean la sabana, territorio de geo formas planas confinado por los cerros orientales, surorientales y los cerros de Suba y occidentales de la región. Los materiales cretácicos y terciarios de las formaciones Chipaque, Guadalupe, Guaduas, Cacho, Bogotá Regadera y Usme, están formados por una alternancia de limolitas, areniscas, conglomerados, lodolitas, porcelanitas, etc. en forma de hojaldre. La Sabana de Bogotá se desarrolla como consecuencia del relleno de la Fosa Tectónica de Bogotá por los materiales que han sido erosionados en las laderas que la delimitan, en ciclos de ambiente lacustre que, una vez colmatada pasaba a un ambiente fluvial, hasta un nuevo hundimiento en que se transitaba de nuevo a un régimen lacustre y así sucesivamente y con variaciones entre unas zonas y otras de la Sabana. Los materiales aluviales están formados por una alternancia de arcilla, limos, arenas y pequeñas intercalaciones de grava fina. Los materiales lacustres están formados fundamentalmente por potentes niveles de arcillas, muy plásticas y alta humedad, limos y esporádicos niveles de arena fina.

Para la ciudad de Bogotá se han planteado cuatro grandes zonas sísmicas: cerros, piedemonte, lacustre y aluvial, que, al combinarse con el mapa de zonificación geotécnica, teniendo en cuenta el espesor de los depósitos lacustre y aluvial, genera un total de 16 zonas de respuesta sísmica homogénea, con características definidas, de acuerdo con los planteamientos del Decreto 523 de 2010 para la ciudad de Bogotá.

Tabla 28. Descripción de zonas de respuesta sísmica**.**

Zona	Espesor (m)	Periodo Fundamental	Descripción geotécnica	Velocidad promedio (m/s)	Efectos relacionados
Piedemonte B	< 50	0.3-0.6	Depósitos coluviales y aluviales con espesor superior a 12 m.	300-750	Ampliación
Lacustre 200	50-100	1.5-2.5	Depósito lacustre blando conformado por arcillas limosas o limo arcillosos,	<175	Amplificación

			con intercalaciones locales de turbas.		
Aluvial 50	<50	0.4-0.8	Depósito aluvial duro conformado por arcillas limosas o arenas arcillosas o limos arenosos localmente con lentes de arenas limpias.	175-300	Amplificación, Licuación.
Aluvial 100	50-100	0.8-1.2			
Aluvial 200	100-200	1.2-2.5			
Aluvial 300	200-300	2.5-4.0			

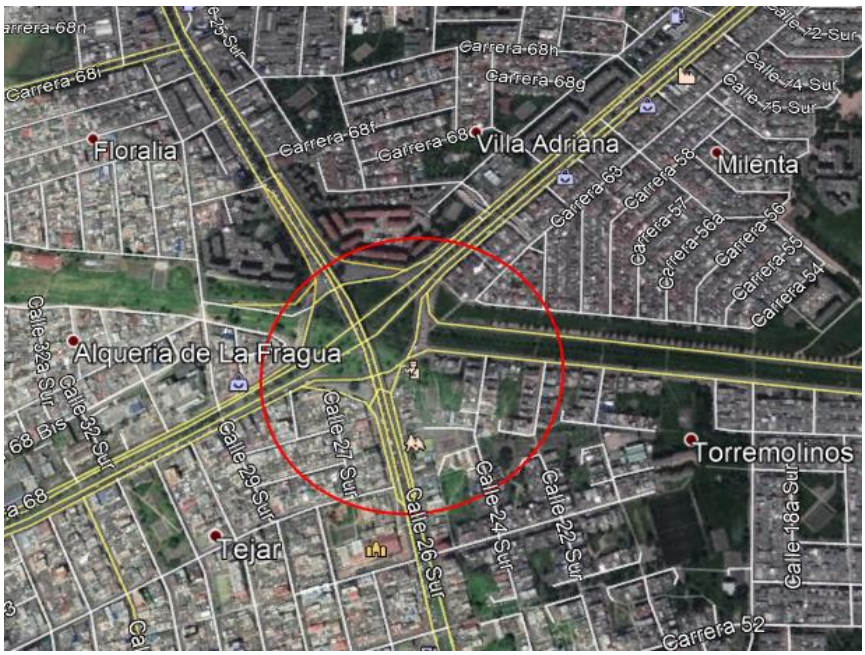
Fuente: FOPAE 2010.

El tramo homogéneo 2.1 descrito en el documento o N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0. Consorcio Metro Bog del metro de Bogotá, se encuentra en la zona Aluvial 200, con características de depósito aluvial de tipo sedimentario.

5.5. Área de influencia de las interferencias seleccionadas.

Una vez realizada la ubicación de las interferencias en la zona, se establece un área de influencia de 200 m a la redonda, esta área de influencia se verificará una vez se realicen las simulaciones correspondientes de las interferencias; se toma como referencia el CAI del tejar, se realiza el polígono en Google earth, quedando de la siguiente manera:

Imagen 26. Localización área de influencia.



Fuente: Google Earth.

Esta área de influencia, se encuentra entre los barrios alquería la fragua y tejar, donde se tienen zonas residenciales y comerciales, pavimento asfaltico tanto en la calle 26 sur (Av. Primera de mayo) como en la Av. 68, un puente vehicular y demás elementos del entorno urbano, que se caracterizarán más adelante, a continuación, una serie de imágenes del entorno del área de influencia seleccionada.

Ilustración 1. Imágenes representativas del área de influencia.













Fuente: Elaboración propia.

5.6. Pavimentos y senderos peatonales existentes.

Una vez seleccionada el área de influencia, se realizó la investigación y consulta de información existente acerca de los estudios geotécnicos y demás parámetros evaluados y aplicados para el diseño y posterior construcción de la PLMB (Primera Línea del Metro de Bogotá),además de la normativa IDU para andenes y características de los materiales usados en pavimentos asfalticos, esto con el fin de obtener la estructura de pavimentos y senderos peatonales cercanos o similares a la realidad, a continuación se exponen las principales características de la estructura de pavimento y sendero peatonal existente.

5.6.1. Estudio geotécnico.

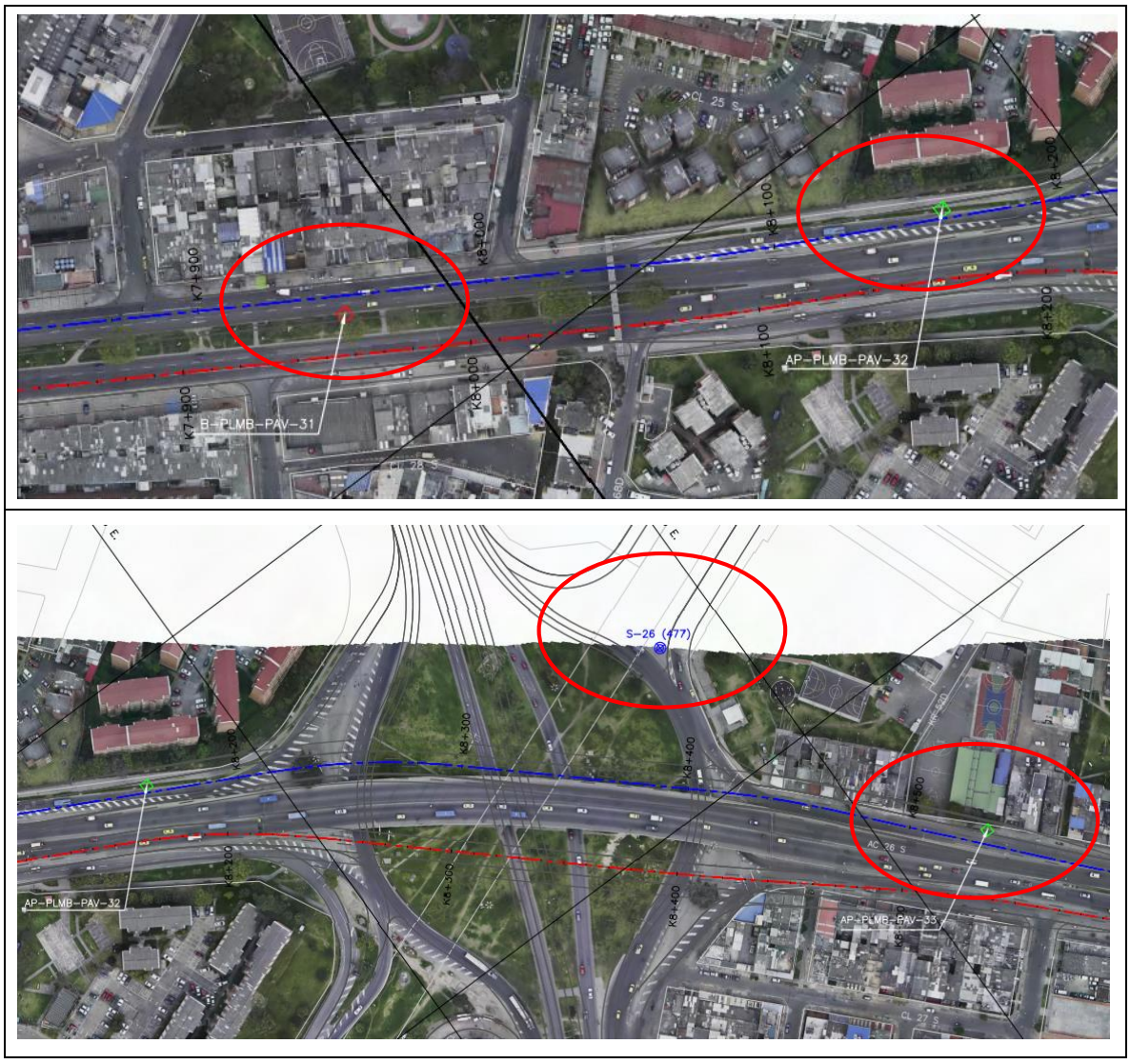
La información geotécnica de la zona, se obtuvo principalmente de la documentación registrada en la página web oficial del metro de Bogotá, específicamente en el documento correspondiente a la estructuración técnica del tramo, documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0002-R1 de junio de 2018 titulado "*Diseño de pavimentos",* con esta información geotécnica se establece el modelo de la estructura de pavimento y senderos peatonales existentes en la zona.

En el documento mencionado, el trazado de la primera línea del Metro de Bogotá se compone de 4 tramos, siendo de interés el tramo 2 para el presente proyecto, según lo descrito en el documento, esta zona no cambia su configuración actual con respecto a la proyección futura de la construcción del viaducto, se realiza una recopilación de las exploraciones hechas por parte de la EAAB, además de los estudios y diseños de la infraestructura vial del proyecto Transmilenio y de los trabajos de

campo realizados por la empresa metro de Bogotá los cuales se componen de apiques y barrenos principalmente.

Según los planos de este documento, se relaciona la identificación de las exploraciones hechas en la zona de influencia de estudio, la cual corresponde del K8+100 a K8+ 600.

Ilustración 2. Exploraciones realizadas.





Identificación de la exploración.	Tipo de exploración	Ubicación	Zona de realización.
B-PLMB-PAV-31	Barreno	K7+958	Separador sentido N-S
AP-PLMB-PAV-32	Apique	K8+167	Andén sentido N-S
S26 (477)	Barreno	K8 + 382	Pavimento
AP-PLMB-PAV-33	Apique	K8 + 534	Andén sentido N-S
B-PLMB-PAV-34	Barreno	K8 + 784	Separador sentido S-N

Adaptado de Planos consorcio metro bog, anexos Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0.

Las exploraciones descritas en la anterior tabla son realizadas en andén y separador, para estas exploraciones se definieron las principales características geotécnicas de los materiales, para posteriormente definir el perfil estratigráfico. La definición de las condiciones o parámetros geotécnicos para el pavimento existente se realizó a partir de la tecnología GPR descrita en el siguiente ítem y a partir de ello se definió la estructura de pavimento, teniendo en cuenta también, los resultados de ensayos realizados y lo establecido por el IDU para el diseño de estructuras de pavimento asfáltico.

La primera línea del metro de Bogotá para el caso de la caracterización geotécnica se divide en tramos para la calzada izquierda y derecha, la calzada izquierda se divide en ocho tramos, siendo de interés para este proyecto el tramo tres que está comprendido entre la AV PRIMERO DE MAYO (AV BOYACÁ - CRA 51), desde el K6 + 660 hasta el K9+260, en la calzada derecha se divide también en ocho tramos, siendo de especial interés el tramo tres que está comprendido entre la AV PRIMERO DE MAYO (AV VILLAVICENCIO - KR 52A),desde el K4+143 hasta el K8+765.

A continuación, un resumen de las principales características geotécnicas encontradas a partir de las exploraciones realizadas:

Subrasante

- ✓ **Calzada derecha:** Tiene un potencial expansivo medio de acuerdo con el índice de plasticidad del material, el CBR representativo del material es 2,89.
- ✓ **Calzada izquierda:** Tiene un potencial expansivo de medio a alto de acuerdo con el índice de plasticidad del material, el CBR representativo de 3,21.

Materiales Granulares

- ✓ **Calzada derecha:** Se tiene un módulo de elasticidad promedio para los materiales de la estructura de pavimento de 678 kg/cm2.
- ✓ **Calzada izquierda:** Se tiene un módulo de elasticidad promedio para los materiales de la estructura de pavimento de 435 kg/cm2

Tabla 29. Exploraciones realizadas.

Identificación	Abscisa	Tipo de exploración	Profundidad (m)	Wn (%)	LL	LP	IP	Clasificación U.S.C.S
B-PLMB-PAV-31	K7+958	Barreno	0,3-0,6	6,50	NL	NP	NP	SM
			0,6-0,9	6,50	NL	NP	NP	GM
			0,90-1,20	8,30	19	10	9	GC
			1,20-1,50	21,70	56	19	37	CH
AP-PLMB-PAV-32	K8+167	Apique	0,20-0,40	12,30	23	17	6	GC-GM
			0,40-1,20	14,70	24	17	7	GC
			1,20-1,50	30,20	49	20	29	CL
			1,50-2,20	27,92	51	22	29	CH
S26 (477)	K8 + 382	Barreno	0,8-1,3	30	54	25	29	CH
			1,5-2,0	27	21	13	8	CL
			2,8-3,0	50	34	18	16	CL
	K8 + 534	Apique	0,13-0,50	11,10	NL	NP	NP	GM

AP-PLMB-PAV-33			0,50-0,85	30,40	45	26	19	CL
			0,85-1,50	21,90	47	20	27	CL
			1,50-1,90		43	18	25	CL
B-PLMB-PAV-34	K8 + 784	Barreno	0,25-0,65	14,70	35	13	22	CL
			0,65-0,95	14,70	26	12	14	CL
			0,95-1,50	19,10	35	15	20	CL
			1,50-2,00		49	17	32	CL

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 28 se consolidan las principales características identificadas para las exploraciones geotécnicas realizadas en el abcisado de interés, es importante mencionar que estas exploraciones fueron enfocadas principalmente a realizar la caracterización de la subrasante para el posterior diseño de mejoramiento de calzada en el tramo de la PLBM, más adelante, con el perfil estratigráfico consultado, además de las especificaciones y documentos del IDU para los materiales a utilizar tanto en andenes como en vías, se propondrá la estructura de pavimento y andén a simular por medio del software Phase2, conservando, las características y el perfil estratigráfico realizado a partir de las exploraciones geotécnicas antes descritas.

5.6.2. Espesores de estructura de pavimento metodología GPR.

El documento ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0002-R1 del metro de Bogotá presenta la metodología usada, consistente en un georadar Ground Penetration Radar (GPR), el cual, mediante métodos no destructivos, emite energía electromagnética que irradia en las capas de pavimento, chocando con las que poseen propiedades dieléctricas diferentes, indicando así un cambio en la capa de la estructura d pavimento. Si el material es dieléctricamente homogéneo la reflexión de la onda indica el espesor de la capa.

Según los datos dados en el anexo 5 del documento mencionado anteriormente, se tienen los siguientes espesores entre el K8+100 a K8+ 600:

Tabla 30. Espesores de estructura pavimento calzada izquierda.

ABCISA	CARPETA ASFALTICA (CM)	MAT. GRANULAR (CM)	ESPESOR TOTAL (CM)
K8+100	0,25	0,39	0,64
K8+200	0,23	0,35	0,59

K8+300	0,23	0,44	0,67
K8+400	0,22	0,46	0,68
K8+500	0,19	0,43	0,62
K8+600	0,24	0,43	0,67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Espesores de estructura pavimento calzada derecha

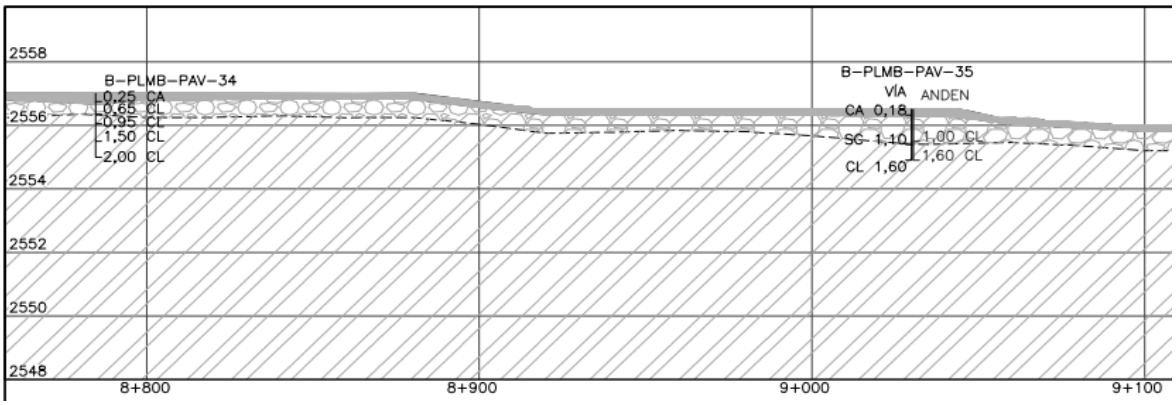
ABCISA	CARPETA ASFALTICA (CM)	MAT. GRANULAR (CM)	ESPESOR TOTAL (CM)
K8+100	0,16	0,91	1,07
K8+200	0,14	0,75	0,91
K8+300	0,16	0,76	0,92
K8+400	0,19	0,68	0,86
K8+500	0,18	0,71	0,89
K8+600	0,20	0,93	1,13

Fuente: Elaboración propia.

En ambas calzadas se tiene espesores de carpeta variables entre 0,14 y 0,25 m, con un valor promedio de 0,20 m, los materiales granulares también presentan valores diferenciados entre 0,35 y 0,93 m, con un valor promedio de 0,79 m en la calzada derecha y de 0,42 m en la calzada izquierda. A partir de las exploraciones geotécnicas y el uso de la metodología GPR el consorcio metro bog presenta el perfil litológico de la calzada izquierda y derecha como se muestra:

✓ **Calzada Derecha**

Imagen 27. Perfil estratigráfico calzada derecha.

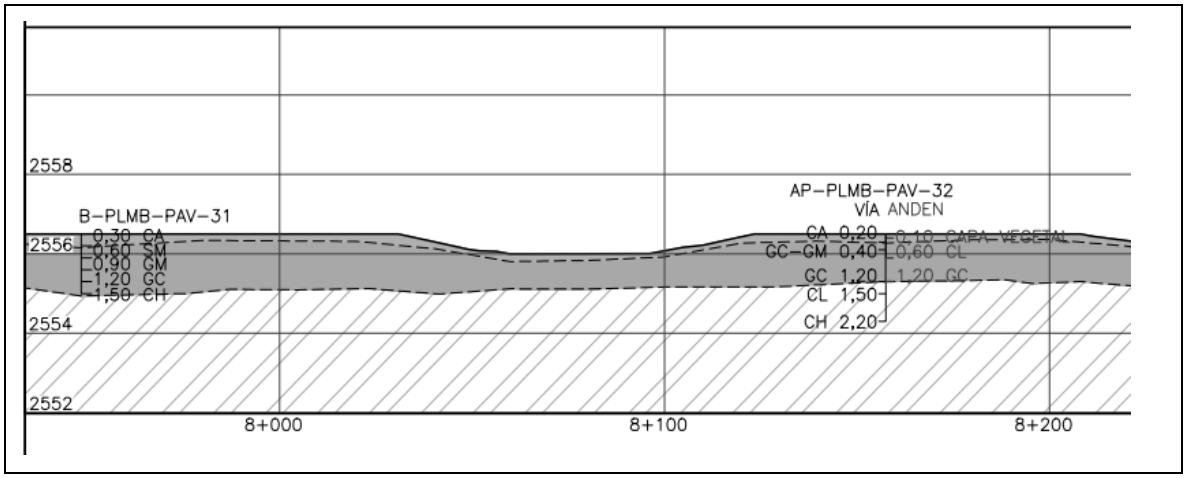


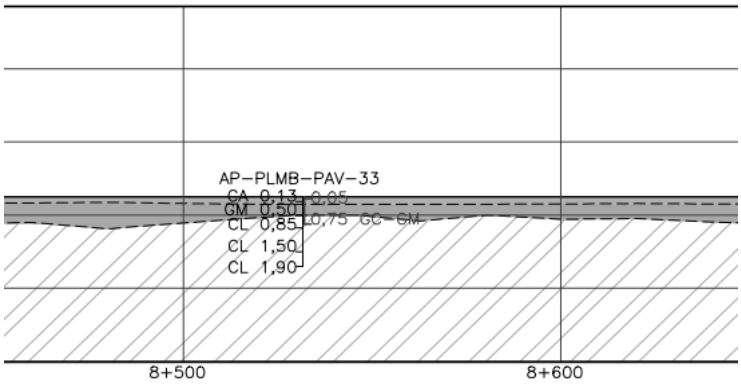
Para el caso de la calzada derecha, la exploración geotécnica de pavimento más cercana es B-PLMB-PAV-34 de la que se obtiene la estructura mostrada en la figura.

Fuente: Planos consorcio metro bog, anexos Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0.

✓ **Calzada Izquierda**

Imagen 28. Perfil estratigráfico calzada izquierda.





De las anteriores figuras se tiene la estratigrafía de las capas de pavimento y anden representativas de la zona estudiada.

Fuente: Planos consorcio metro bog, anexos Documento N° ETPLMB-ET03-L02-ITE-G-0001-R0.

5.6.3. Normativa IDU.

Para poder definir una estructura de pavimento y sendero peatonal acorde a los materiales típicos y normativa existente en la ciudad se hizo una revisión de las principales características solicitadas por las normas IDU acerca de los materiales granulares para la conformación de la estructura de andenes y vías en la ciudad de Bogotá. En primer lugar, se categorizó el tránsito presente en la zona de influencia seleccionada, para ello, se realizó la consulta del documento ETPLMB-ET02-L2.3-ITE-H-0001 obtenido de la página web del metro de Bogotá, en este documento, se realiza un análisis de los TPD's obtenidos a través de estaciones maestras y aforos realizados en el corredor vial de la PLMB, con ello, se realiza el cálculo de ejes equivalentes, esto se toma con los datos dados para la proyección hecha hacia el año 2021.

Imagen 29. Ejes equivalentes de 8,2 Ton

Ejes equivalentes de 8,2 toneladas – Calzada Derecha	
2'656.882	Sentido W-E
Ejes equivalentes de 8,2 toneladas – Calzada Izquierda	
2'716.535	Sentido E-W

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la tabla anterior, se comparan con la tabla 101.3 de la especificación 101-08 del IDU titulada: "*Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público, para Bogotá D.C; conceptos y definiciones técnicas",* allí se establecen las categorías de tránsito en relación con los ejes equivalentes.

Tabla 32. Categorías de tránsito**.**

Categoría de tránsito	**Nivel de tránsito**	
	VPDo	**NAEE_80 (Millones)**
T1	VPDo < 200	NAEE_80 < 2
T2	200 < VPDo < 800	2 < NAEE_80 < 8
T3	VPDo > 800	NAEE_80 > 8

Fuente: Especificación 101-08 IDU.

Donde NAEE_80 es el número acumulado de ejes equivalentes de 80KN en el periodo de diseño, en el carril de diseño. Para el caso particular, solo se tuvo en cuenta el número de ejes equivalentes correspondiente al año 2021, pues solamente se necesita establecer la categoría de tránsito a la cual pertenece la vía; de allí que se clasifique dentro de la categoría T3, partiendo de esto, se realizó la revisión de las especificaciones dadas para bases y sub bases granulares para esta categoría de tránsito:

5.6.4. Base y sub base granular para vías vehiculares.

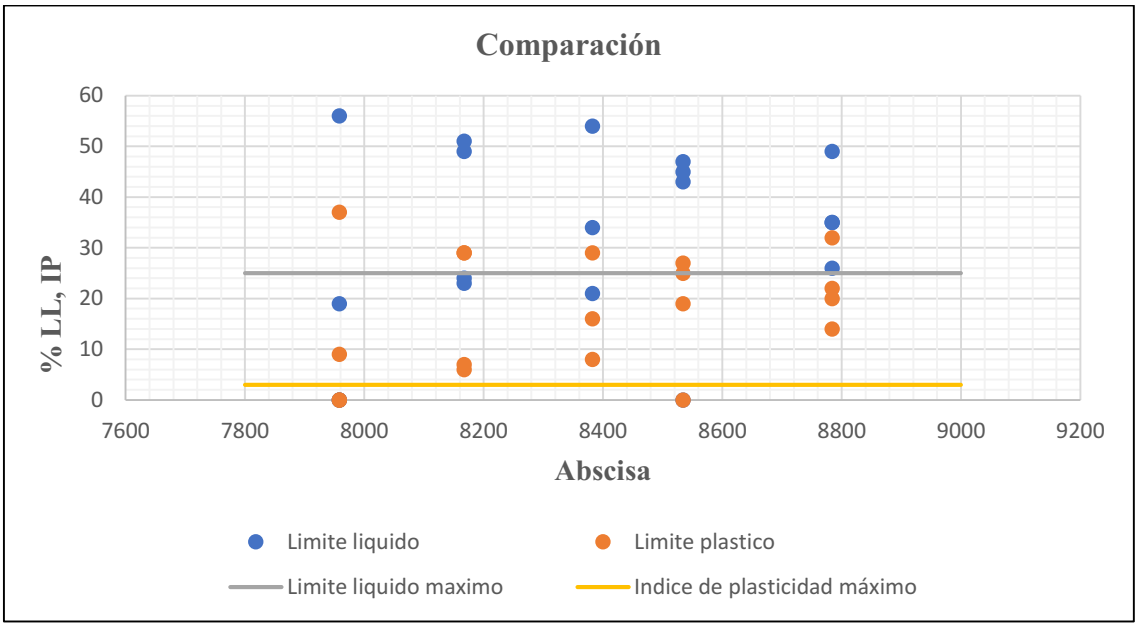
Para pavimento en concreto asfáltico y un tránsito tipo **T3,** se debe tener una base granular tipo BG-A y una sub base granular tipo SBG-A, las cuales tienen las siguientes características:

Tabla 33. Características Base y Sub base granular.

Parámetro	**BG-A**	**SBG-A**
Limite líquido, % máximo	25	25
Índice de plasticidad, % máximo	NP	3
CBR, % mínimo	NA	NA

Fuente: Especificación 101-08 IDU.

Gráfico 1. Comparación de características**.**



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la gráfica 1 se observa que las características obtenidas de las exploraciones geotécnicas, no cumplen con los parámetros mínimos dados por el IDU para este tipo.

5.6.5. Sub base granular para zonas peatonales.

Para andenes y zonas peatonales, se tiene la especificación *512-18 "Subbase granular para vías peatonales y ciclorutas con agregados naturales"* además de la cartilla de andenes define la estructura del andén en función del tipo de subrasante, para este caso se tuvo en cuenta la caracterización de la subrasante, teniendo así para la calzada derecha una subrasante tipo S2, para la calzada derecha se tiene una subrasante tipo S2; esto se evidencia en la tabla 34**,** la cual se encuentra en la cartilla de andenes IDU.

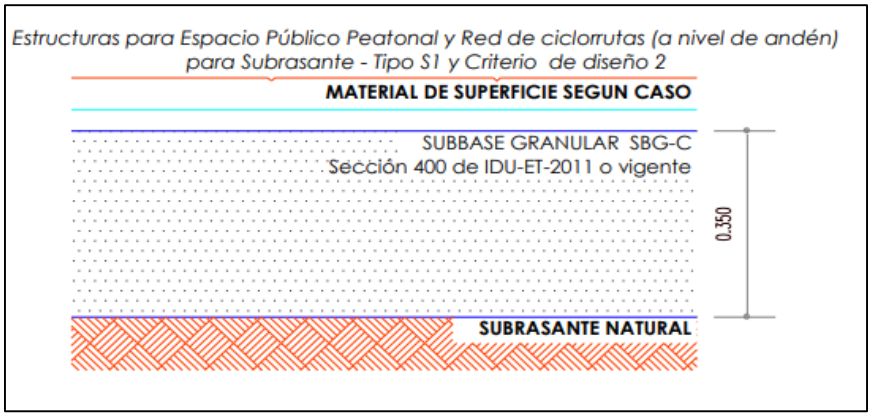
Tabla 34. Tipo de subrasante según CBR

TIPO DE SUBRASANTE SEGÚN CBR	
S1	Mayor o igual a 3%
S2	Menor de 3%

Fuente: Especificación IDU 512-18.

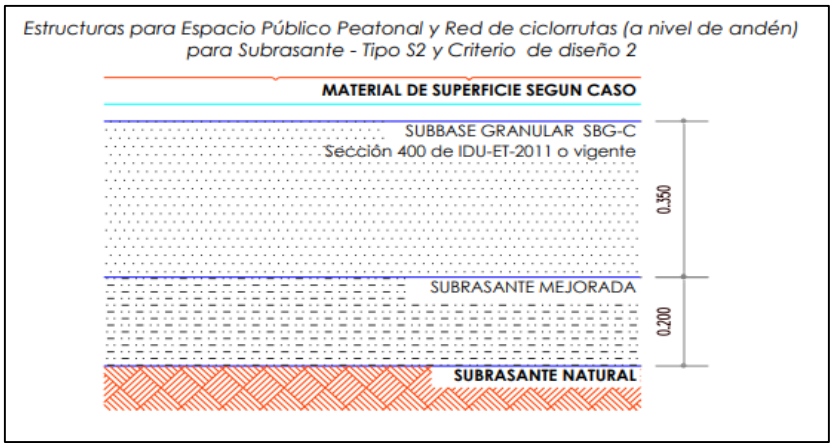
Con la información anterior, se define el espesor que debe tener la subrasante según la normativa, siendo para la calzada izquierda la figura 1 y para la calzada derecha la figura 2.

Figura 1. Estructura para sub rasante tipo S1



Fuente: Cartilla de andenes IDU.

Figura 2. Estructura para sub rasante tipo S2



Fuente: Cartilla de andenes IDU.

De acuerdo a las figuras 1 y 2, se tiene que para ambas calzadas la subbase granular de la estructura de andén debe ser de 0.35 m; según la imagen 27, la estructura del andén presente en la zona se constituye por una capa de aproximadamente 1 m de suelo tipo CL (Suelo arcilloso de baja plasticidad), lo cual evidentemente no corresponde a la estructura de anden propuesta por el IDU, para el caso de la calzada izquierda, se tiene que según la imagen, el andén está constituido por una capa vegetal y 60 cm de suelo tipo CL (Suelo arcilloso de baja plasticidad), por lo que tampoco corresponde a lo establecido por el IDU.

También, de la gráfica 1 se tiene que ningún material cumple con los parámetros necesarios para considerar el suelo encontrado como una subbase peatonal, puesto que de acuerdo a lo especificado en las tablas 512.1 y 512.2, para el caso se tiene una SBG PEA_A, con índice de plasticidad máximo de 8% y un límite líquido máximo de 30%.

5.6.7 Estructura de pavimento y andenes.

Finalmente, luego de haber realizado la recopilación de información anteriormente mostrada, se tomó como estructura para pavimento, de acuerdo a lo mostrado en el perfil estratigráfico el que más se asemeja a los materiales encontrados, pues se buscaba simular de la manera más próxima a la realidad las condiciones del pavimento existente en la zona estudiada.

Figura 3. Estructura para pavimento y andén.

CALZADA IZQUIERDA	CALZADA DERECHA	ANDÉN
CA = 0,23 m	**CA = 0,18 m**	**CONCRETO = 0,30 m**
GM = 0,20 m	**SC = 0,92 m**	**BG PEA_A = 0.35 m**
GC = 0,77 m	**CL = 0,4 m**	

Fuente: Elaboración propia

5.7. Edificación típica de la zona.

Para establecer la estructura de la edificación típica de la zona de influencia seleccionada, se realiza la consulta en el servicio de Mapas de Bogotá, teniendo de allí que la zona de influencia se encuentra enmarcada en las localidades de Puente Aranda y Kennedy, separadas por la Av. primera de mayo, se tienen los barrios San Eusebio, Los Ángeles, Alquería La Fragua, Milenta; las UPZ en esta zona son: 44 (Américas), 41 (Muzu),43 (San Rafael), 40 (Ciudad Montes).

5.7.1. Descripción de principales características de las UPZ.

A continuación, se realiza una breve descripción de las principales características de las UPZ antes mencionadas, además de la verificación de dicha información por medio de los planos del IDECA en la extensión de Mapas de Bogotá del distrito, para así obtener las características básicas de la edificación típica a evaluar en la zona.

- **UPZ 44- AMÉRICAS.**

Urbanización El Pensil: Se trata de una urbanización de densidad media con viviendas de tipo multifamiliar de 4 pisos con parqueaderos en superficie.

Imagen 30.UPZ Américas.



Fuente: SDP 2010

Se tiene que en esta UPZ y más específicamente en la zona de interés, se tienen zonas residenciales consolidadas (amarillo).

Imagen 31.UPZ Américas N° pisos.



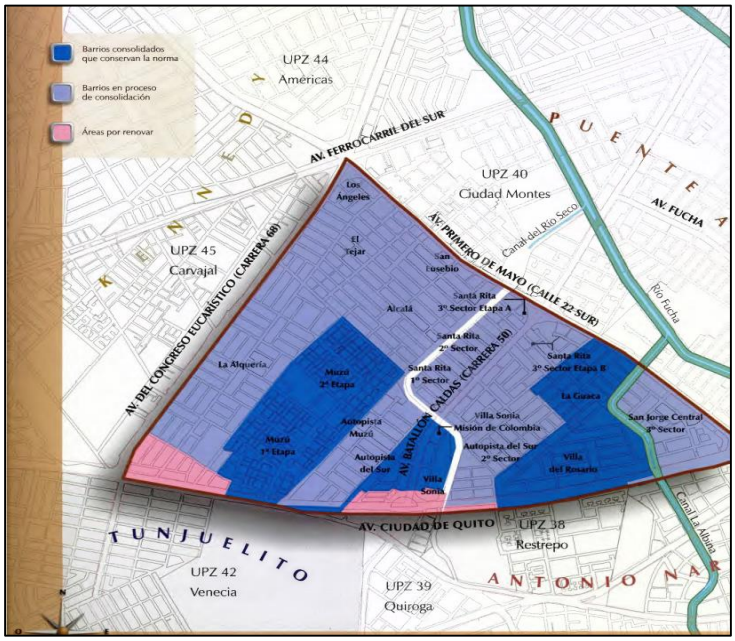
Fuente: SDP 2010

Se tiene predominancia de edificaciones entre 3 y seis pisos en la zona de interés.

- **UPZ 41- MUZU**

La UPZ muzu concentra 19 barrios, donde predomina el uso de suelo para vivienda o residencial, sin embargo, hay presencia de comercio e industria mediana y pequeña escala, las cuales se concentran en la av. 68 y la av. primero de mayo, de las construcciones existentes en la zona es posible identificar: la uniformidad o diversidad de las edificaciones en los barrios; zonas donde las alturas son similares y están asociadas; con construcciones de dos o tres pisos mayormente consolidados.

Imagen 32.UPZ Muzu

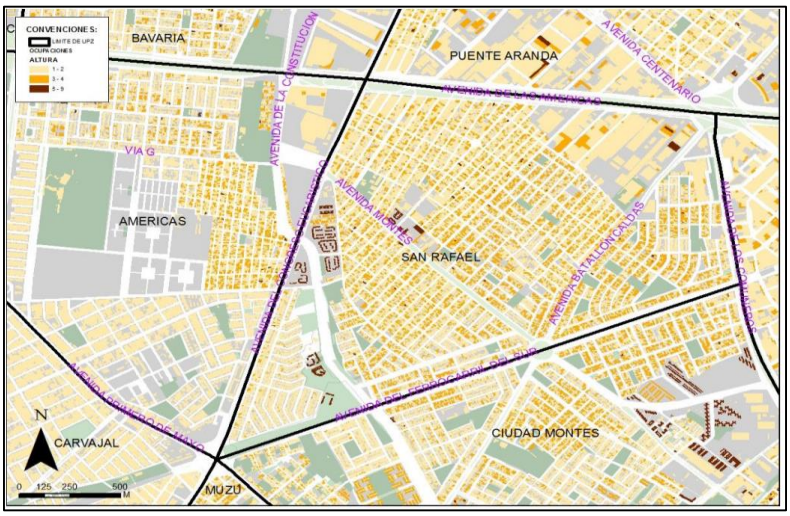


Fuente: SDP 2010

- **UPZ 43 SAN RAFAEL**

En esta UPZ se tienen suelos de uso industrial, residencial, comercial, entre otros, las edificaciones presentes en la UPZ fluctúan entre uno y tres pisos de altura, las cuales fueron hechas bajo el método de autoconstrucción.

Imagen 33.UPZ San Rafael

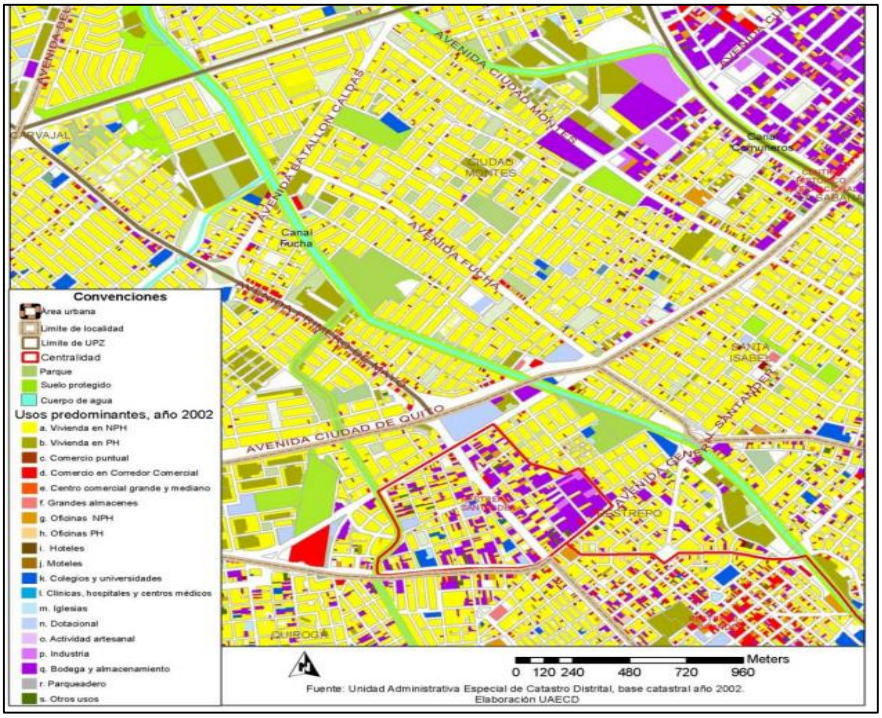


Fuente: SDP 2010

- **UPZ 40 CIUDAD MONTES**

Tiene una extensión de 445.6 hectáreas, en la UPZ predomina el uso de vivienda NPH (No propiedad horizontal), con viviendas entre dos y tres pisos.

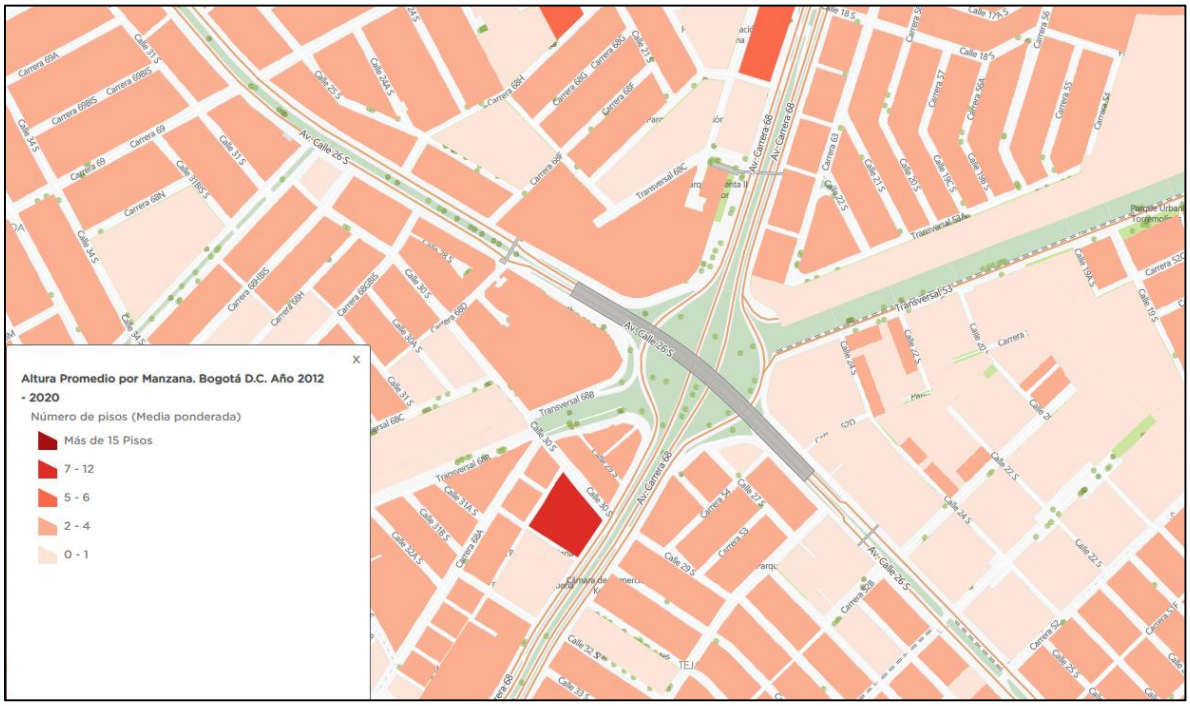
Imagen 34.UPZ Ciudad Montes**.**



Fuente: SDP 2010

Una vez realizada la descripción anterior de las UPZ enmarcadas dentro del área de influencia, se determinó que la edificación típica se constituye por casas de dos pisos, esto se contrastó con lo obtenido a través de los mapas del IDECA, donde se evidencia el número de pisos promedio de las edificaciones presentes en el área de influencia.

Imagen 35.Número de pisos según IDECA.



Fuente: Mapas IDECA.

Ahora, para saber aproximadamente las dimensiones de las viviendas típicas de la zona se realizan mediciones en Google earth, teniendo generalmente viviendas de 6m de ancho y 12 m de profundidad.

5.7.2. Sistema estructural según NSR-10 y características constructivas principales.

Se realizó también una inspección visual a partir de la visita técnica realizada, en la que se observan los principales materiales, configuración estructural de la zona con el fin de enmarcar dentro de los sistemas estructurales de la NSR-10 la edificación típica de la zona, a continuación, una serie de imágenes tomadas en la visita técnica realizada.

Ilustración 3. Fotografías edificaciones.









Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en las anteriores imágenes, las viviendas fueron en su momento autoconstruidas por los habitantes de la zona, al realizar la indagación correspondiente se pudo determinar que estas viviendas se construyeron con un sistema aporticado de vigas-columnas con placas macizas, donde las dimensiones de los elementos generalmente son así: columnas de 40*40 cm, vigas de las mismas dimensiones, placas macizas de 12 cm aproximadamente.

Además de esto, la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, clasifica las edificaciones en siete tipos de acuerdo con sus características, a continuación, en la tabla 35 se realiza la descripción.

Tabla 35. Clasificación de edificaciones.

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Edificaciones de concreto y acero diseñadas y construidas con requerimientos superiores a los convencionales o con la exigencia máxima de los códigos de diseño.
B	Edificaciones reforzadas	Edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc. También se incluyen aquellas del grupo A construidas antes de 1998.
C	Mampostería reforzada	Aquellas edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, láminas, pernos, platinas, etc.). También se incluyen las edificaciones en mampostería confinada.
D	Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas	Edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada). También hace referencia a aquellas construcciones de las categorías A,B y C que poseen elementos de otros materiales no competentes, como por ejemplo mampostería no reforzada, adobe, bahareque, madera, tapia pisada, etc.
E	Estructuras ligeras	Edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con

		materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.
F	Construcciones simples	Edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas con materiales de recuperación, pórticos y paneles de madera. Son ejemplo de este tipo de edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.
G	Lotes vacíos	

Adaptado de Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

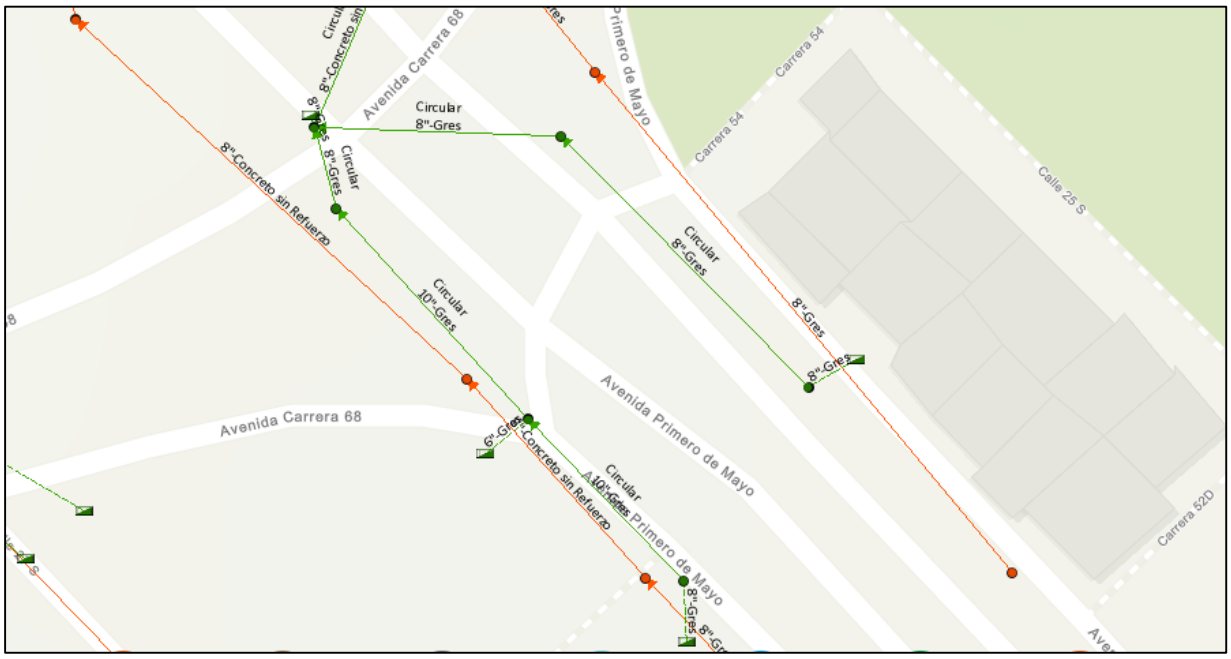
5.8. Redes de servicios públicos principales en la zona.

Para establecer las principales redes de servicios públicos presentes en las zonas inmediatamente cercanas a las interferencias objeto de estudio, se tienen en cuenta documentos oficiales del metro de Bogotá, así como los mapas IDECA y SISGEO de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. A continuación, se describen de manera general las principales redes de servicios públicos presentes en la zona.

5.8.1. Redes de servicio de alcantarillado

De acuerdo a lo consultado en los mapas del visor de la EAAB, se tiene que las redes de alcantarillado tanto pluvial como sanitario de la zona se encuentran en gres, concreto reforzado, y algunas en PVC, a continuación, algunas imágenes extraídas del visor.

Imagen 36. Redes de alcantarillado.



Fuente: Sistema de Información Geográfico Geoportal EAAB

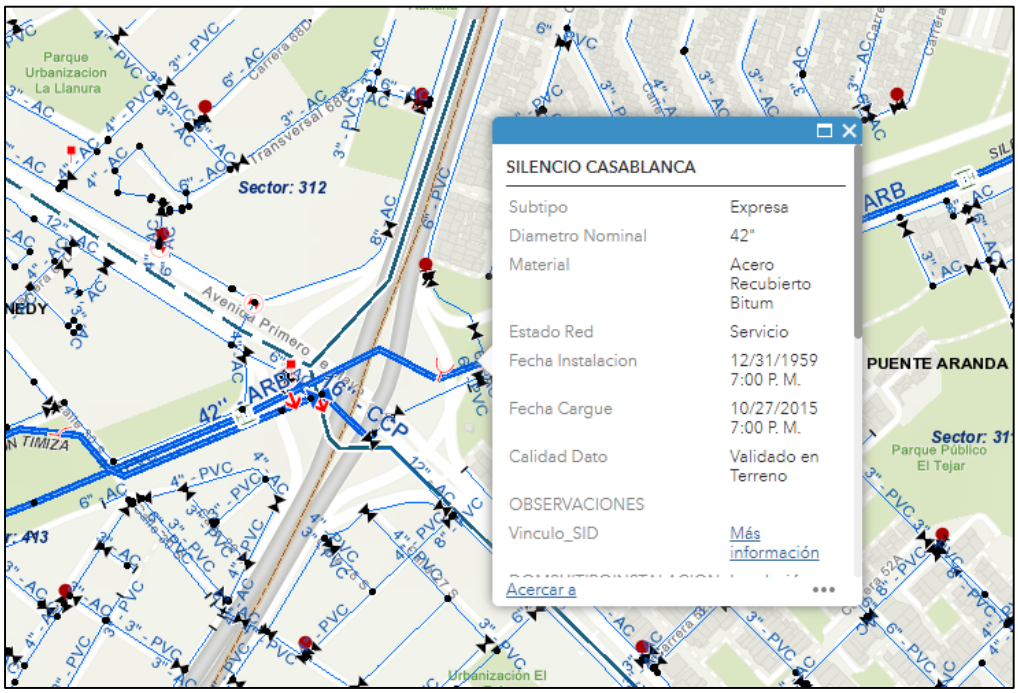
5.8.2. Redes de servicio de acueducto.

Los sistemas de distribución están compuestos de: red matriz, tanques de almacenamiento y de estaciones de control y de bombeo.

El sistema de acueducto de Bogotá está compuesto por una red matriz de la siguiente manera:

55 tanques de suministro, 27 estaciones de bombeo en toda la ciudad, se tienen las líneas expresas de Wiesner-suba, el silencio-Casablanca, el silencio-vitelma y línea expresa a cazucá; la red de distribución mayor está compuesta por diámetros mayores a 2.20 m, con una longitud total de 586.9 Km.

Imagen 37. Red de acueducto

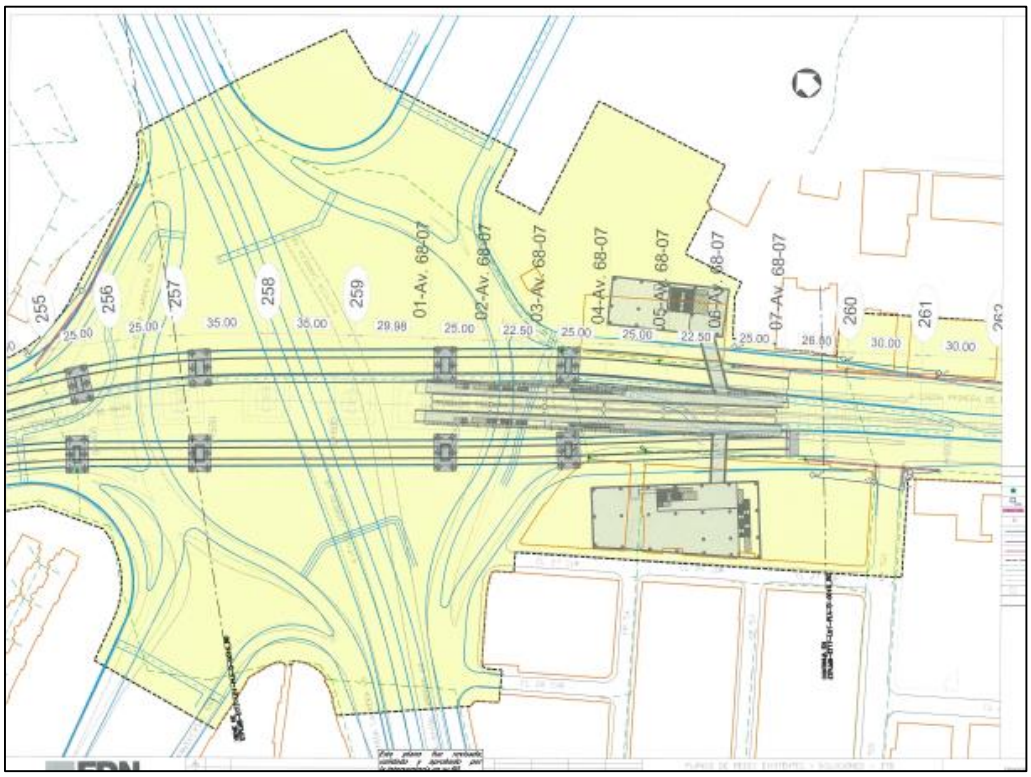


Fuente: Sistema de Información Geográfico Geoportal EAAB

5.8.3. Redes de telecomunicaciones

De acuerdo al documento ETPLMB-ET17-L01-ITE-O-0001_R0 del consorcio metro Bog, se tiene que en la zona de influencia para la primera línea del metro de Bogotá se tiene influencia de redes de ETB, TIGO-UNE y MOVISTAR, se tiene que para las redes de ETB, éstas son paralelas al eje de metro siendo esta red subterránea por los andenes ; para el caso de TIGO-UNE se tienen redes canalizadas por los andenes, y algunos postes, en el caso de movistar se observan igualmente redes canalizadas en los andenes y algunos postes.

Imagen 38. Redes telemáticas

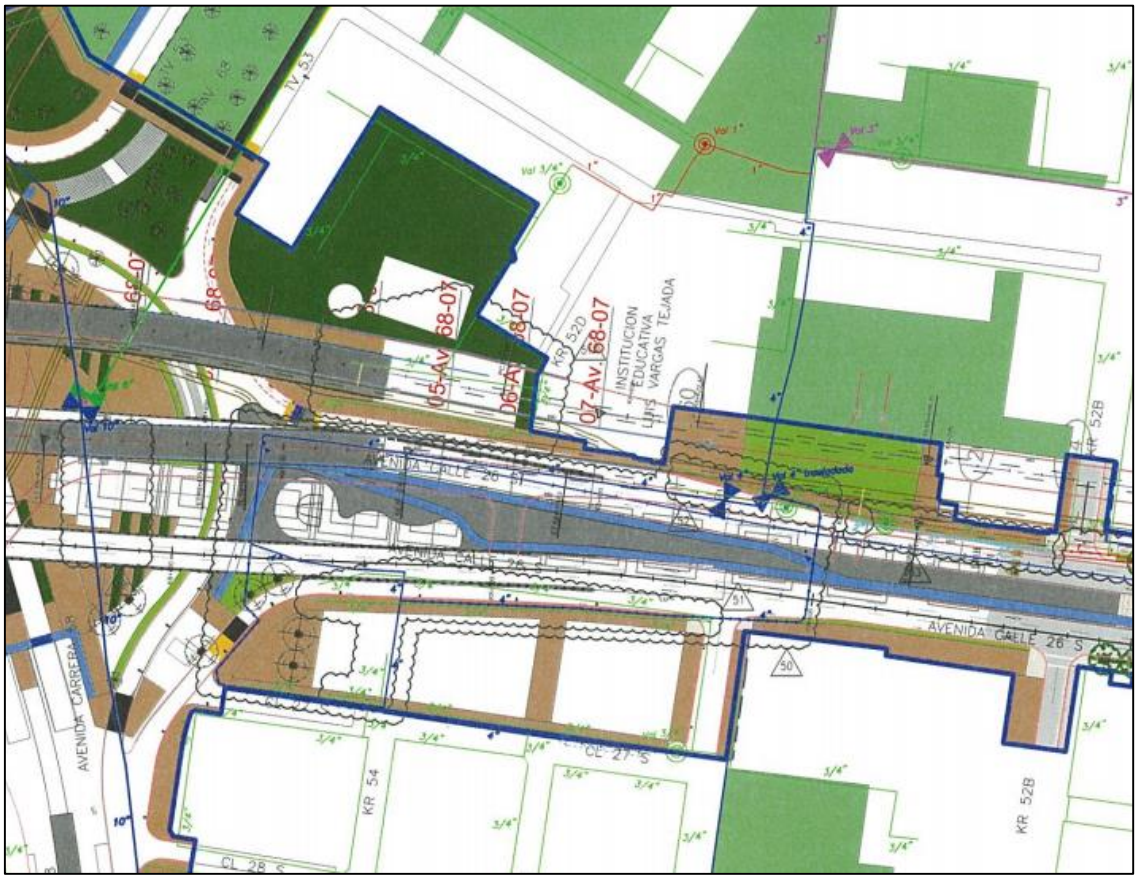


Fuente: Plano ETPLMB-ET17-L01-PLA-D-0017 Consorcio Metro Bog

5.8.4. Redes de gas

De acuerdo al documento ETPLMB-ET17-L01-ITE-V-0001_R0 del consorcio metro Bog, se tienen las redes tanto menores como mayores que generan interferencia con las pilas del viaducto y demás elementos contemplados en el diseño de la primera línea del metro de Bogotá, donde se identificaron en total 170 interferencias en todo el trazado, de las cuales hay algunas en acero, las demás se encuentran en polietileno, para la zona objeto del presente proyecto se tiene el mapa en el cual se muestran las interferencias:

Imagen 39. Red de gas



Fuente: Plano ETPLMB-ET17-L01-PLA-V-0010 Consorcio Metro Bog

5.8.5. Redes de energía

De acuerdo al documento ETPLMB-ET17-L01-ITE-B-0001_R0 del consorcio metro Bog, se tiene que las interferencias son con redes de alta tensión, media tensión, transformadores; algunas presentan interferencias con las pilas mientras que otros con el urbanismo proyectado para la primera línea del metro de Bogotá.

Imagen 40. Redes eléctricas alta tensión.



Fuente: Plano ETPLMB-ET17-L01-PLA-B-0010 Consorcio Metro Bog

Imagen 41. Redes eléctricas



Fuente: Plano ETPLMB-ET17-L01-PLA-B-0011 Consorcio Metro Bog

6. ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE LA RESILIENCIA PARA LAS INTERFERENCIAS ANALIZADAS.

En el presente capítulo se presenta el resultado de evaluar cada uno de los aspectos que caracterizan los cuatro componentes de la resiliencia, de acuerdo a lo establecido en el capítulo 4, para la evaluación de los aspectos mencionados, se realizó investigación secundaria de geoportales, SINUPOT y otros, con el fin de recopilar la información necesaria, así mismo se realizó la observación directa de la zona aledaña a las interferencias de estudio.

También, se realizan las simulaciones en el software phase2, mediante las cuales se obtienen las deformaciones en superficie durante el proceso constructivo del traslado de redes de alcantarillado pluvial y sanitario haciendo uso de la tecnología trenchless, el cual se describió con detalle en el capítulo 3, el modelo utilizado fue a partir de la estratigrafía de las interferencias detalladas en las tablas 26 y 27.

Las simulaciones se realizan para las dos interferencias, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- De manera inicial, en el capítulo 5, se estableció como área de influencia **100m** a la redonda de las interferencias de estudio, teniendo como punto de referencia el CAI El Tejar, para las modelaciones, se tienen en cuenta **50 m** al lado de los pozos de lanzamiento y recepción para la representación longitudinal y **100m** para la representación transversal de la tubería.
- De acuerdo al estudio geotécnico realizado por el consorcio metro acueducto 528, se tiene que el método constructivo para estas interferencias será Pipe Jacking con perforación guiada con tornillo sin fin (GBM), los pozos serán en concreto reforzado con un f'c de 21 MPa, con anillos que recubren la excavación de los pozos, además de una placa de fondo, para el caso de las simulaciones presentadas en este documento, se tiene un espesor de anillos de 0.25m y la placa de fondo con un espesor de 0.20 m, con un diámetro de los pozos de 4 m.
- De acuerdo al estudio geotécnico realizado por el consorcio metro acueducto 528, para simular las condiciones reales del terreno, se tiene que se utilizó una sobrecarga en superficie de 10 KN/m^2.
- Se realiza así mismo una restricción para el proceso de tunelación, asumiendo que la tubería es completamente rígida, no se asigna recubrimiento de la tubería, pues al ser tuberías de

PVC y GRP, el programa Phase2, no posee ese tipo de material dentro de sus propiedades llamadas “Liner”.

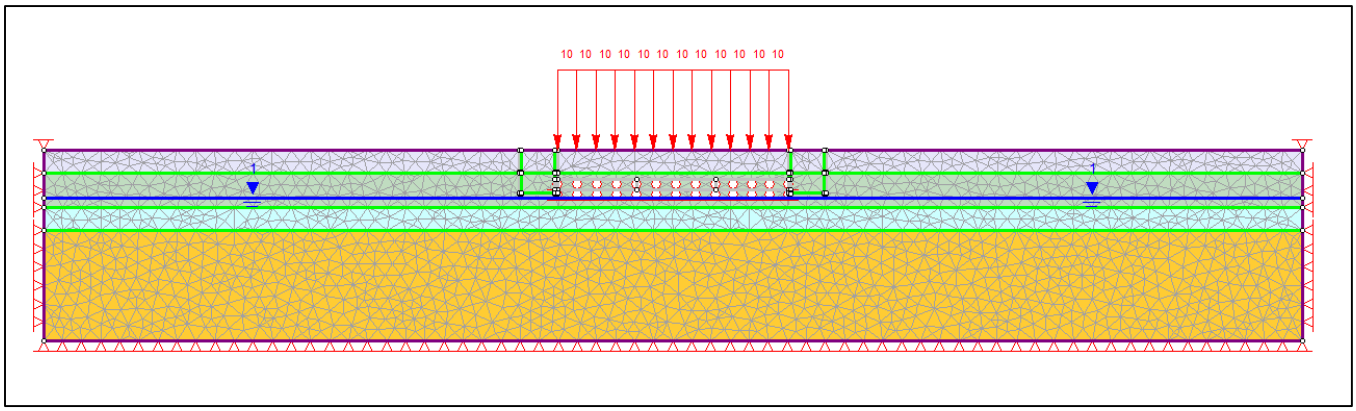
- El nivel freático, es modificado dejándolo por debajo del nivel de excavación de los pozos de lanzamiento y recepción, pues de acuerdo a (Muñoz, 2018) y (Sanchez, 2011),es importante tener en cuenta que trabajar bajo el nivel freático puede generar que la pérdida de agua durante la excavación e hincado conlleve a una consolidación del suelo debido a la reducción en la presión de poros, generando mayores asentamientos.

INTERFERENCIA B1 44 45 46: Para esta interferencia se tiene un diámetro de tubería de 43” con una longitud de 24.33m para uso de alcantarillado pluvial; los pozos de lanzamiento y recepción tienen una profundidad de 4.6m, la tubería se localiza a 4.1m de profundidad.

INTERFERENCIA B1 36: Para esta interferencia se tiene un diámetro de tubería de 24” con una longitud de 17.72m para uso de alcantarillado sanitario; los pozos de lanzamiento y recepción tienen una profundidad de 5.8m, la tubería se localiza a 5.27m de profundidad.

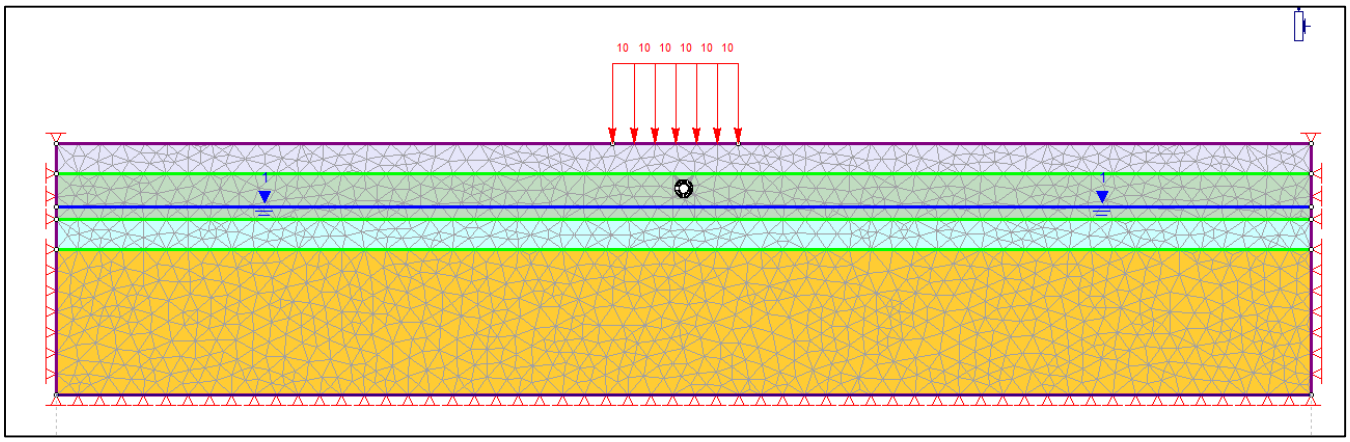
Una vez establecidos los aspectos anteriores, finalmente el modelo para realizar los análisis correspondientes queda expresado de la siguiente manera:

Figura 4. Modelo longitudinal interferencia B1 44 45 46



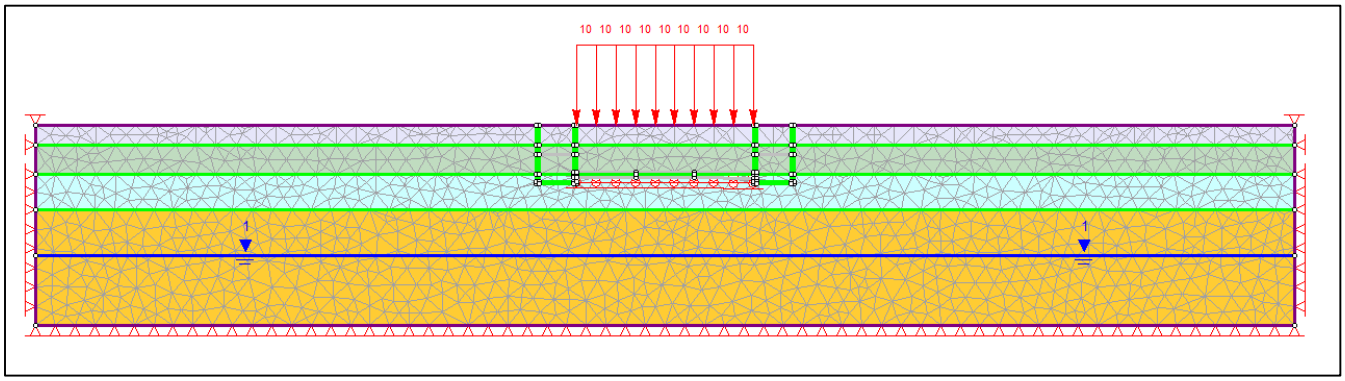
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Modelo transversal interferencia B1 44 45 46



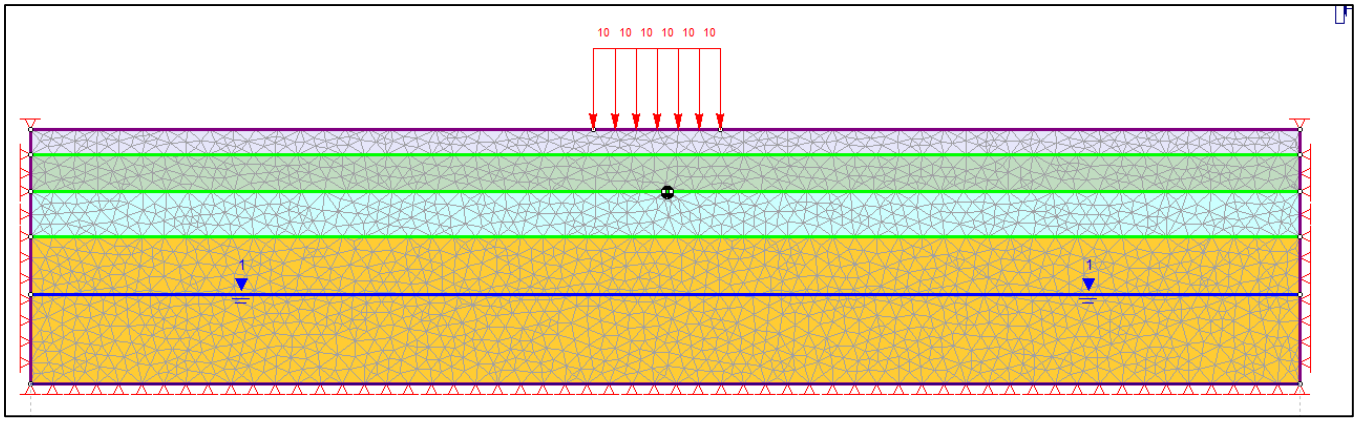
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Modelo longitudinal interferencia B1 36



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Modelo transversal interferencia B1 36



Fuente: Elaboración propia.

6.1.Estimación de la robustez.

Para la estimación de la robustez se deben evaluar cada uno de los aspectos relacionados en el capítulo 4.3, teniendo en cuenta los parámetros y ponderaciones establecidas. A partir de la metodología para la estimación de los componentes de la resiliencia descrita en el capítulo 4 y la caracterización de las interferencias y su zona de influencia descrita en el capítulo 5, se realiza la estimación de la robustez.

Irregularidades en planta y altura.

Al realizar el análisis de irregularidades en planta, se tiene que la zona de influencia cuenta con 2 irregularidades en planta, lo que de acuerdo a la tabla 2 representa una ponderación de o.66; esta ponderación se deja igual antes y después del evento disruptivo en ambas interferencias, pues esto no se afecta una vez se han realizado trabajos con tecnología trenchless; de igual forma se realiza el análisis de irregularidades en altura, de acuerdo a lo descrito en el capítulo 3 del presente documento.

Tabla 36. Irregularidades en planta

Tipo	Descripción de la irregularidad en planta	Si/No
1aP	**Irregularidad torsional:** La irregularidad torsional existe cuando en una edificación con diafragma rigido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mas de 1.2 y menor o igual a 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	No
1bP	**Irregularidad torsional extrema:** La irregularidad torsional extrema existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	No
2P	**Retrocesos excesivos en las esquinas:** La configuración de una etructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	No

3P	**Discontinuidades en el diafragma:** Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50% del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50%, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.	No
4P	**Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales:** La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene un grupo de elemtos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.	Si
5P	**Sistemas no paralelos:** Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sismica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular	Si

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Irregularidades en altura.

Tipo	Descripción de la irregularidad en planta	Si/No
1aA	**Piso flexible (Irregularidad en rigidez):** Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70% pero superior o gial al 60% de la rigidez del piso superior o menor del 80% pero superior o igual al 70% del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	No
1bA	**Piso flexible (Irregularidad extrema en rigidez):** Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 60% de la rigidez del piso superior o menor del 70% del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructuea se considera irregular.	No
2A	**Irregularidad en la distribución de las masas:** Cuando la masa mi de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptua el caso de de los altillos de un solo piso.	No

3A	**Irregularidad geométrica:** Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos de un solo piso.	Si
4A	**Desplazamientos dentro del plano de acción:** La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimension horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificacion sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta condicion de irregularidad.	No
5aA	**Piso débil-Discontinuidad de la resistencia:** Cuando la resistencia del piso es menor del 80% de la del piso inmediatamente superior pero superior o igual al 65%, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	No
5bA	**Piso débil-Discontinuidad extrema de la resistencia:** Cuando la resistencia del piso es menor del 65% de la del piso inmediatamente superior ,entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	No

Fuente: Elaboración propia.

Deflexión en pavimento existente.

Para el caso de la deflexión en el pavimento existente, se realiza una modelación en phase2 donde se introduce la estratigrafía presentada y descrita en el capítulo 4 (ver figura 3); para los parámetros geotécnicos de resistencia de los materiales allí presentes se realiza una consulta bibliográfica en la que de acuerdo con (Rondón,2016), (Téllez,2021), y la literatura existente, se hace uso de características típicas, los cuales son introducidos en el software:

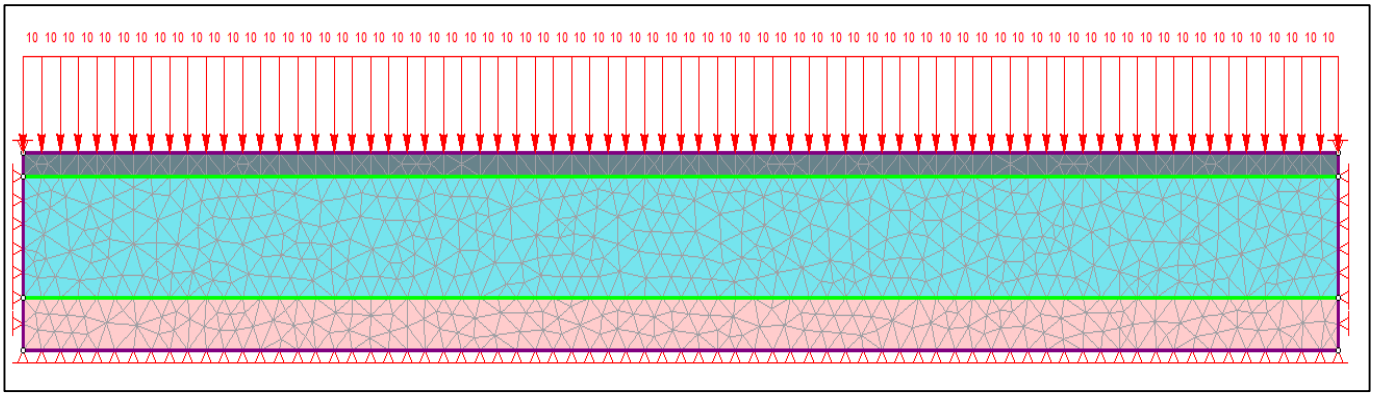
Tabla 38. Propiedades geotécnicas pavimento

Material	E(KPa)	ν (Relación de Poisson)	γ (KN/M_3)	Φ(°)
GM	40000	0,30	21,57	40
GC	40000	0,30	21,57	40
SC	20000	0,30	20	30
CL	7800	0,45	43	0

Fuente: Elaboración propia.

Además, se le aplicó una carga distribuida de 10 KN/m2 para simular la carga de transito de la zona, también se realizó el modelo con 12m de ancho, pues de acuerdo a lo establecido, cada sentido de la vía mide aproximadamente 12m; esto se realizó para ambas calzadas, de los desplazamientos verticales obtenidos en ambas, se escoge la de mayor valor. El modelo fue el siguiente:

Figura 8. Modelo simulación pavimento.



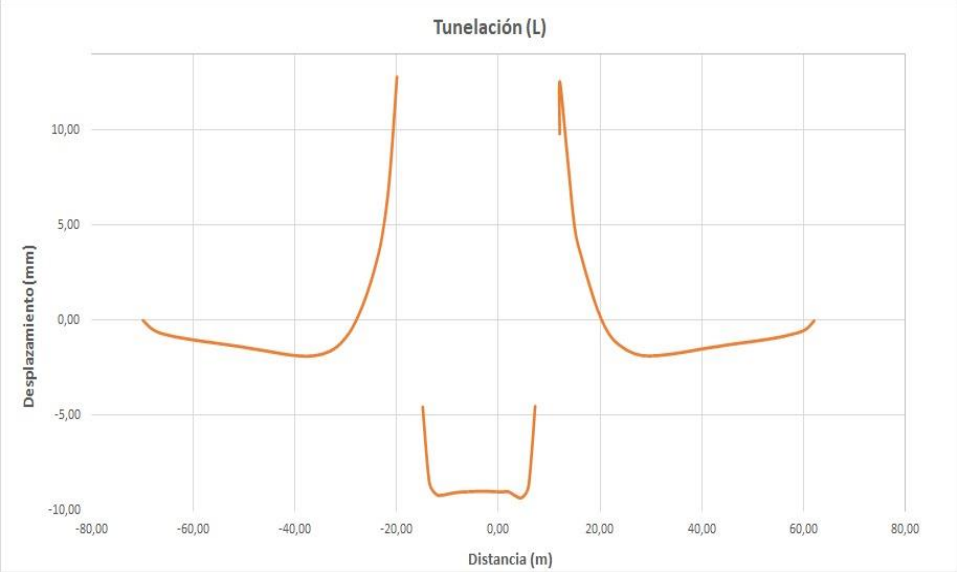
Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta simulación, se realiza el análisis de la deformación admisible y la deformación dada por el uso de la tecnología trenchless, la cual se obtiene de las gráficas del proceso de tunelación, para el caso del tiempo t1, el umbral tolerable está definido como 40 mm, de acuerdo a la máxima deformación por hundimiento según la literatura, mientras que para el instante de

tiempo t2 (una vez ha ocurrido el evento disruptivo), se tiene como umbral tolerable el resultado de la simulación del pavimento, el cual tiene un máximo valor de 0,51 mm, como se ha dicho, el valor de la deformación para cada una de las interferencias viene dado de acuerdo a las simulaciones y el resultado obtenido de ellas; para el caso del pavimento se tiene en cuenta la máxima deformación obtenida en la zona de tunelación, pues es donde se encuentra la sobrecarga por tránsito.

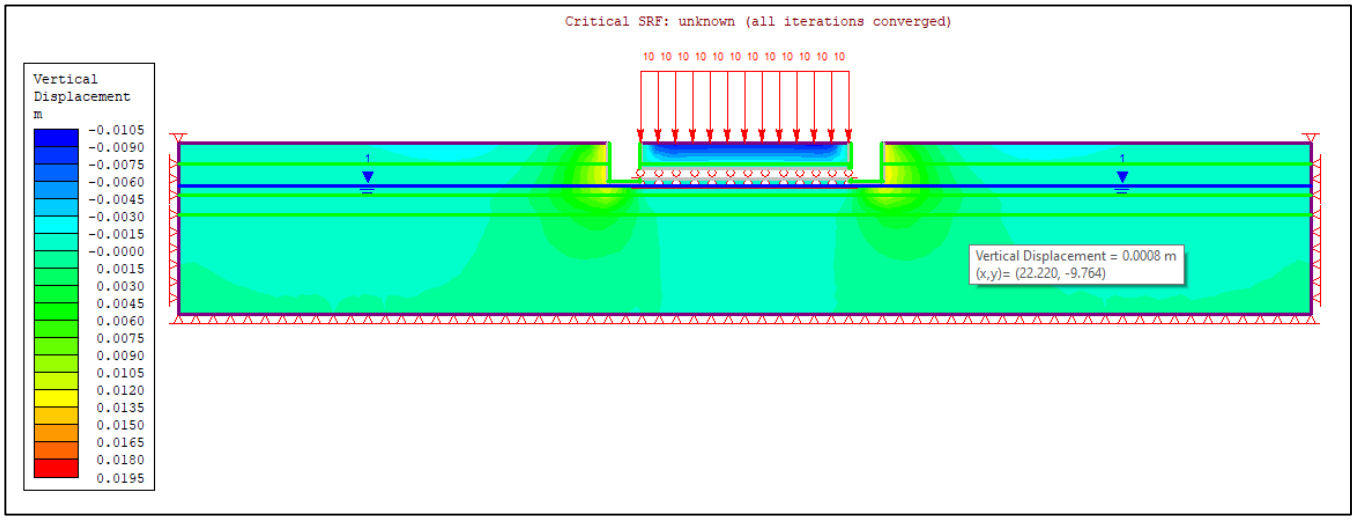
A continuación, se muestran las gráficas resultantes del análisis de desplazamientos verticales realizados en el software Phase2 para ambas interferencias.

Gráfico 2. Deformaciones en superficie por proceso de tunelación interferencia B1 44 45 46



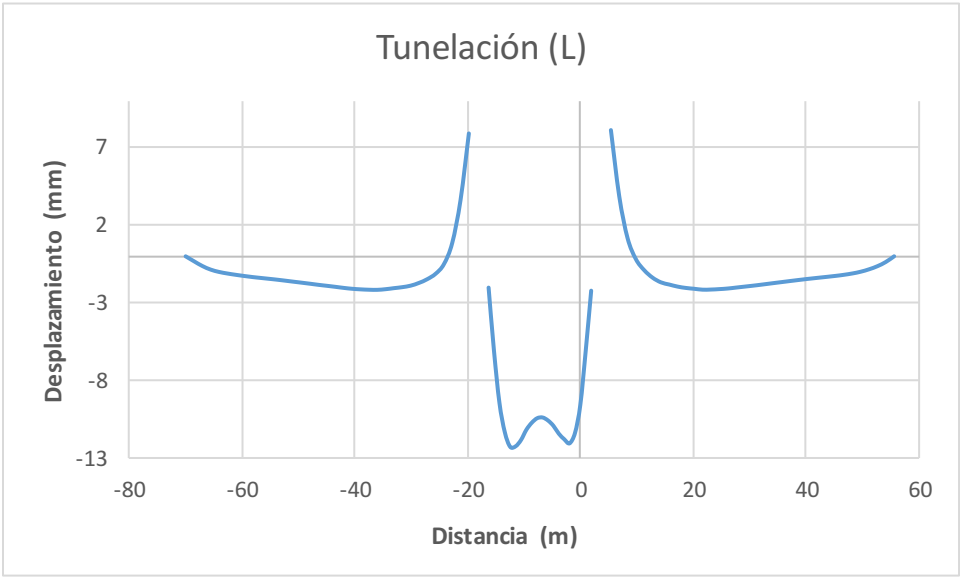
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Resultado modelación desplazamientos verticales en superficie interferencia B1 44 45 46.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Deformaciones en superficie por proceso de tunelación interferencia B1 36



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Resultado modelación desplazamientos verticales en superficie interferencia B1 36

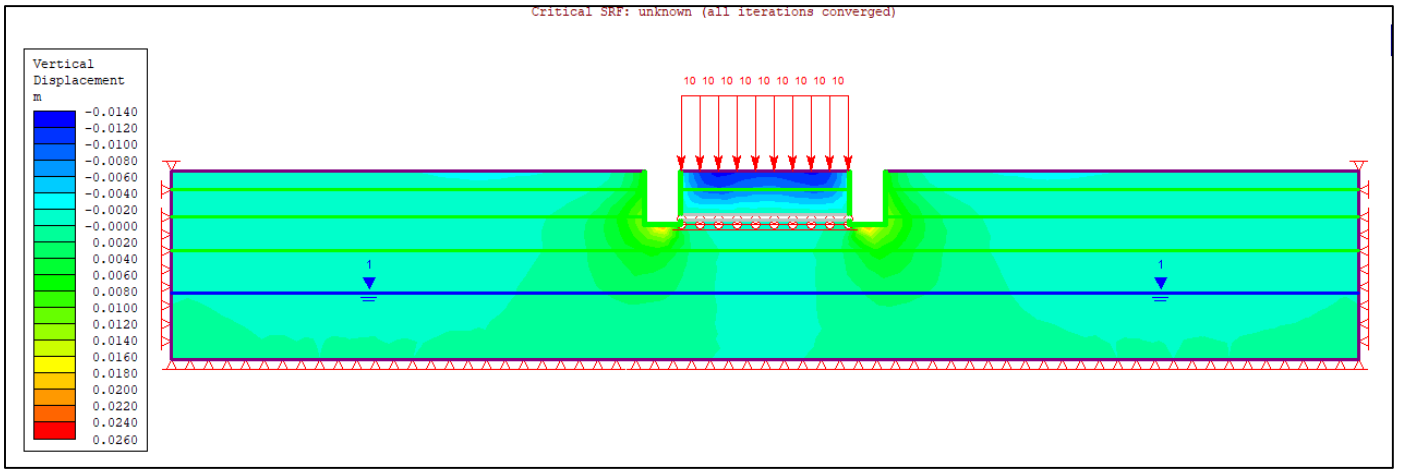


Tabla 39. Evaluación deflexión en pavimentos interferencia 45-46.

INTERFERENCIA B1 44 45 46	
Tiempo 1	
Deformación (mm)	0,51
Umbral Tolerable t1 (mm)	40
Relación Deformación/ Umbral Tolerable t1	0,0128
Tiempo 2	
Deformación (mm)	9,31
Umbral Tolerable t2 (mm)	0,51
Relación Deformación/ Umbral Tolerable.	18,25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Evaluación deflexión en pavimentos interferencia 36

INTERFERENCIA B1 36	
Tiempo 1	
Deformación (mm)	0,51
Umbral Tolerable t1 (mm)	40
Relación Deformación/ Umbral Tolerable t1	0,0128
Tiempo 1	
Deformación (mm)	12,87
Umbral Tolerable t2 (mm)	0,51
Relación Deformación/ Umbral Tolerable.	25,24

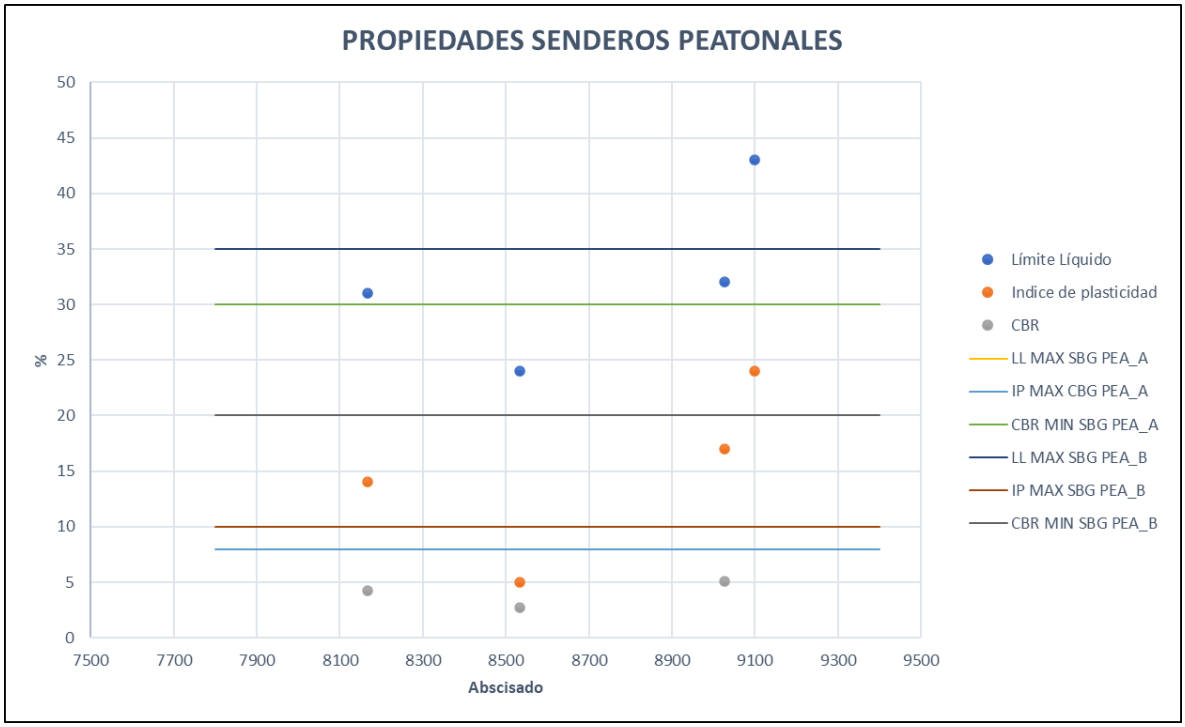
Fuente: Elaboración propia

Con las relaciones obtenidas en las tablas 39 y 40, se asigna la ponderación a cada interferencia de acuerdo a lo propuesto en la tabla 4.

Límites de consistencia.

La evaluación de los límites de consistencia se realiza a partir de las características determinadas para los materiales encontrados en las exploraciones geotécnicas realizadas por la empresa metro de Bogotá, relacionadas en el capítulo 5.6 del presente documento; se realiza la respectiva comparación con la normativa IDU vigente para las características de las sub bases granulares de senderos peatonales.

Gráfico 4. Comparación propiedades senderos peatonales.



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el gráfico 2, los materiales no cumplen con los límites normativos, de acuerdo a esto se asignó una ponderación para este parámetro basados en la propuesta descrita en la tabla 5.

Asentamientos en edificaciones.

De acuerdo a la información recogida del IDECA, que es una infraestructura de datos espaciales para el distrito capital, se encontró que en el área de influencia del proyecto predominan lotes cuyas dimensiones son de 6x12, teniendo en cuenta esta información y suponiendo que las edificaciones en la zona poseen mínimo vigas y columnas en dos direcciones, de acuerdo a los observado en las visitas de capo realizadas a la zona, se realiza una suposición en la que las columnas se encuentran a una distancia equidistante una de la otra, correspondiente a 3m, teniendo esto en cuenta y aplicando la tabla h.4.9-1 del Título H de la NSR-10, en la que se determina que las edificaciones de la zona se catalogan como edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores, el umbral de desplazamientos vertical para estas será igual a 3m/1000; equivalente a 3mm.

Teniendo en cuenta lo anterior y tomando los datos obtenidos en las simulaciones en el software Phase 2 para los diferentes escenarios del proceso constructivo de los traslados de redes con la metodología trenchless, tomando el mayor desplazamiento obtenido en las zonas denominadas pozos, el cual corresponde a 2.16mm aproximadamente, tenemos que el valor para este aspectos de la robustez es igual a 2.16mm/3mm=0.72, este valor se relacionan con la tabla 6 para determinar su ponderación, para la intersección 45-46 tenemos que 11.04mm/3mm=3.68, este valor se relacionan igualmente con la tabla 6 para determinar su ponderación,.

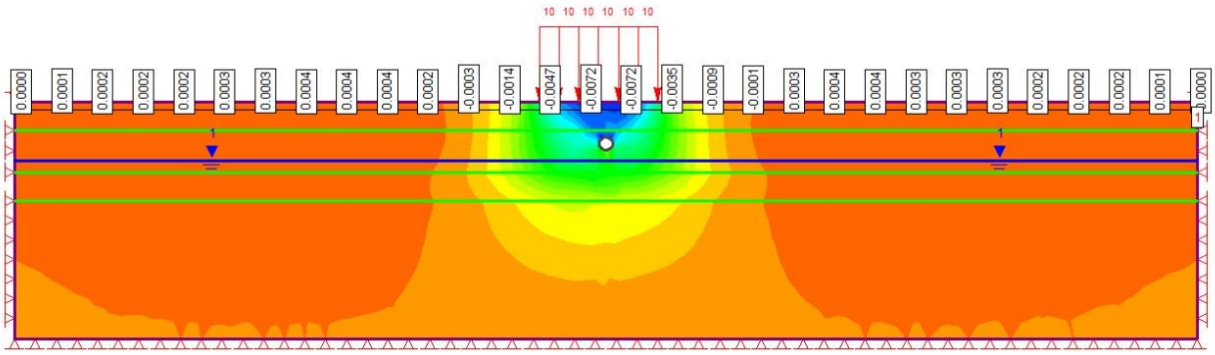
Deflexiones en redes.

Partiendo de la teoría y de acuerdo a los resultados obtenidos en las modelaciones en Phase 2, para el caso de las redes en gres, concreto o asbesto-cemento que corresponden a algunas redes de acueducto, de acuerdo (poner bibliografía) se tiene que el umbral de deflexión para estas es del 1% de su diámetro. Para las redes en tubería flexible se toma como umbral máximo de deflexión el 7.5% del diámetro de la tubería.

A partir de lo anterior y recopilando la información suministrada por el geovisor de la EAAB, se recopiló un listado de las redes dentro de la zona de afectación o influencia y se determinó su umbral máximo de deflexión, con el cual se asignó la ponderación a partir de las simulaciones en el software Phase 2 y lo determinado en la tabla 7.

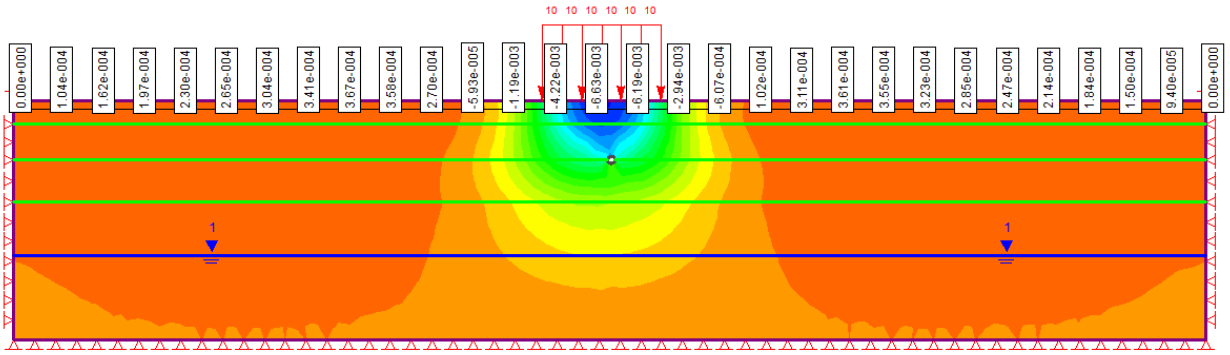
De acuerdo a lo ya mencionado los desplazamientos que se emplearon para determinar la ponderación de este parámetro de la robustez se realizó un promedio de las profundidades de las tuberías de las redes de acueducto y alcantarillado dentro de la zona y a partir de la modelación en el software Phase 2, se obtuvo las relaciones antes descritas.

Imagen 42. Deflexión en redes de acueducto para la interferencia 44 – 45.



Fuente propia

Imagen 43. Deflexión en redes de acueducto para la interferencia 36



Fuente propia

El análisis se realiza tanto para la red de acueducto como para la red de alcantarillado, con el fin de determinar en cuál de estos casos se obtiene una menor ponderación la cual se empleará para determinar este parámetro de la robustez; para el tiempo 1, al encontrarse en condiciones normales, se asigna una ponderación de 1 para las dos interferencias y para el tiempo 2 se toma el escenario más crítico, el cual corresponde a una ponderación de 0 debido a que las redes de alcantarillado presentes en la zona son de material rígido, el cual se ve afectado por deflexiones que superen el

1% del diámetro de la tubería y que debido a la presencia del evento disruptivo, en las mayor parte de la red, se ve superado el umbral máximo de deflexión.

Fragilidad en edificaciones.

De acuerdo a las observaciones realizadas durante las visitas de campo hechas a la zona de influencia del proyecto del traslado de redes de acueducto y alcantarillado, se pudo notar que la mayoría de edificaciones en el área corresponden a edificaciones dentro del grupo de clasificación d, estructuras con confinamiento deficiente y estructuras hibridas, además la mayoría de edificaciones poseen un total de entre 2 a 3 pisos, teniendo esto en cuenta y de acuerdo a lo determinado en la tabla 8, la ponderación para este parámetro de la robustez es de 0.4.

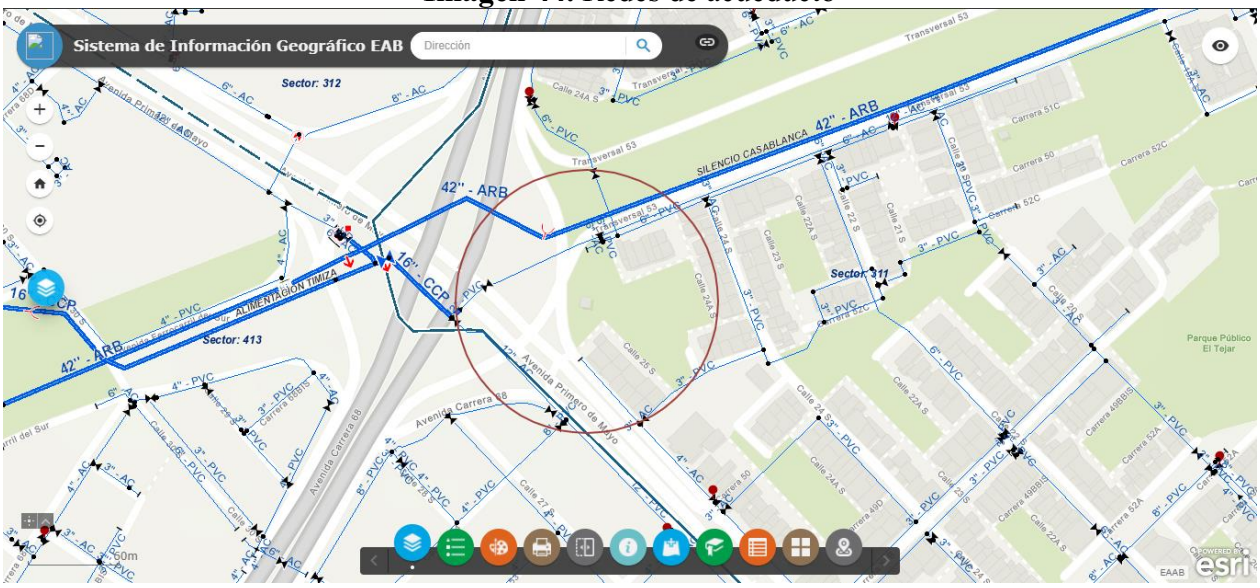
Fragilidad en vías.

Para la evaluación de la fragilidad en vías, se realizó el cálculo en primera instancia de la fragilidad de acuerdo con la ecuación 7, este procedimiento se realizó para las principales vías presentes en el área de influencia, midiendo a través de la página web del SINUPOT el ancho de las vías, se escoge el menor valor de los anteriormente calculados, basados en que se tiene en cuenta el escenario más desfavorable, para evaluar esta fragilidad en términos de robustez se realiza la resta entre 1 y el valor anteriormente escogido, así , la evaluación de la fragilidad en vías tendrá una valoración de 0,5714 para los tiempos t1 y t2; esto para las dos interferencias en estudio y para los dos tiempos, pues éste parámetro no cambia con la ocurrencia del evento disruptivo.

Fragilidad en redes.

A partir del consolidado de redes de acueducto que se encuentran en la herramienta del geoportal de la EAAB, en las redes de acueducto que se encuentran dentro del área de influencia predominan aquellas con un diámetro mayor a 2", con base en lo anterior, la fragilidad de las redes de acueducto en la zona se determina a partir de lo consignado en la tabla 9, posteriormente para calcular la ponderación de este parámetro, se realiza la diferencia entre 1 y el valor de la fragilidad de las redes de acueducto.

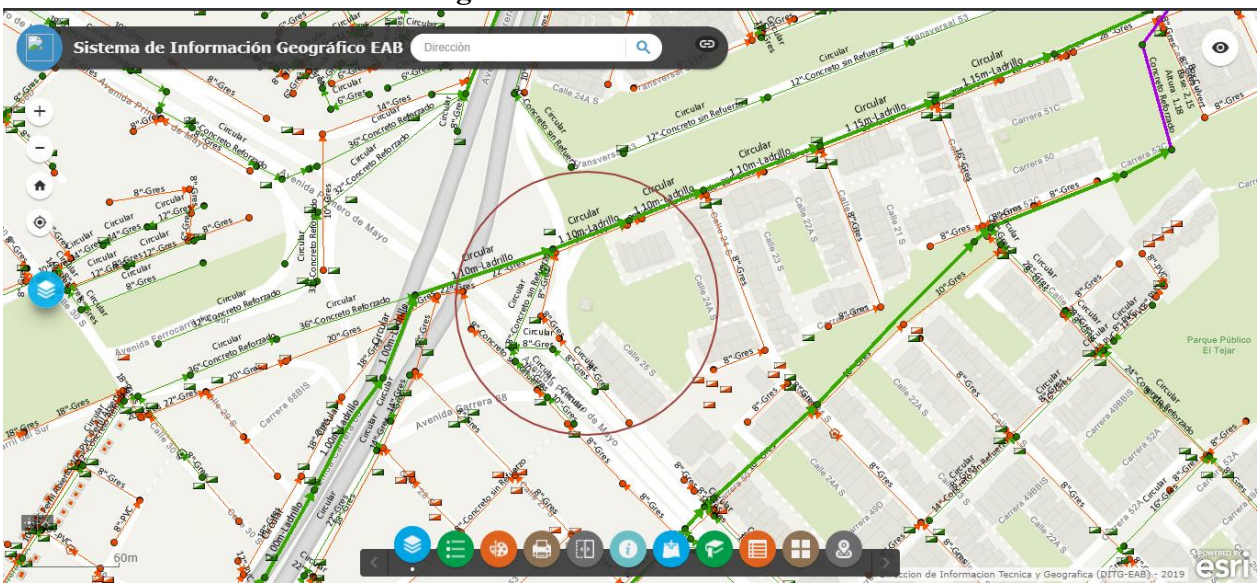
Imagen 44. Redes de acueducto



Fuente, Geoportal de la EAAB.

Según el consolidado de redes de alcantarillado que se encuentran en la herramienta del geoportal de la EAAB, en las redes de alcantarillado que se encuentran dentro del área de influencia predominan aquellas construidas en gres, con base en lo anterior, la fragilidad de las redes de alcantarillado en la zona se determina de acuerdo a lo establecido en la tabla 10 y al realizar la diferencia entre 1 y el valor de la fragilidad de las redes de acueducto, se obtiene la ponderación para este parámetro.

Imagen 45. Redes de alcantarillado



Fuente, Geoportal de la EAAB.

Luego de realizar el análisis antes descrito y asignar las respectivas ponderaciones para cada interferencia se hace uso de la ecuación 8, a continuación, las tablas 41 y 42 muestran el resumen del cálculo de la robustez realizado para cada interferencia y cada tiempo.

Tabla 41. Robustez interferencia B1 44 45 46

INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Robustez	Irregularidades en planta	0.05	0.66	0.05	0.66
	Irregularidades en altura	0.05	0.86	0.05	0.86
	Deflexiones en pavimento existente	0.2	1.00	0.2	0.00
	Limites de consistencia de la estructura peatonal	0.05	0.00	0.05	0.00
	Asentamientos en edificaciones	0.2	1.00	0.2	0.60
	Deflexiones en redes de servicios	0.15	1.00	0.15	0.00
	Fragilidad de edificaciones según su tipología y altura.	0.1	0.40	0.1	0.40
	Fragilidad en vías	0.1	0.57	0.1	0.57
	Fragilidad en redes de servicios	0.1	0.56	0.1	0.56
		Robustez	0.78		0.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Robustez interferencia B1 36

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Robustez	Irregularidades en planta	0.05	0.66	0.05	0.66
	Irregularidades en altura	0.05	0.86	0.05	0.86
	Deflexiones en pavimento existente	0.2	1	0.2	0
	Limites de consistencia de la estructura peatonal	0.05	0	0.05	0
	Asentamientos en edificaciones	0.2	1	0.2	0.4
	Deflexiones en redes de servicios	0.15	1	0.15	0
	Fragilidad de edificaciones según su tipología y altura.	0.1	0.4	0.1	0.4
	Fragilidad en vías	0.1	0.5714	0.1	0.5714
	Fragilidad en redes de servicios	0.1	0.56	0.1	0.56
		Robustez	0.78		0.31

Fuente: Elaboración propia

6.2.Estimación de la redundancia.

De acuerdo a lo descrito en la metodología del presente documento, se estima la redundancia de las interferencias para ambos tiempos, los parámetros utilizados en esta estimación se relacionan con las vías alternas, parámetros de configuración estructural de las edificaciones pertenecientes a la zona de influencia y otros, para esto se tiene en cuenta los parámetros descritos en las tablas 11, 12 y 13 además de la ecuación 7.

Es importante destacar que para ambas interferencias se manejan las mismas ponderaciones pues la zona de influencia que se tiene en cuenta abarca ambas interferencias, respecto a los tiempos 1 y 2, se tiene en cuenta que en el segundo instante de tiempo se asume que ya ha ocurrido el evento

disruptivo, a partir de esta consideración se realiza el análisis de cada parámetro para posteriormente asignar la ponderación correspondiente.

Vías alternas.

Para el caso de las vías alternas se tiene en cuenta el tránsito proyectado en ejes equivalentes tomados de los documentos oficiales de los estudios técnicos realizados para la construcción de la primera línea del metro de Bogotá, a fin de establecer si las vías proyectadas como desvíos tienen la capacidad de absorber en caso de cierre de la vía en la cual se realice el cierre debido al evento disruptivo.

A continuación, se muestran los desvíos relacionados para el sentido oriente-occidente y occidente-oriente.

Tabla 43. Desvíos sentido occidente-oriente

SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE		
VÍA DESVÍO	**DESDE**	**HASTA**
Carrera 68 I	Av. Primero de mayo	Dg 34 sur
Dg 34 sur	Carrera 68 I	Carrera 68 A
Carrera 68 A	Dg 34 Sur	Dg 35 Sur
Dg 35 Sur	Carrera 68 A	Av. 68
Av. 68	Dg 35 Sur	Av. Primero de mayo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Desvíos sentido oriente-occidente

SENTIDO ORIENTE - OCCIDENTE		
VÍA DESVÍO	**DESDE**	**HASTA**
Avenida 68	Av. Primero de mayo	Transversal 60
Transversal 60	Avenida 68	Carrera 60
Carrera 60	Transversal 60	Calle 3
Calle 3	Carrera 60	Av. 68
Av. 68	Calle 3	Av. Primero de mayo

Fuente: Elaboración propia.

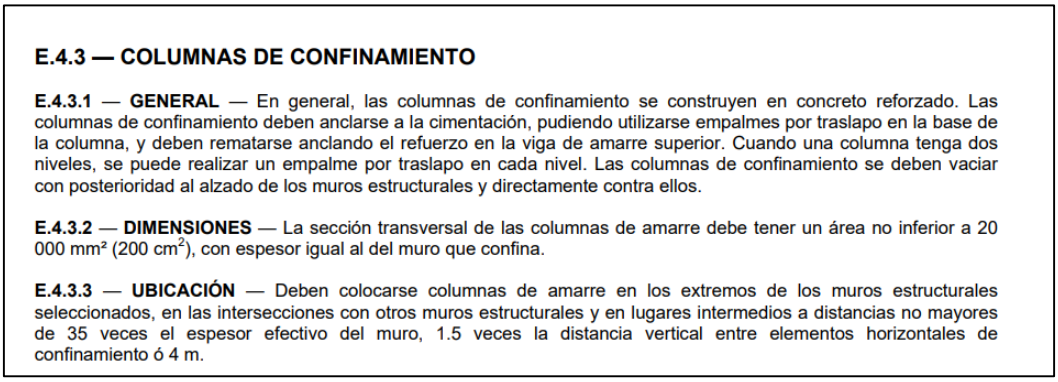
Grupo de uso edificaciones.

Para evaluar el grupo de uso de las edificaciones se realizó una consulta en la galería de mapas del IDECA, donde se evidenció que la mayoría de predios tienen uso residencial y comercial, de acuerdo a esto se asigna la ponderación correspondiente, se asigna la misma para las dos interferencias y para los dos instantes de tiempo evaluados, pues la ocurrencia del evento disruptivo no implica cambios en el uso de los predios.

Redundancia estructural.

La redundancia estructural se evalúa a partir de los parámetros descritos en el titulo E de la NSR-10 en lo referente a columnas y vigas de confinamiento para mampostería confinada, pues se identificó que en la zona de influencia este es el sistema estructural predominante; se evidencia que en varios predios no se cuenta con elementos continuos de confinamiento o en su defecto no son los suficientes según los parámetros mostrados a continuación:

Imagen 46. Columnas de confinamiento



E.4.3 — COLUMNAS DE CONFINAMIENTO

E.4.3.1 — **GENERAL** — En general, las columnas de confinamiento se construyen en concreto reforzado. Las columnas de confinamiento deben anclarse a la cimentación, pudiendo utilizarse empalmes por traslapo en la base de la columna, y deben rematarse anclando el refuerzo en la viga de amarre superior. Cuando una columna tenga dos niveles, se puede realizar un empalme por traslapo en cada nivel. Las columnas de confinamiento se deben vaciar con posterioridad al alzado de los muros estructurales y directamente contra ellos.

E.4.3.2 — **DIMENSIONES** — La sección transversal de las columnas de amarre debe tener un área no inferior a 20 000 mm² (200 cm^2), con espesor igual al del muro que confina.

E.4.3.3 — **UBICACIÓN** — Deben colocarse columnas de amarre en los extremos de los muros estructurales seleccionados, en las intersecciones con otros muros estructurales y en lugares intermedios a distancias no mayores de 35 veces el espesor efectivo del muro, 1.5 veces la distancia vertical entre elementos horizontales de confinamiento ó 4 m.

Fuente: NSR-10 título E

A continuación, se muestra el resumen del cálculo realizado para la redundancia de las interferencias en los instantes de tiempo 1 y 2 de acuerdo a la ecuación 9 mostrada en el marco metodológico del presente documento.

Tabla 45. Redundancia interferencia B1 44 45 46.

INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Redundancia	Vias alternas	0,5	0,5	0,6	0,5
	Grupos de uso	0,2	1	0,1	1
	Redundancia estructural	0,3	0	0,3	0
		Redundancia	0,45		0,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Redundancia interferencia B1-36

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Redundancia	Vias alternas	0,5	0,5	0,6	0,5
	Grupos de uso	0,2	1	0,1	1
	Redundancia estructural	0,3	0	0,3	0
		Redundancia	0,45		0,4

Fuente: Elaboración propia

6.3.Estimación de Capacidad de gestión.

Para la estimación de la capacidad de gestión se tuvieron varios aspectos en cuenta, la mayoría de ellos relacionados con las políticas de gestión de riesgo que se tienen en la ciudad de Bogotá para atención de diferentes eventos.

Para la evaluación de este parámetro, se tiene en cuenta los documentos de la secretaría distrital de planeación donde se tienen informes de las actividades económicas predominantes en la zona, los cuales corresponden a las localidades de Puente Aranda y Kennedy.

Para la localidad de Puente Aranda se tiene que la mayoría de comercio es perteneciente a microempresarios, con empresas dedicadas al comercio con un 42%, industria con un 26%, transporte, almacenamiento y comunicaciones con el 8%, servicios inmobiliarios y de alquiler con el 6%, y restaurantes y hoteles con el mismo porcentaje.

Los sectores económicos más importantes de la localidad de Kennedy son: comercio, industria, servicios inmobiliarios, empresariales y de alquiler.

Respecto a las políticas de gestión del riesgo, de acuerdo a los consultado en el marco de actuación Estrategia Distrital para la atención de emergencias, se observa que en la ciudad de Bogotá se posee un manejo para la atención de emergencias estructurado de tal forma que dependiendo del tipo de emergencia que se debe atender existe un protocolo de ejecución, atención y respuesta propio y así mismo existe una articulación entre las diferentes entidades tanto públicas como privadas que están encargadas de atender las emergencias y además están facultadas y calificadas para responder a la atención de emergencia de forma oportuna.

Tabla 47. Capacidad de gestión interferencia B1 44 45 46

INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de gestión	Actividades economicas predominantes	0.4	0.6	0.2	0.6
	Politicas de gestion del riesgo	0.3	1	0.4	1
	Articulacion de politicas	0.3	1	0.4	1
		Cap Gestión	0.84		0.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Capacidad de gestión interferencia B1 36

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de gestión	Actividades economicas predominantes	0.4	0.6	0.2	0.6
	Politicas de gestion del riesgo	0.3	1	0.4	1
	Articulacion de politicas	0.3	1	0.4	1
		Cap Gestión	0.84		0.92

Fuente: Elaboración propia.

6.4.Estimación Capacidad de recuperación.

Para la estimación de la capacidad de recuperación se tuvieron varios aspectos en cuenta, la mayoría de ellos relacionados con las políticas de gestión de riesgo que se tienen en la ciudad de Bogotá para atención de diferentes eventos.

Las actividades económicas desarrolladas en la zona de influencia se enmarcan en las localidades de Puente Aranda y Kennedy, la primera de ellas. Según la Secretaría Distrital de Planeación tiene actividades económicas articuladas con cadenas productivas de productos alimenticios, textil y confección, Construcción e Ingeniería Civil, de igual manera la localidad de Kennedy se enmarca dentro de estas actividades económicas.

Respecto a las políticas de gestión del riesgo, de acuerdo a los consultado en el marco de actuación Estrategia Distrital para la atención de emergencias, se observa que en la ciudad de Bogotá se posee un manejo para la atención de emergencias estructurado de tal forma que dependiendo del tipo de emergencia que se debe atender existe un protocolo de ejecución, atención y respuesta propio y así mismo existe una articulación entre las diferentes entidades tanto públicas como privadas que están encargadas de atender las emergencias y además están facultadas y calificadas para responder a la atención de emergencia de forma oportuna.

Tabla 49. Capacidad de recuperación interferencia B1 44 45 46

INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de recuperación	Actividades economicas	0.4	1	0.6	1
	Politicas de gestion del riesgo	0.3	1	0.1	1
	Articulacion de politicas	0.3	1	0.3	1
		Cap Recup	1		1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Capacidad de recuperación interferencia B1 36

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de recuperación	Actividades economicas	0.4	1	0.6	1
	Politicas de gestion del riesgo	0.3	1	0.1	1
	Articulacion de politicas	0.3	1	0.3	1
		Cap Recup	1		1

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3 se puede apreciar de manera detallada el cálculo y análisis de los parámetros descritos en el presente capítulo.

7. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RESILIENCIA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LAS INTERFERENCIAS ESTUDIADAS.

Para la estimación de la resiliencia en los instantes de tiempo 1 y 2, se hace uso de las ecuaciones 3 y 4, para ambas interferencias, para el cálculo del índice de resiliencia de cada interferencia se hace uso de la ecuación 2, éstos se calculan a partir de los resultados obtenidos para los componentes de robustez, redundancia, capacidad de gestión y capacidad de recuperación mostrados en las tablas 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49,50.

A continuación, se muestra los resultados de la resiliencia y sus correspondientes índices para las dos interferencias.

Tabla 51. Índice de resiliencia para la interferencia B1-44-45-46

INTERFERENCIA B1-44-45-46		
Componente	**Tiempo 1**	**Tiempo 2**
Robustez	0.78	0.35
Redundancia	0.45	0.40
Capacidad de gestión	0.84	0.92
Capacidad de recuperación	1.00	1.00
Resiliencia	0.68	0.66
Indice de Resiliencia		0.978

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Índice de resiliencia para la interferencia B1-36

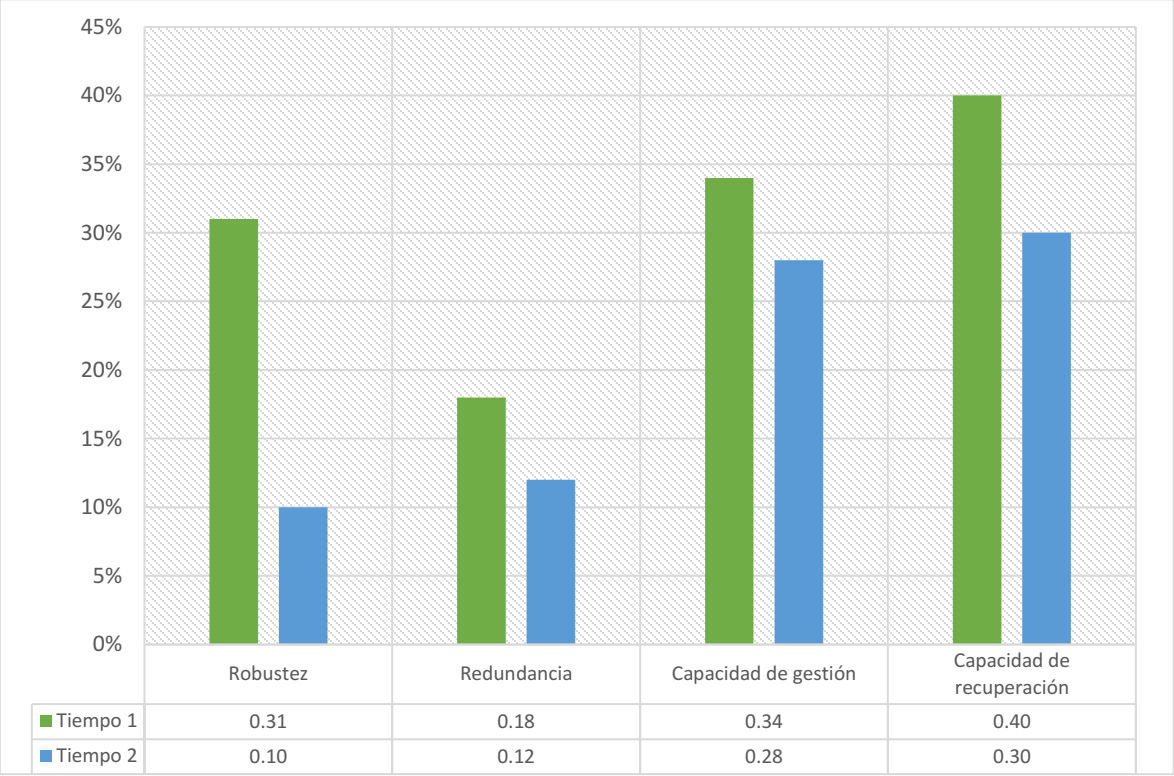
INTERFERENCIA B1-36		
Componente	**Tiempo 1**	**Tiempo 2**
Robustez	0.78	0.31
Redundancia	0.45	0.40
Capacidad de gestión	0.84	0.92
Capacidad de recuperación	1.00	1.00
Resiliencia	0.68	0.65
Indice de Resiliencia		0.960

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las tablas 51 y 52, para las interferencias estudiadas en el presente documento se tienen índices de resiliencia similares, casi iguales, esto se debe a que para ambas interferencias se tiene una zona de influencia que las engloba y que permitió que al realizar el análisis de los parámetros evaluados en los cuatro componentes de la resiliencia se tuviesen valores similares, las pequeñas variaciones se deben principalmente a las simulaciones realizadas, pues los desplazamientos en superficie generados por cada una, varían de acuerdo con la estratigrafía y los valores de propiedades geotécnicas de cada una, así mismo la profundidad y diámetro de los pozos de lanzamiento y tubería respectivamente, influyen en estos desplazamientos.

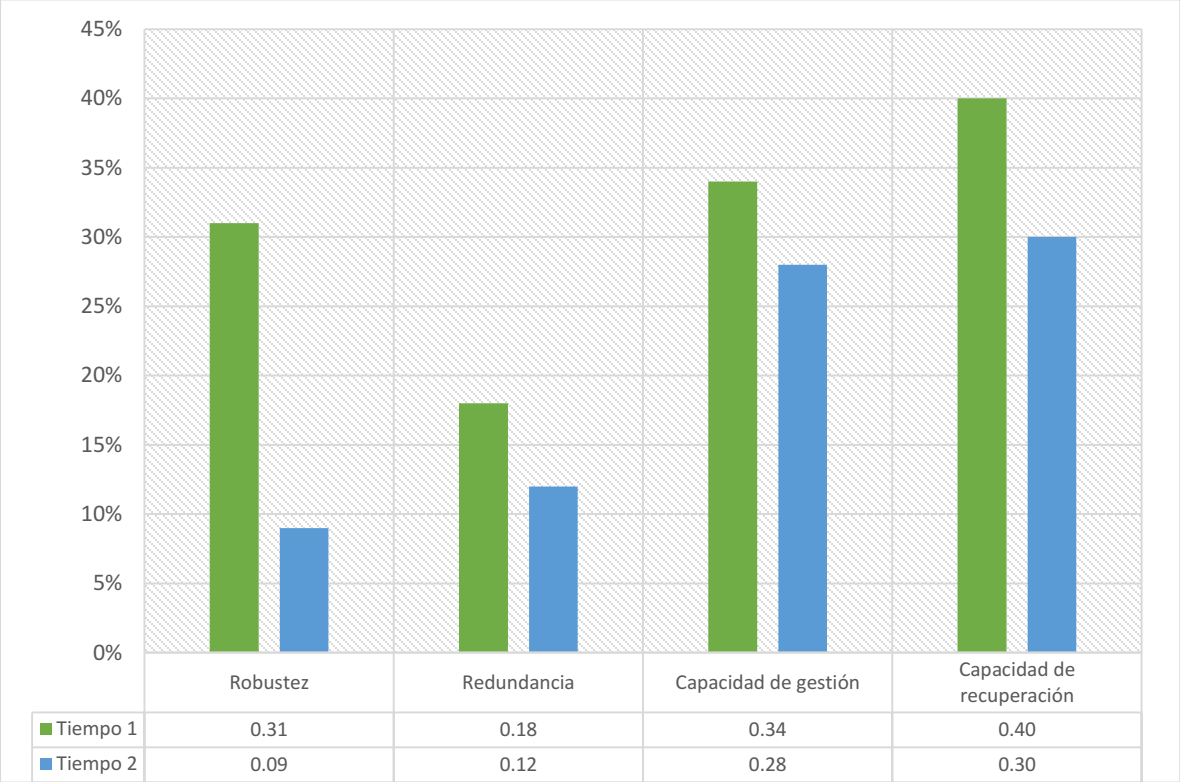
A continuación, se presentan las gráficas en las cuales se aprecia el porcentaje que tienen los resultados de la evaluación de los componentes de la resiliencia para los instantes de tiempo 1 y 2 con respecto al valor final de la resiliencia para cada interferencia en los instantes de tiempo evaluados.

Gráfico 5. Influencia de componentes de la resiliencia interferencia B1 44 45 46



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Influencia de componentes de la resiliencia interferencia B1 36



Fuente: Elaboración propia.

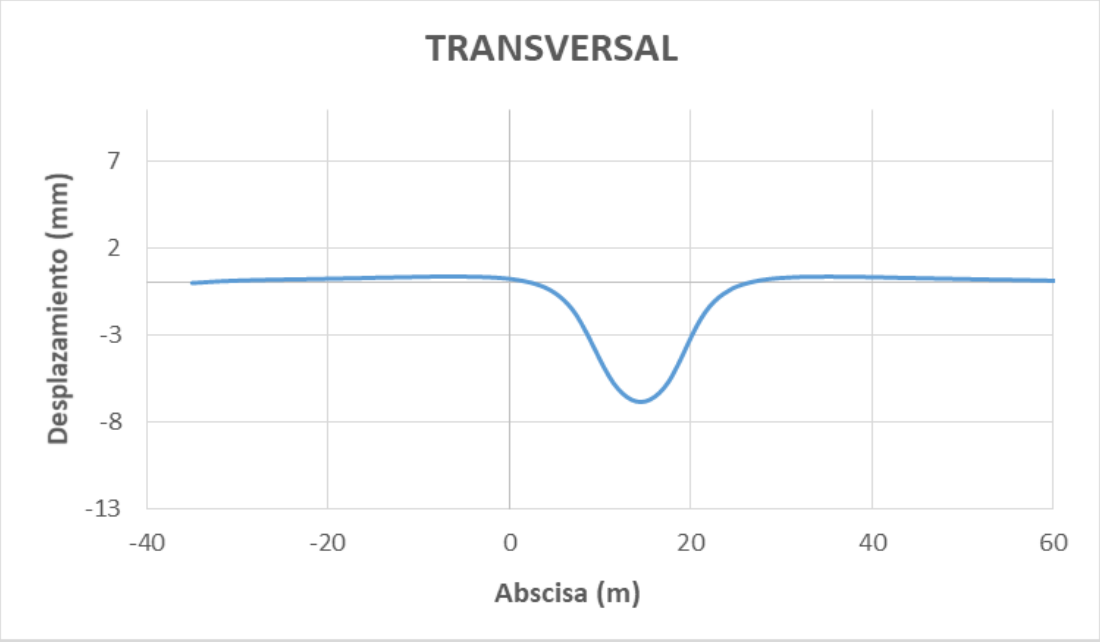
Como se observa en los gráficos 5 y 6, en el instante de tiempo 1 para ambas interferencias, los componentes que más relevancia tienen son la robustez y la redundancia, pues estos son determinantes en la capacidad que tendría el entorno urbano para sobre ponerse a algún evento disruptivo cualquiera que llegase a suceder y cambie radicalmente las condiciones normales de funcionamiento; mientras que en el instante de tiempo 2 los componentes que más relevancia tienen son los referentes a la capacidad de gestión y de recuperación relacionados directamente con políticas de gestión de riesgo y las entidades encargadas para ello.

Como se observa en las tablas 51 y 52, los valores estimados de la resiliencia a partir de las ecuaciones 3 y 4 para las interferencias en estudio son prácticamente iguales, en estos resultados se evidencia que aunque la robustez y la redundancia tengan una alta participación en el tiempo 1, sus valores son bajos debido a que la evaluación de cada uno de estos componentes arrojó que algunos de los parámetros no cumplen con especificaciones técnicas de base, en el instante de tiempo 2, el valor de la resiliencia se ve afectado por estos dos parámetros (robustez y redundancia)

en la medida en que la ocurrencia del evento disruptivo afectaría de gran manera las deficientes condiciones que presenta la zona de influencia en el instante de tiempo 1.

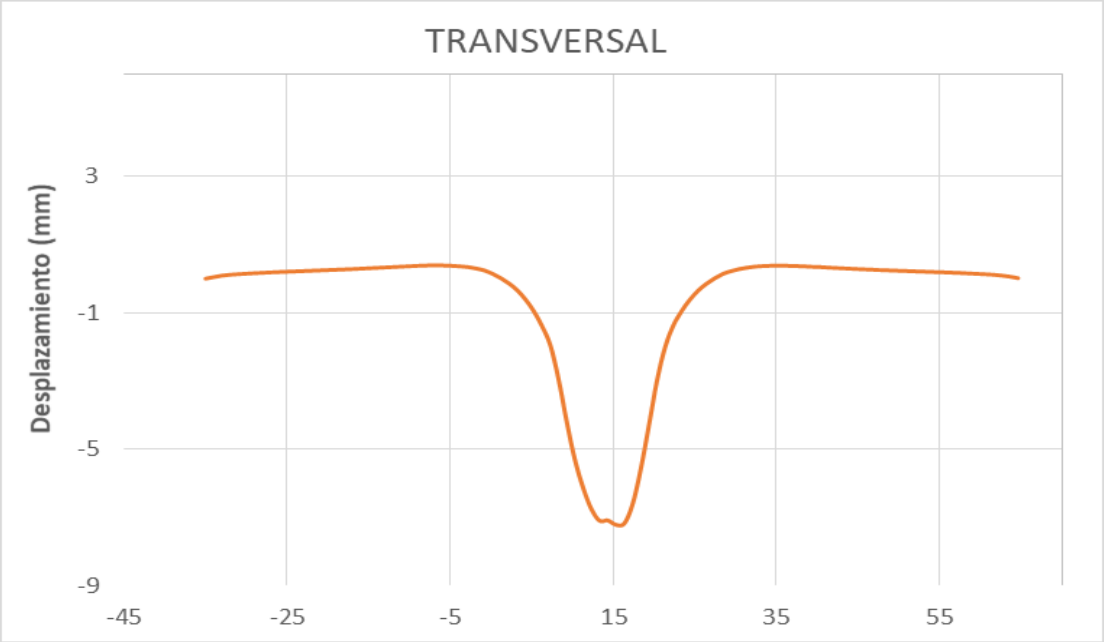
Los valores de la resiliencia para ambos tiempos son bajos, de acuerdo a las simulaciones realizadas, es posible afirmar que aunque los desplazamientos en superficie están en el orden de los milímetros, las condiciones actuales del pavimento, senderos peatonales, material de redes y otras condiciones hacen que el entorno en su totalidad sea frágil y vulnerable ante la ocurrencia de desplazamientos en superficie que evidentemente pueden llegar a ser inadmisibles, para visualizar de mejor manera esto, se tienen los gráficos 7 y 8 en los que se muestran los desplazamientos en la zona de tunelación para cada una de las interferencias, cuando se analiza de forma transversal.

Gráfico 7. Desplazamientos en superficie interferencia B1 36



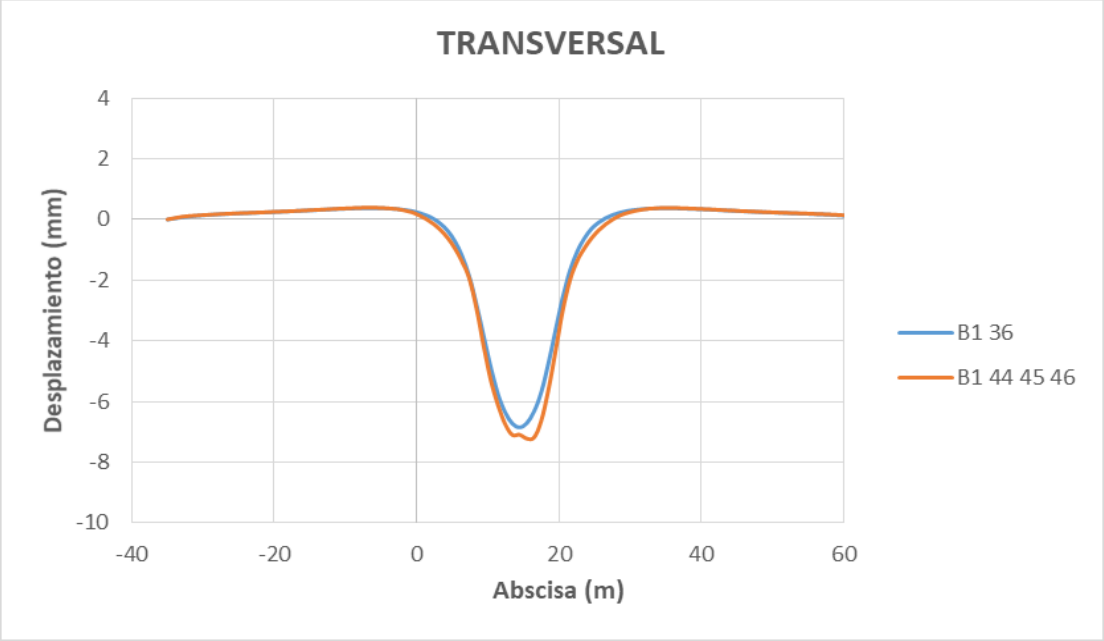
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Desplazamientos en superficie interferencia B1 36



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9. Comparación deformaciones**.**



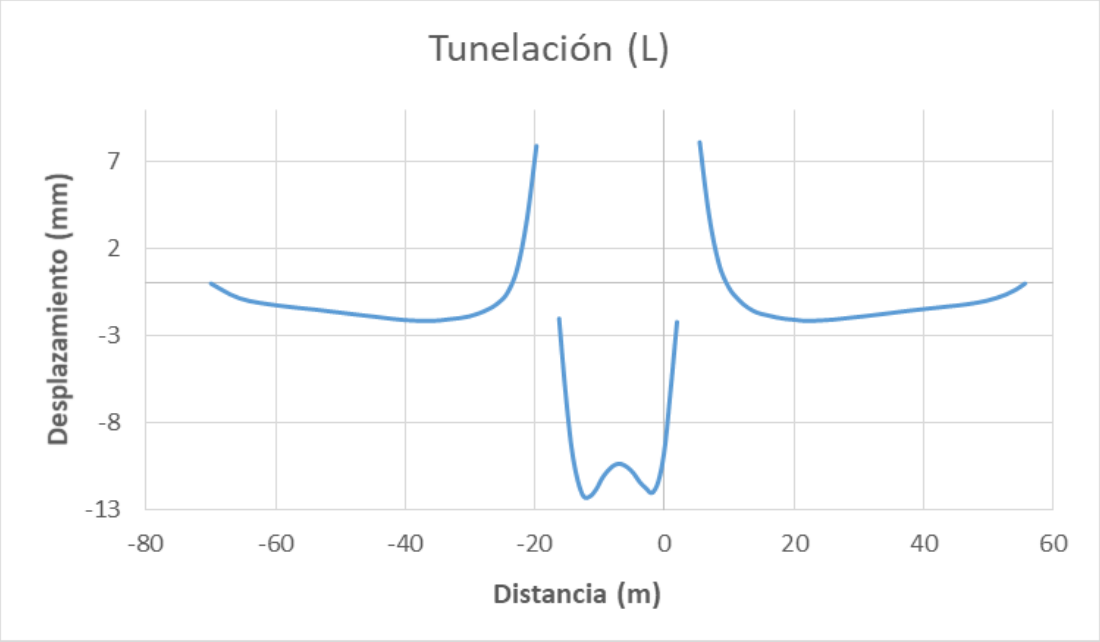
Fuente: Elaboración propia.

Como se evidencia en los graficos anteriores, los desplazamientos en superficie por la tunelación son similares en ambos casos estando entre los 6 y 8 mm, estas deformaciones son similares en ambas debido a que la estratigrafía de cada interferencia se enmarca en suelos arcillosos.

También en las simulaciones se analizó el efecto en los desplazamientos verticales mediante la secuencia de l proceso constructivo de la siguiente manera: Se simula la excavacion del pozo de lanzamiento a h/2, luego a h completo, teniendo en cuenta el recubrimiento de las paredes con anillos tipo caisson, una vez se tienen los pozos, se realiza la tunelacion en tres partes. A continuación las gráficas que representan los desplazamientos en superficie al final del proceso constructivo.

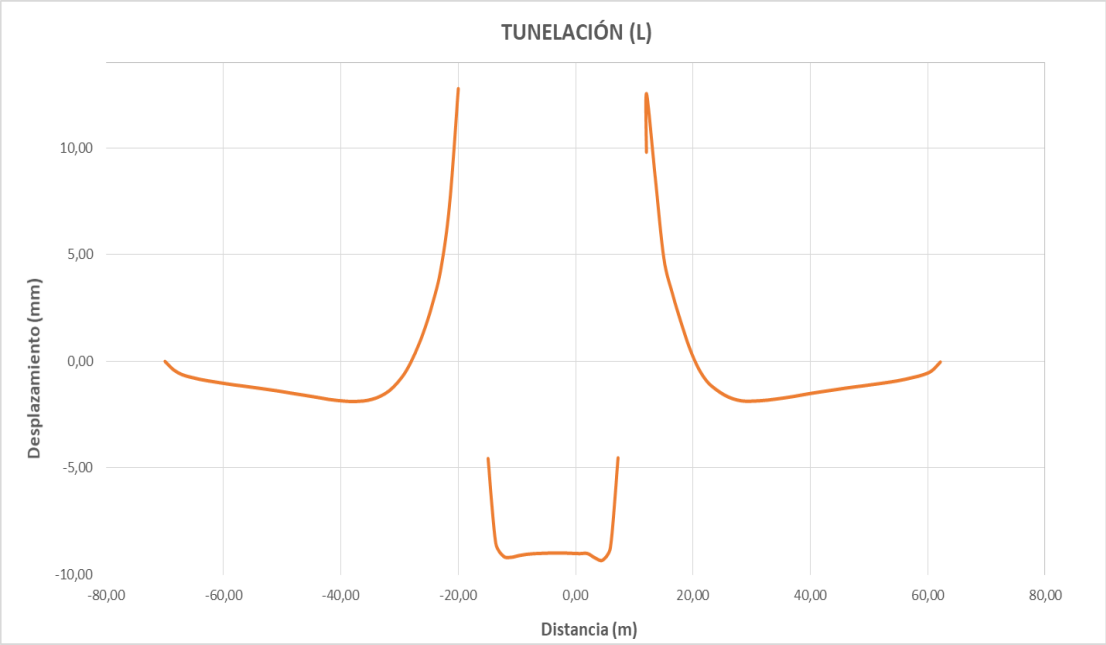
En el gráfico 9 se comparan las deformaciones en superficie obtenidas al simular transversalmente la tunelacion entre los pozos para cada una de las interferencias, de esta grafica se puede observar que en la interferencia B1 44 45 46 se presentan deformaciones mayores con respecto a la interferencia B1 36, esto se debe a que en la primera interferencia se tiene una profundidad de la tuberia menor a la de la segunda interferencia, genereando así que el suelo sobre la tuberia en la primera interferencia posea un menor espesor y asi mismo presente mayores deformaciones en superficie.

Gráfico 10. Proceso completo B1 36



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11. Proceso completo B1 44 45 46



Fuente: Elaboración propia.

En las graficas 10 y 11 se observa que en la zona derecha e izquierda, la cual corresponde a la zona aledaña a los pozos se genera un ascenso del terreno debido a la presión ejercida por los anillos tipo caisson que se colocan, este proceso de ascenso del terreno ocurre aproximadamente siete metros al costado de los pozos en el caso de la interferencia B1 44 45 46 y 3 metros en el caso de la interferencia B1 36, esto se da en gran parte debido a la profundidad de excavacion de los pozos, pues en el caso de la primera interferencia, esta tiene una profundidad de 4.6 m mientras que ela segunda tiene una profundidad de 5.8 m, al tener este último mayor profundidad, los

desplazamientos se profundizan de igual manera, mientras que en el caso de tener 4.6 m de profundidad, los desplazamientos se van a ver aumentados en la superficie.

Para la zona central, se tiene que la acción de la sobrecarga en superficie (correspondiente al tránsito de la zona) que condiciona en gran parte el comportamiento de los desplazamientos en superficie durante la etapa de tunelación, pues se tienen desplazamientos verticales descendentes de casi 13 mm en la interferencia B1 36, mientras que en la otra interferencia se tienen desplazamientos verticales de aproximadamente 10 mm , esto se puede deber tambien a que en el caso de la interferencia B1 36 se tiene una longitd menor que en el caso de la interferencia B1 44 45 46, por lo que en este ultimo se tendría un espacio mucho mayor para la distribución de los esfuerzos generados por la tunelación y la sobrecarga.

Ahora se hará un análisis de los resultados referenciados en las tablas 41, 42, 45 a 50 respecto a los componentes de la resiliencia para las dos interferencias en estudio.

Es notable que a medida que se va avanzando en el proceso constructivo de los pozos de lanzamiento y recepción y de la tunelación con tecnología sin zanja, las deformaciones en superficie tienden a aumentar debido a que se está generando un cambio en los esfuerzos tanto verticales como horizontales de la matriz de suelo, además se puede observar que hacia los costados externos de los pozos de lanzamiento y recepción los desplazamientos en superficie describen un comportamiento casi igual, como se observa en las gráficas 10 y 11, este comportamiento se debe a que tanto la estratigrafía del suelo como los esfuerzos que este va a experimentar debido a la construcción de los pozos es lo mismo a ambos costados, por lo que se espera que el comportamiento sea igual.

- **Robustez.**

En el caso del cálculo de la robustez, los parámetros que mayor relevancia tienen en este son las deflexiones en pavimento y edificaciones seguidos de las deflexiones en redes de servicio, criterios de fragilidad y finalmente las irregularidades de edificaciones.

Las deflexiones en el pavimento tal como se explicó con anterioridad en este documento, se calcularon para el instante de tiempo 1 teniendo en cuenta un umbral tolerable de 40 mm

referenciado a partir de la literatura disponible, para el instante de tiempo 2 se tiene en cuenta el umbral tolerable definido por la simulación realizada y mostrada en las figuras 8, 9 y 10 del presente documento, de allí se tiene que de acuerdo a lo mostrado en las tablas 39 y 40, las deformaciones en superficie provocadas por el uso de tecnología trenchless son inadmisibles para la estructura de pavimento existente de acuerdo a la simulación antes mencionada. Es importante mencionar que esto significaría que la estructura de pavimento puede sufrir patologías debido a estos desplazamientos, hundimientos que pueden significar una reducción importante en la calidad o nivel de servicio del pavimento.

En el caso de las deflexiones de edificaciones, basados en el titulo H de la NSR 10, se tiene que el umbral tolerable es de 3 mm, para este caso, las deformaciones se toman en las zonas juntos a los pozos de lanzamiento y recepción de las simulaciones realizadas y que se ubican hacia los costados de la simulación, pues representarían las viviendas que se encuentran aledañas a las interferencias (entre 15 y 20 m), de allí se tiene que estos valores son menores a la tolerancia por asentamientos de las edificaciones, lo que de primera mano podría sugerir que éstas podrían soportar asentamientos de esa magnitud sin sufrir una pérdida de funcionalidad, sin embargo es importante aclarar que éste análisis se realiza de manera somera pues no se tienen suficientes datos que permitan establecer con claridad los posibles asentamientos y configuración estructural.

Las deflexiones en las redes de servicios, se realiza basados en la literatura existente, teniendo en cuenta los materiales predominantes en la zona como se explicó con anterioridad en el presente documento, a partir de ello se realiza la comparación de acuerdo a lo establecido en el marco metodológico, de allí es importante resaltar que las que tienen mayor riesgo de sufrir algún daño por desplazamientos en superficie son tuberías de alcantarillado, por lo que en el instante de tiempo 2 este parámetro no aportaría ningún valor a la robustez del sistema.

Los límites de consistencia de los senderos peatonales dejan ver de igual manera que los materiales presentes en ellos se componen de materiales con muy poca capacidad, lo que también, en caso de presentarse los desplazamientos en superficie simulados puede significar algún daño en ellos, sin embargo, también es válido resaltar que estos andenes serán modificados de acuerdo a lo establecido para la primera línea del metro de Bogotá.

Como puede verse, los principales parámetros evaluados en el componente de robustez del entorno urbano, no aportan valor a la resiliencia de las interferencias en los dos instantes de tiempo analizados.

- **Redundancia**

El análisis de la redundancia se ve afectado en gran manera por la nula redundancia estructural existente en la zona estudiada, pues como se explica y visualiza en el anexo 3, las estructuras presentes en la zona no cuentan con suficiente número de elementos estructurales, aunque esto no determina de manera estricta el comportamiento estructural y posibles fallas ante asentamientos diferenciales, si deja ver que el sistema constructivo y la práctica normativa no se tuvo en cuenta durante la construcción de dichas viviendas, pues bien se sabe que la zona es principalmente resultado de la autoconstrucción.

El análisis de las vías alternas propuestas por el consorcio metro Bog de la PLMB deja ver también, que éstas no tienen el número de carriles suficientes para suplir la demanda exigida en caso de realizar el cierre de la vía por efectos del evento disruptivo analizado, siendo así, este ítem tiene un aporte bajo al componente de la redundancia.

- **Capacidad de gestión y recuperación**

La evaluación de este ítem se basó en las políticas de gestión del riesgo implementadas principalmente por el IDIGER en Bogotá, se le asignó en este caso una ponderación de 1 en ambos tiempos e interferencias a partir de la premisa de que se tienen las políticas de gestión del riesgo y las articulaciones correspondientes con las entidades.

En cuanto a las actividades económicas de las localidades de Kennedy y Puente Aranda, se tiene que en ellas se llevan a cabo actividades relacionadas con la construcción, lo que representa que la recuperación en caso del evento disruptivo analizado pueda ser más rápido.

En el anexo 1 y 2 se pueden apreciar las gráficas resultantes del análisis de desplazamientos en superficie y los desplazamientos en superficie obtenidos de las simulaciones realizadas.

- **Índice de resiliencia.**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para el índice de resiliencia para las dos interferencias analizadas, se observa que dichos valores son cercanos o similares, estando alrededor del 78%, esto indica que la ocurrencia del evento disruptivo en los dos casos implica una pérdida de funcionalidad del entorno urbano el cual se encuentra enmarcado dentro del área de influencia, que se describió previamente.

8. CONCLUSIONES

- ✓ El índice de resiliencia determinado representa la capacidad que tiene el entorno urbano de recuperarse luego de la ocurrencia del evento disruptivo, tendiendo que un resultado igual a 1 indica que el entorno se recuperó completamente alcanzando el estado inicial en el cual se encontraba antes de la ocurrencia de dicho evento. Para el caso del índice calculado en el entorno urbano, para las dos interferencias, se obtuvo valores similares, indicando que los elementos del entorno urbano presentes en el área de influencia no lograron recuperarse complemente luego de la ocurrencia del evento disruptivo teniendo una disminución de la resiliencia en el instante de tiempo 2, en consecuencia, se obtuvo un índice de resiliencia de aproximadamente el 96%, la resiliencia en el instante de tiempo t1 y t2 son 0,68 y 0,65 respectivamente, siendo estos valores bajos, indicando que el entorno urbano en primera instancia no estaría realmente preparado para una recuperación rápida de su funcionalidad una vez han ocurrido los desplazamientos en superficie.

- ✓ Aunque el índice de resiliencia está relacionado con la resiliencia en cada uno de los instantes de tiempo, no se ve afectado por el hecho de que la resiliencia en cada uno de los tiempos evaluados sea alta o baja, pues este índice no tiene en cuenta dichos criterios, sino solamente evalúa el porcentaje de variación de la resiliencia del tiempo 2 con respecto al tiempo 1.

- ✓ La información del entorno urbano dentro de la zona de influencia analizada fue obtenida a partir de observaciones, visitas en campo, bases de datos del distrito y proyectos futuros a realizarse en la zona, dicha información no era completa para determinar de manera más certera las condiciones reales antes de la ocurrencia del evento disruptivo, además las condiciones en el instante de tiempo 2 son inciertas al no saber cuáles serían las consecuencias reales luego de dicho evento, para poder tener un análisis acertado se realizaron las simulaciones en el software Phase2 las cuales sirvieron para predecir el comportamiento del suelo frente al uso de tecnología trenchless, y en consecuencia los efectos que éste comportamiento podría tener en las estructuras en superficie. También es claro que con las observaciones realizadas y la información obtenida, se vislumbra un

entorno urbano que puede tener afectaciones en su funcionalidad con la aparición de subsidencias o desplazamientos en superficie, debido a la baja robustez y redundancia que éstos poseen, afectando de manera significativa la resiliencia en los instantes de tiempo analizados; factores como la autoconstrucción de viviendas, materiales de senderos peatonales y vías existentes dan claridad que la rigidez de estos elementos no es la apropiada para soportar de la manera más óptima los desplazamientos en superficie. Es importante tener en cuenta que los parámetros evaluados se basaron principalmente en criterios ingenieriles a partir de normatividad y lineamientos técnicos, a pesar de la deficiencia en la información recolectada.

- ✓ Se evidenció que la resiliencia antes del evento disruptivo (la cual depende en gran medida de la robustez y la redundancia) se ve afectada por los aspectos de configuración estructural, materiales presentes, características del suelo en la zona, entre otros; estas características determinan el estado del entorno antes del evento disruptivo, siendo este bajo, lo cual condiciona que una vez ocurra el evento disruptivo ésta resiliencia sea menor y los aspectos que antes tenían una ponderación baja, en el instante de tiempo 2 pasen a tener una ponderación nula; afectando directamente el índice de resiliencia del entorno urbano.

- ✓ Se puede afirmar que, aunque las deformaciones provocadas por el uso de tecnología trenchless sean dadas en mm, éstas pueden afectar significativamente el estado de los elementos del entorno urbano al sobrepasar los límites admisibles, esto se ve afectado por la calidad de materiales, métodos constructivos, edad o vida útil, que en conjunto afectan la resiliencia del entorno urbano estudiado en el presente documento, cabe destacar también, que el tipo de suelo presente en la ciudad de Bogotá, presenta condiciones de humedad, plasticidad, rigidez, muy poco favorables que en conjunto con los parámetros mencionados anteriormente dejan en entrevisto que la zona no sería resiliente para soportar las deformaciones en superficie causadas por el uso de tecnología trenchless.

- ✓ Las ecuaciones propuestas para la evaluación de los componentes de la resiliencia en los instantes de tiempo, así como las ecuaciones particulares para cada uno de estos componentes se encuentran basados en revisión bibliográfica realizada encontrando los elementos más susceptibles a daños por subsidencias así como la importancia que cada componente tiene en la evaluación de la resiliencia, las ponderaciones son propuestas por los autores, basados, como se dijo anteriormente en la revisión bibliográfica realizada.

- ✓ Es notable que a medida que se va avanzando en el proceso constructivo de los pozos de lanzamiento y recepción y de la tunelación con tecnología sin zanja, las deformaciones en superficie tienden a aumentar debido a que se está generando un cambio en los esfuerzos tanto verticales como horizontales de la matriz de suelo, además se puede observar que hacia los costados externos de los pozos de lanzamiento y recepción los desplazamientos en superficie describen un comportamiento casi igual, como se observa en las gráficas 10 y 11, este comportamiento se debe a que tanto la estratigrafía del suelo como los esfuerzos que este va a experimentar debido a la construcción de los pozos es lo mismo a ambos costados, por lo que se espera que el comportamiento sea igual.

- ✓ En el gráfico 9 se comparan las deformaciones en superficie obtenidas al simular transversalmente la tunelacion entre los pozos para cada una de las interferencias, de esta grafica se puede observar que en la interferencia B1 44 45 46 se presentan deformaciones mayores con respecto a la interferencia B1 36, esto se debe a que en la primera interferencia se tiene una profundidad de la tuberia menor a la de la segunda interferencia, genereando así que el suelo sobre la tuberia en la primera interferencia posea un menor espesor y asi mismo presente mayores deformaciones en superficie.

9. RECOMENDACIONES

Para la evaluación de la resiliencia en un entorno urbano, se requiere tener bastante información acerca de los elementos que en él se encuentren, esto para poder evaluar de manera precisa los componentes integrados de la resiliencia, la parte técnica, social y demás aspectos requieren de un buen nivel de detalle para poder ser evaluados, así mismo es necesario tener documentación relacionada con eventos disruptivos similares en el mismo contexto al que se esté evaluando. De acuerdo a lo anterior, se presentan las recomendaciones para futuras investigaciones:

- ✓ Para la evaluación de la robustez en redes de servicios tener una base de datos completa que permita establecer la rigidez de las redes a partir de su profundidad, material, etc.; para el caso de la evaluación de robustez en estructuras verticales, tener planos, memorias de cálculo u otros documentos que permitan realizar modelaciones precisas del comportamiento de las estructuras.

- ✓ Para la evaluación de la redundancia es necesario también tener los aforos vehiculares de las vías que se consideren desvíos, esto para poder tener de manera más clara el flujo de transito de la zona.

- ✓ Para la capacidad de gestión y de recuperación, solicitar con entidades pertinentes los informes que relacionen los protocolos y procesos llevados a cabo en caso de eventos como el analizado en el presente documento.

10. LIMITACIONES

Durante el desarrollo del presente proyecto se encontraron las siguientes limitaciones:

- En primer lugar, no se tienen referencias relacionadas con las consecuencias que se dan en la superficie por el uso de tecnologías sin zanja, no se tienen estudios relacionados directamente con la problemática y estudio desarrollado en el presente documento.

- La información geotécnica de la zona no es completa en los documentos relacionados, esto genera incertidumbre respecto a las características de los materiales presentes en las interferencias estudiadas.

- Para las edificaciones presentes en la zona, se tienen igualmente pocos datos o información, las visitas técnicas dan indicio de la estructura presente en ellas, pero esto solo se evalúa de manera externa, los demás datos son obtenidos a partir de conversaciones con personas o información típica.

- En cuanto al software utilizado en el presente documento, es necesario aclarar que no existe dentro de este programa un material similar al PVC o GRP, material de cual se encuentra hecha la tubería a instalar en las interferencias estudiadas, esto conlleva a que no se pueda simular de una manera más exacta las condiciones reales del terreno.

- Igualmente, al realizar la simulación del proceso constructivo de la tecnología trenchless desde una vista longitudinal, es necesario colocar restricciones en las paredes de la tunelación, pues de otra forma las iteraciones realizadas por el software no convergen.

- Para la estimación de la resiliencia en el instante de tiempo 2, es importante tener en cuenta que al no tener información certera de que consecuencias reales puede tener el uso de tecnologías sin zanja, la estimación puede estar un poco alejada de la realidad o de las consecuencias que en realidad el uso de esta tecnología pueda tener en la realidad.

11. BIBLIOGRAFÍA

ACHS. (2013). *Control de riesgos en excavaciones.* Santiago de Chile: ACHS.

Alampalli, M. M. (2017). *Infraestructure Health in civil engineering.* NY: CRC Press.

Basu D, L. M. (2017). An integrated approach for resilience and sustainability in geotechnical engineering. Indian Geotech J.

Basu, D. M. (2014). Sustainability and geotechnical engineering: Perspectives and review. *Canadian Geotechnical Journal*, 96-113.

Cano, E., & Molina, O. (Abril de 2011). Subsidencia y sus mapas de peligro: Un ejemplo en el área nororiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mexico. Mexico.

CIMTRONIC. (s.f.). *Grandes apuntalamientos*. Obtenido de Grandes apuntalamientos: http://cimtronic.com.ar/es/proyectos_servicios/grandes-apuntalamientos/

Colombiano, S. G. (Mayo de 2016). Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá D.C, Colombia.

CONTELAC. (2017). *COR-PR-CO-01 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PIPE JACKING CON EQUIPO GBM.* Bogotá.

Corapcioglu. (1984). Land subsidence a state of the art review. Martinus Nijhott Publishers.

CYPE INGENIEROS. (s.f.). *Generador de precios*. Obtenido de Generador de precios: http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cimentaciones/Profundas/Caissons/CPT040_Anillo_perimetral_de_concreto_armad.html

Departamento de seguros de Texas. (s.f.). *La seguridad en las excavaciones.* Austin, Texas: TDI.

ESSS. (22 de enero de 2016). *Método de los elementos finitos: ¿qué es?* Obtenido de Método de los elementos finitos: ¿qué es?: https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/

Holling, C. (1973). Reslience and stabilityof ecological systems. Vancouver, Canadá: Institute of Resource Ecology.

IDIGER. (2017). *Marco de Actuación para la Respuesta a Emergencias de Bogotá D.C.* Bogotá: Alcaldia Mayor de Bogotá.

INVIAS, I. N. (Octubre de 2005). Manual para la inspección Visual de pavimentos flexibles. *Estudio e investigacion del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras*. Bogotá D.C., Colombia.

IRVEN. (05 de junio de 2010). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: https://es.slideshare.net/Irveen/taludes

Lee Bosher, A. D. (Enero de 2011). Disaster risk reduction and 'built-in' resilience: towards overarching principles for construction practice.

MINTRABAJO. (2014). *GUIA TRABAJO SEGURO EN EXCAVACIONES.* Bogotá: MINTRABAJO.

Mitchell, T., & K, H. (2012). Resilience: A risk management approach. Background Note. London: Oversees Develooment Institute.

Muñoz, F. (Mayo de 2018). Aplicación de la modelación matematica del flujo del agua subterranea a la Ingenieria Civil. Valencia, España.

Ochoa Diana, V. J. (2009). USO DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF) PARA LA DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN UN MODELO DE POZO. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*, 9.

Paolo, C., Andrei, R., & Michel, B. (September de 2010). Framework for analytical quantification of disaster resilience . *Engineering Structures*.

Perez, L. (2007). *Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes.*

PROTEC EQUIPMENT. (2019). *Entibados y cajas para zanjas.* Lansing, Michigan: PROTEC EQUIPMENT.

Puppala, & Das. (2016). Sustainability and resilience analyses in slope stabilisation. ICE.

S.L, P. (1984). The complexity and stability of ecosystems. Nature.

SAI. (02 de noviembre de 2020). *Lo que se debe saber de la norma NSR-10 y por qué todos los proyectos de construcción en Colombia deben cumplirla*. Obtenido de Lo que se debe saber de la norma NSR-10 y por qué todos los proyectos de construcción en Colombia deben cumplirla: https://sai.org.co/lo-que-se-debe-saber-de-la-norma-nsr-10/

Sanchez, G. (Junio de 2011). Tecnologias promisorias para renovación y rehabilitación de tuberías en sitemas de alcantarillado. Bogotá, Colombia.

Sureda, D. (Junio de 2010). Efectos de interaación en el estudio del impacto de las subsidencias sobre las edificaciones. Madrid, España: Revista de obras públicas.

Universidad de Los Andes. (26 de septiembre de 2017). *ANÁLISIS: ¿PUEDE COLOMBIA VERSE AFECTADA POR UN TERREMOTO COMO EL DE MÉXICO?* Obtenido de ANÁLISIS: ¿PUEDE COLOMBIA VERSE AFECTADA POR UN TERREMOTO COMO EL DE MÉXICO?: https://uniandes.edu.co/es/noticias/ciencia-tecnologia-y-salud/ambiente-y-sostenibilidad/colombia-verse-afectado-terremoto-mexico

Universitat Politecnica de Valencia. (23 de junio de 2014). *Tablestacas*. Obtenido de Tablestacas: https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/06/23/tablestacas/

ANEXOS

En este capítulo se relacionan los anexos del presente proyecto, los cuales van listados de la siguiente manera:

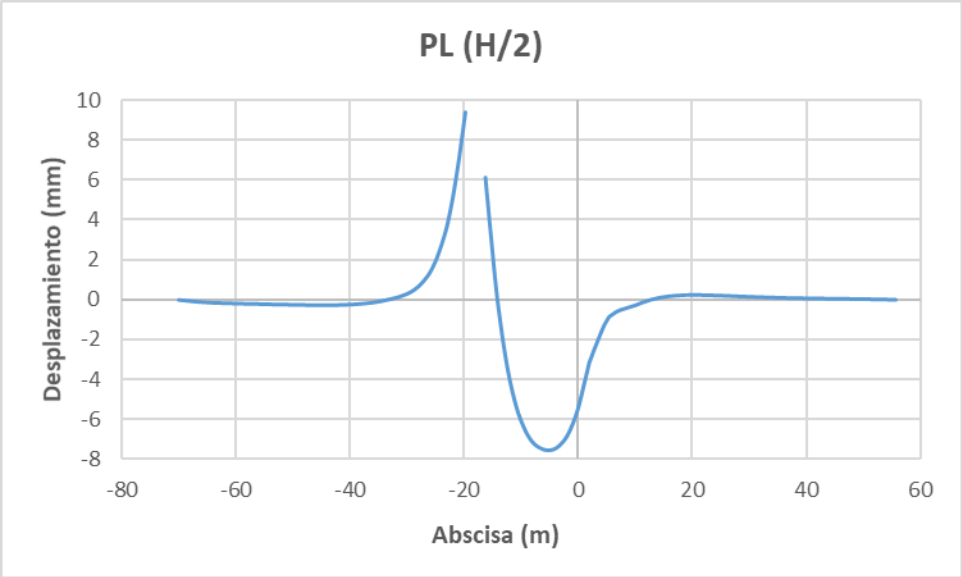
- Anexo 1: Gráficas obtenidas luego del análisis de información y sistematización de la misma.
- Anexo 2: Desplazamientos verticales obtenidos del software phase2 para las interferencias en estudio.
- Anexo 3: Cálculo y evaluación de componentes de la resiliencia.

ANEXO 1: GRÁFICAS OBTENIDAS LUEGO DEL ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA MISMA.

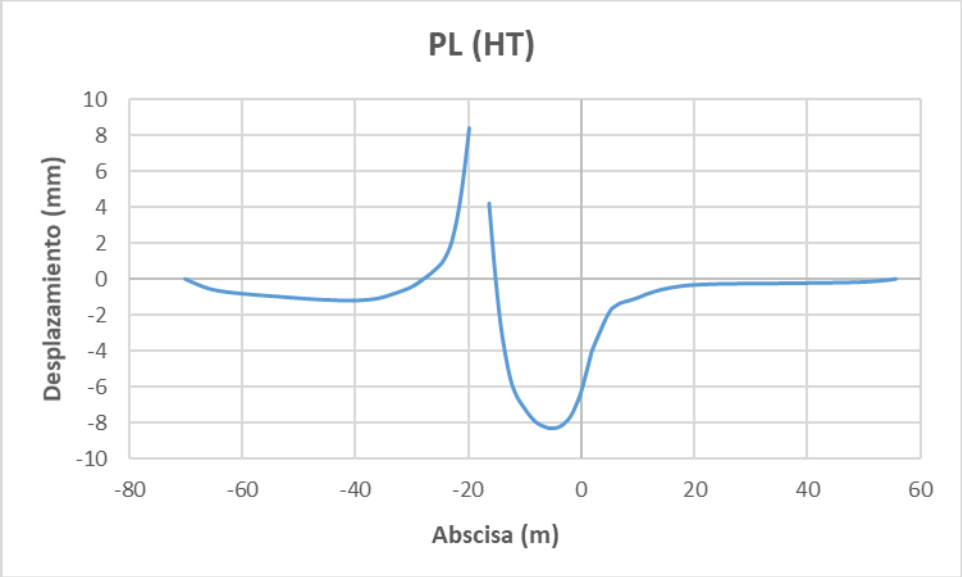
1.1. Interferencia B1 36.

1.1.1 Proceso constructivo completo.

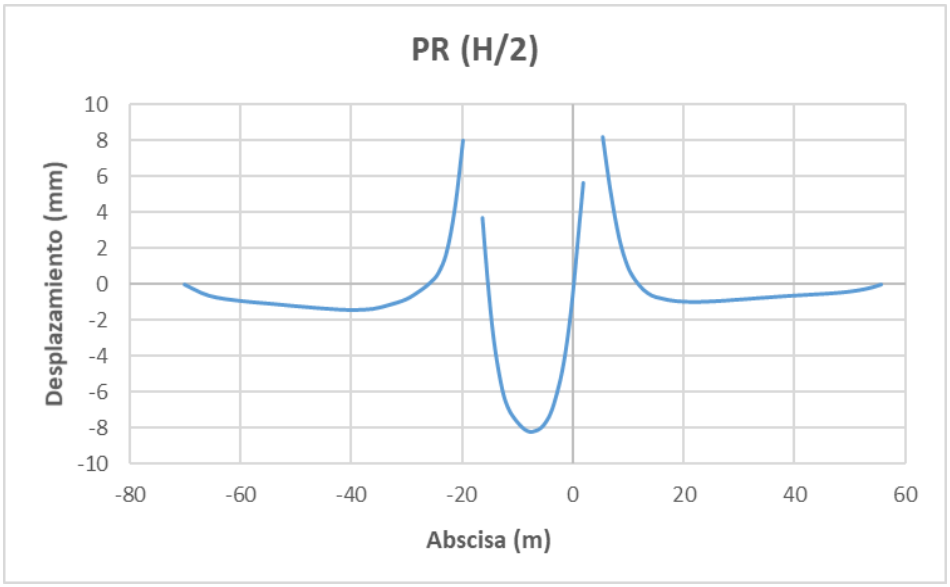
- **Pozo de lanzamiento (h/2).**



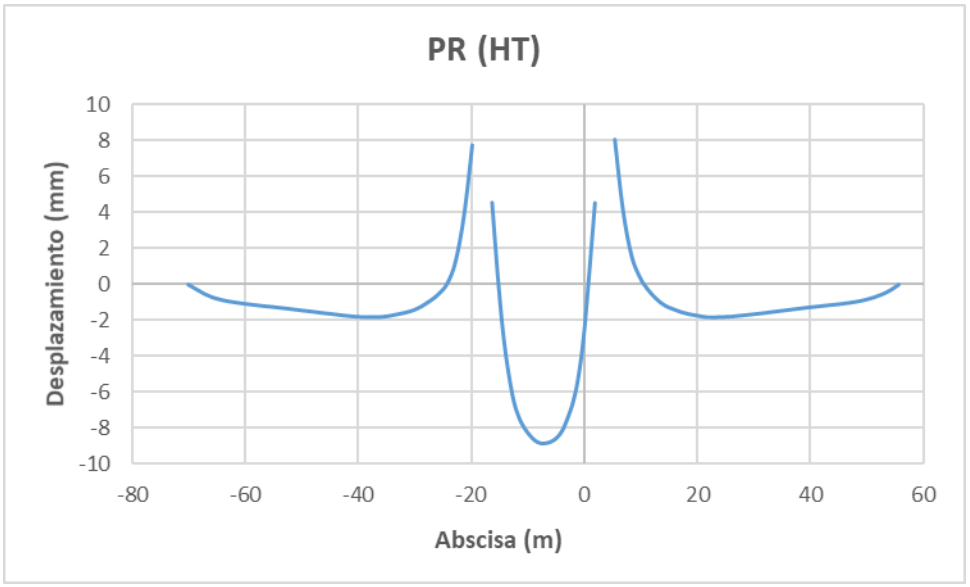
- **Pozo de lanzamiento (h).**



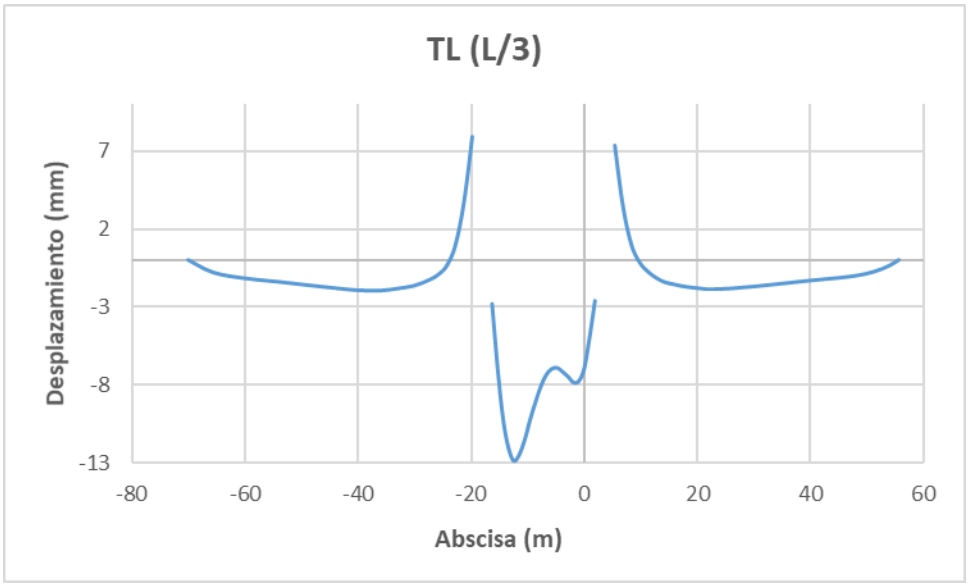
- **Pozo de recepción (h/2)**



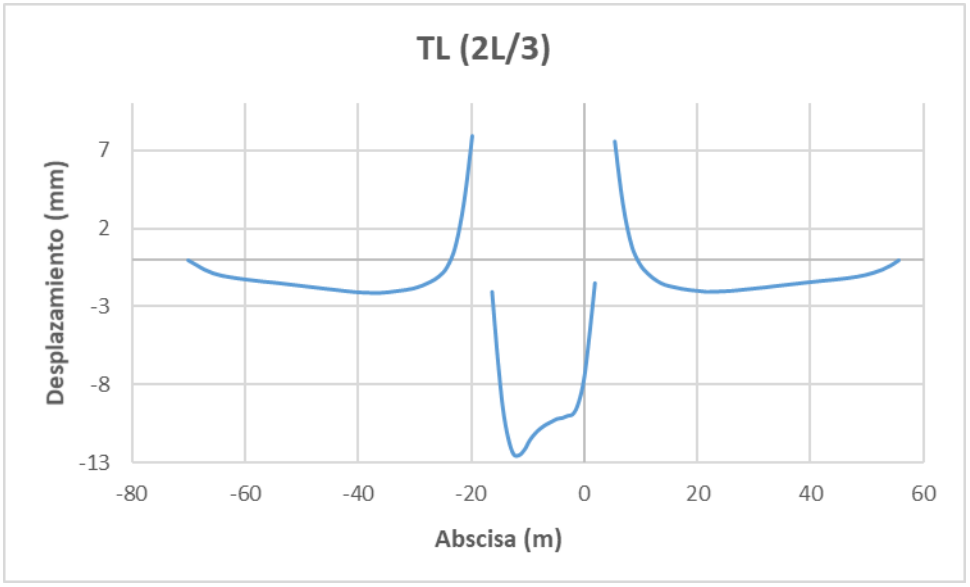
- **Pozo de recepción (h).**



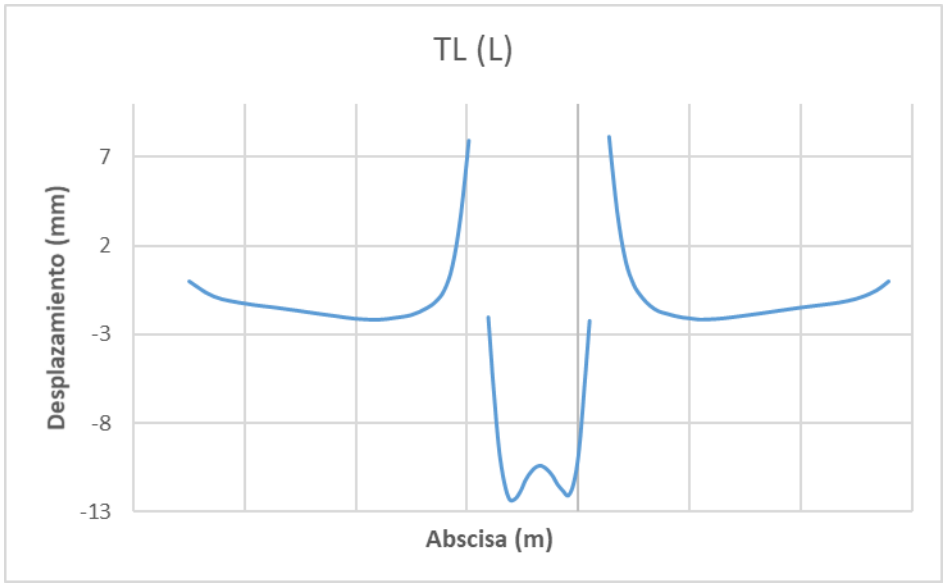
- **Tunelación (L/3).**



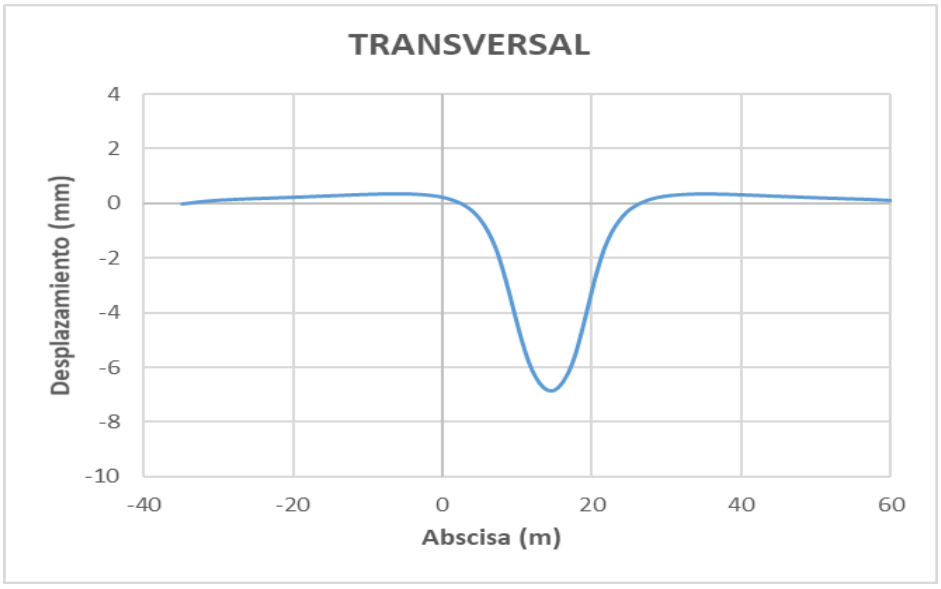
- **Tunelación (2L/3).**



- **Tunelación (L).**



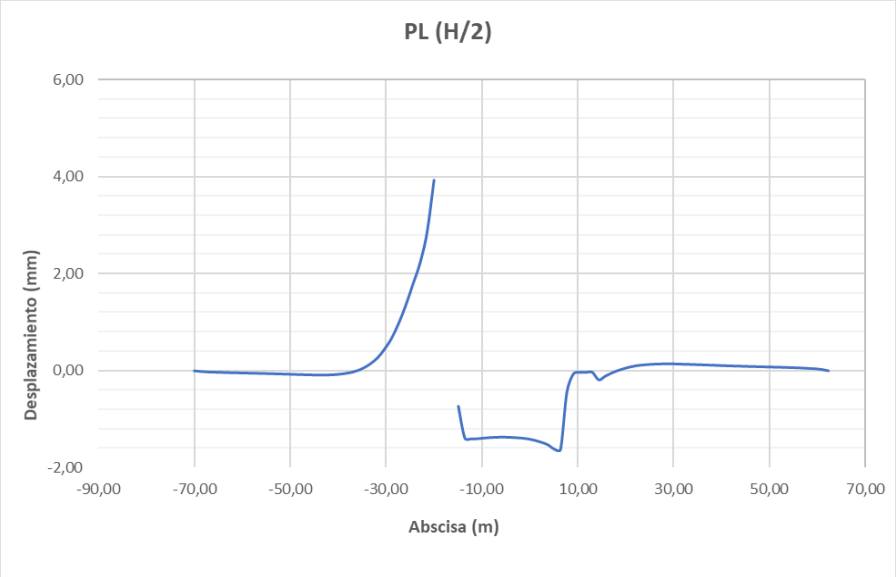
1.1.2. Sección Transversal.



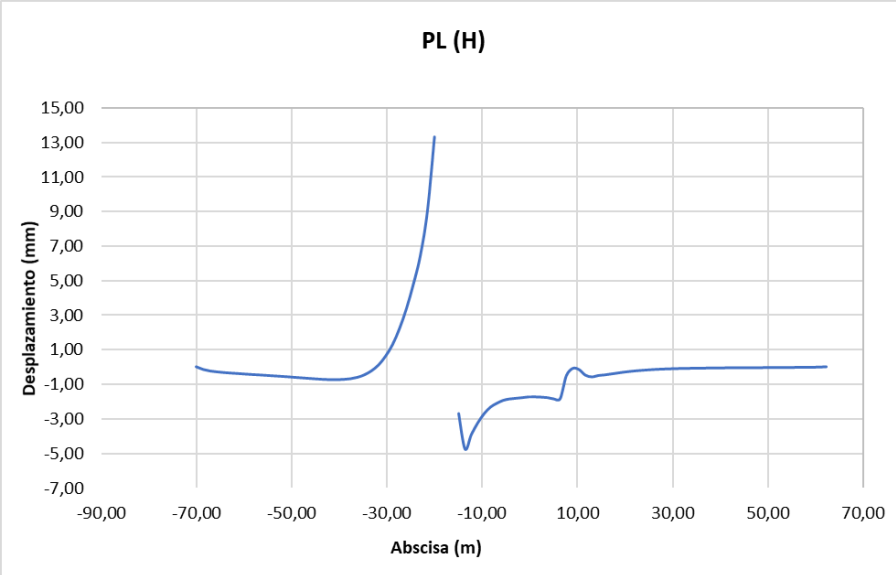
1.2. Interferencia B1 44 45 46.

1.2.1. Proceso constructivo completo.

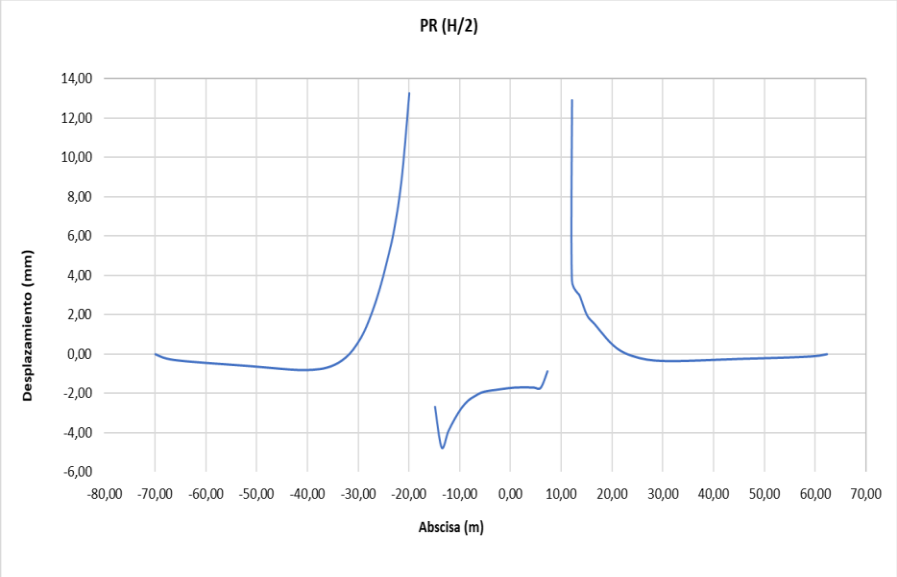
- **Pozo de lanzamiento (h/2).**



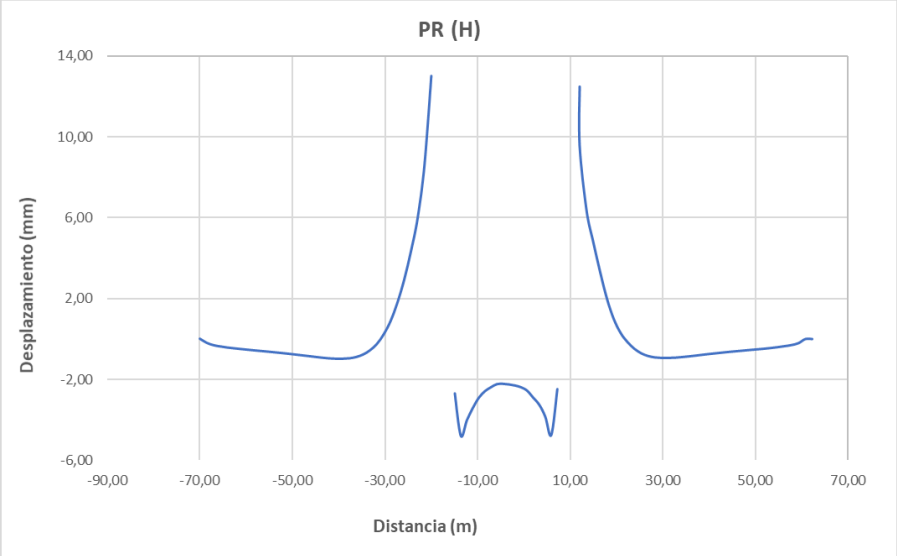
- **Pozo de lanzamiento (h).**



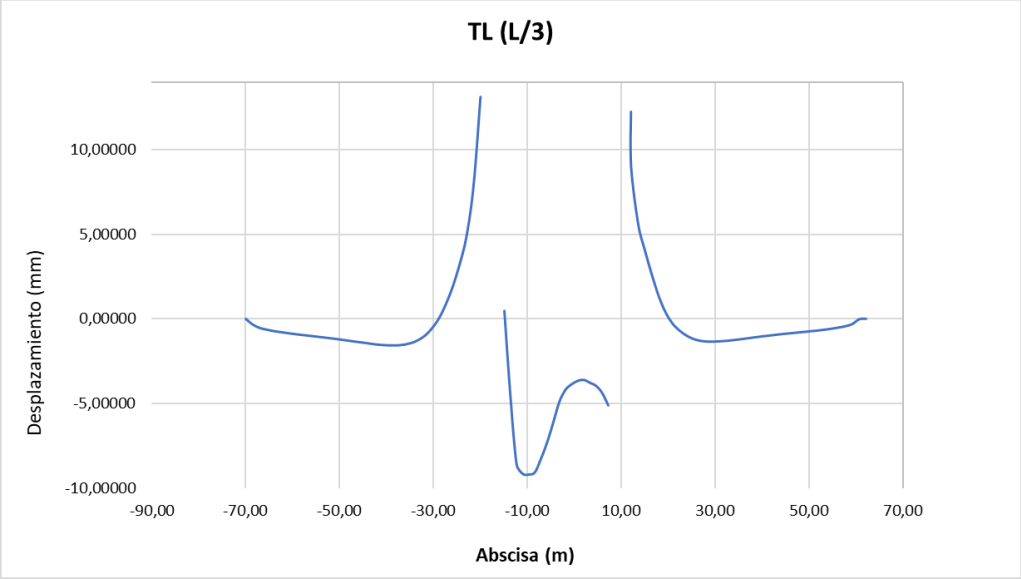
- **Pozo de recepción (h/2)**



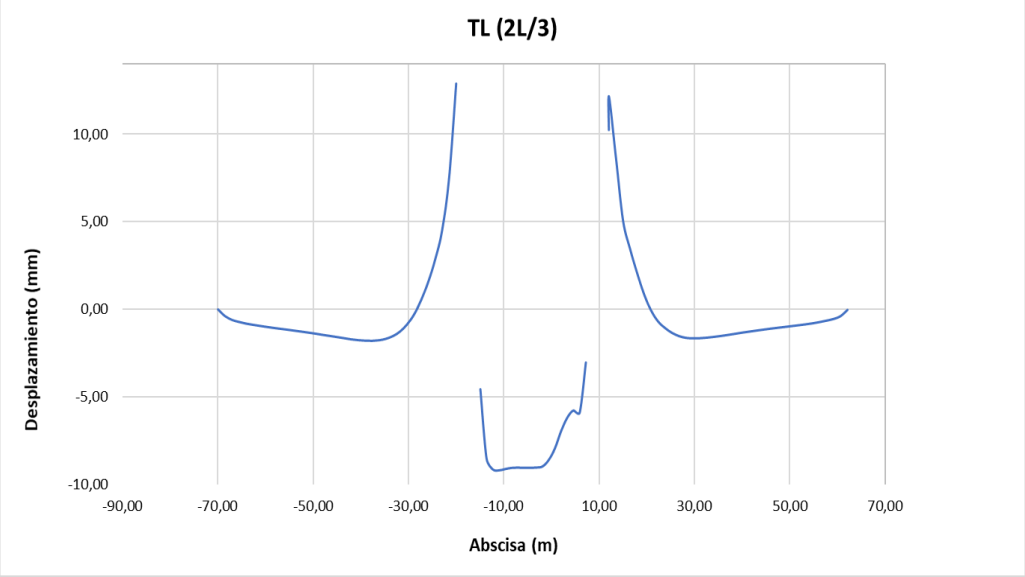
- **Pozo de recepción (h).**



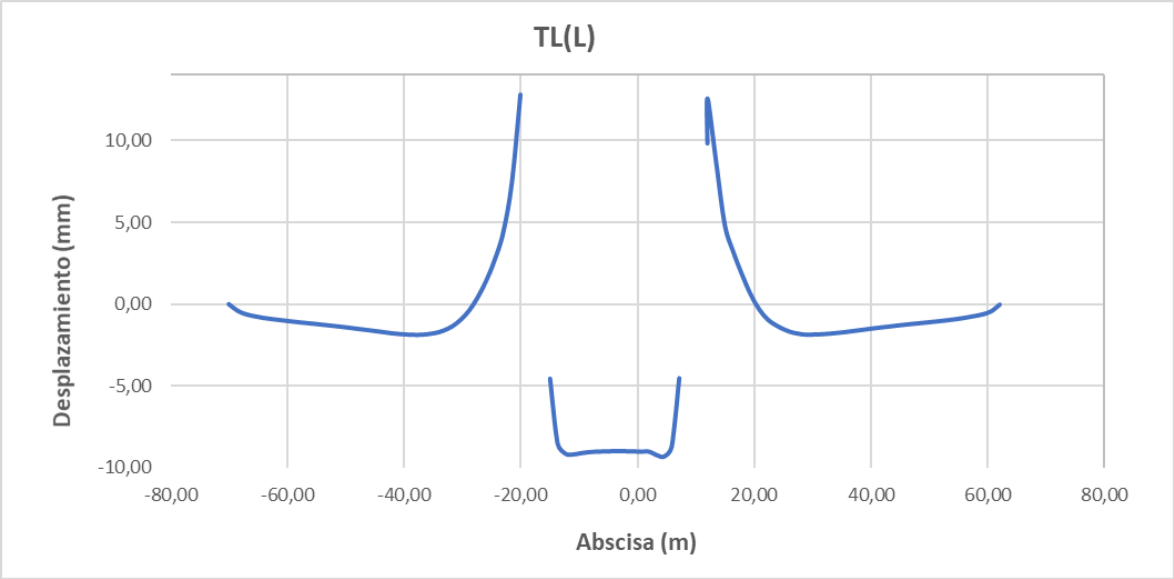
- **Tunelación (L/3).**



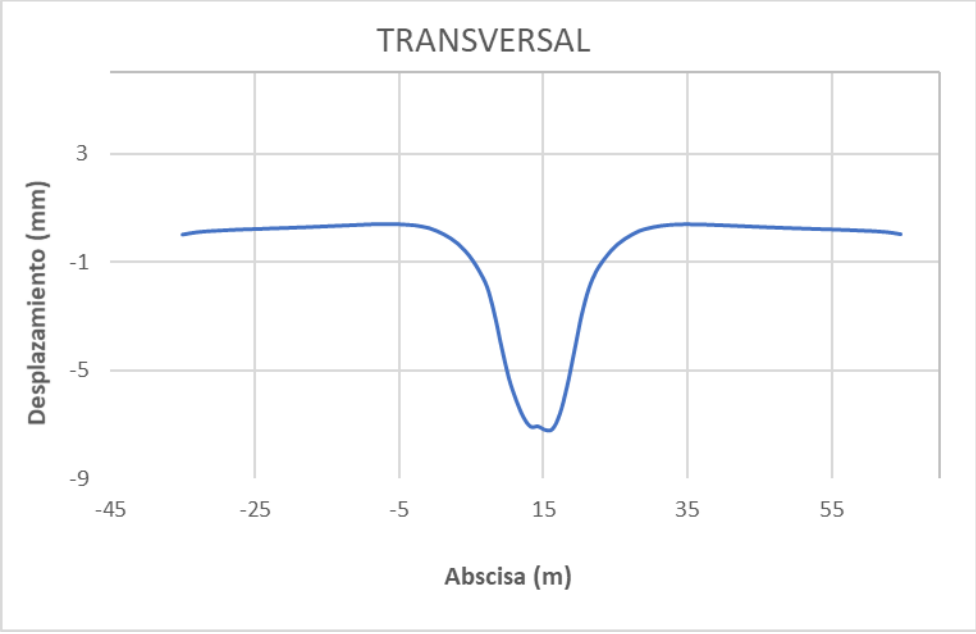
- **Tunelación (2L/3).**



- **Tunelación (L).**



1.2.2. Sección Transversal.

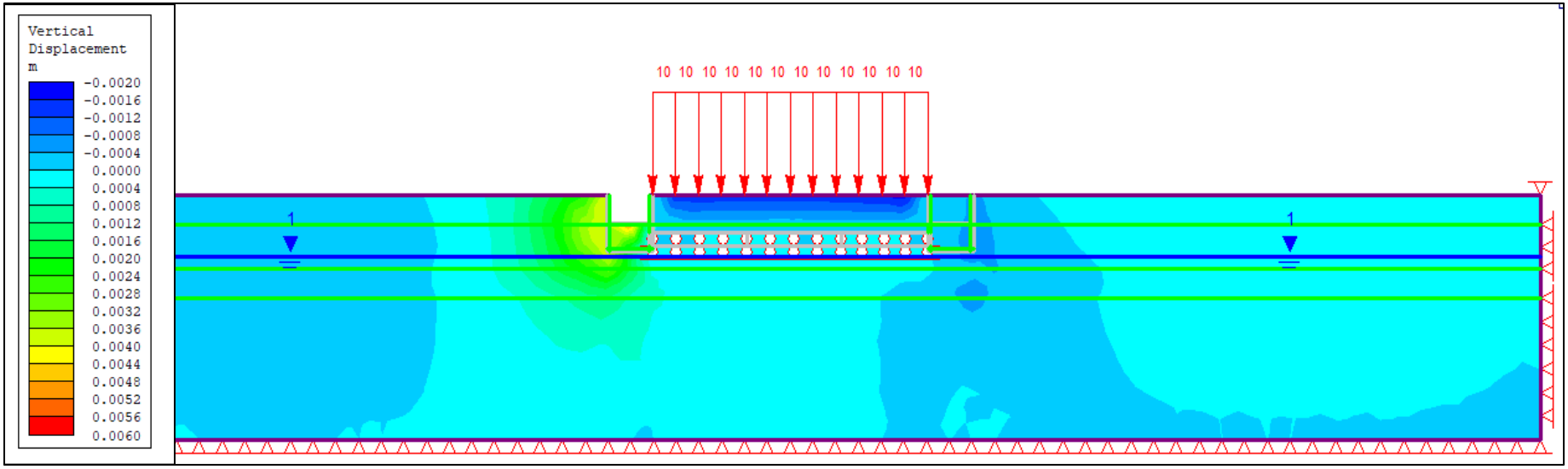


ANEXO 2: DESPLAZAMIENTOS VERTICALES OBTENIDOS DEL SOFTWARE PHASE2 PARA LAS INTERFERENCIAS EN ESTUDIO.

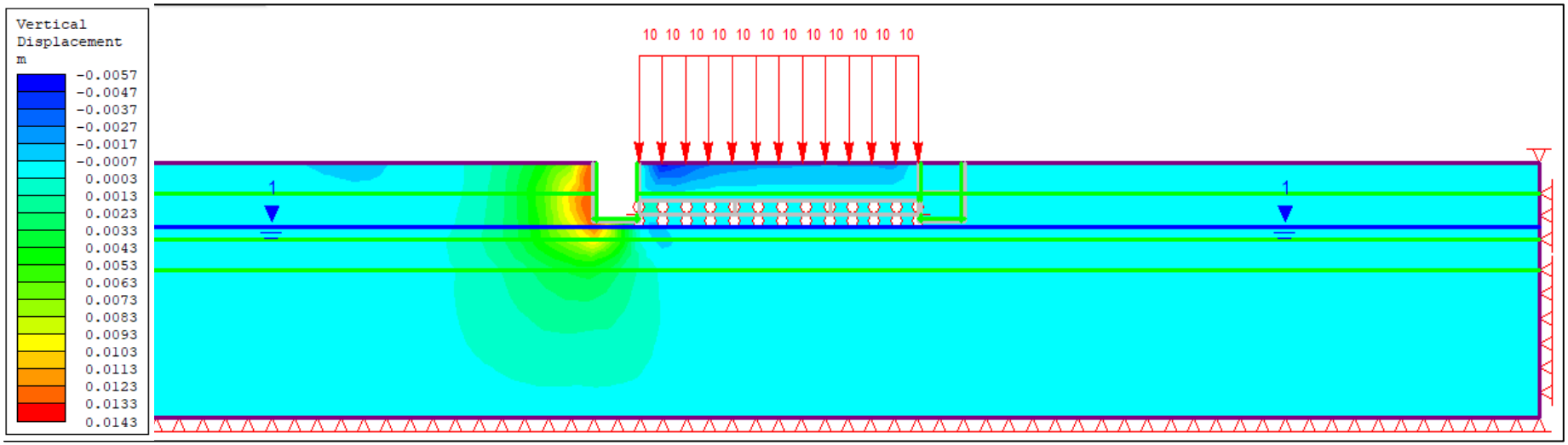
2.1. Interferencia B1 44 45 46.

2.1.1 Proceso constructivo completo.

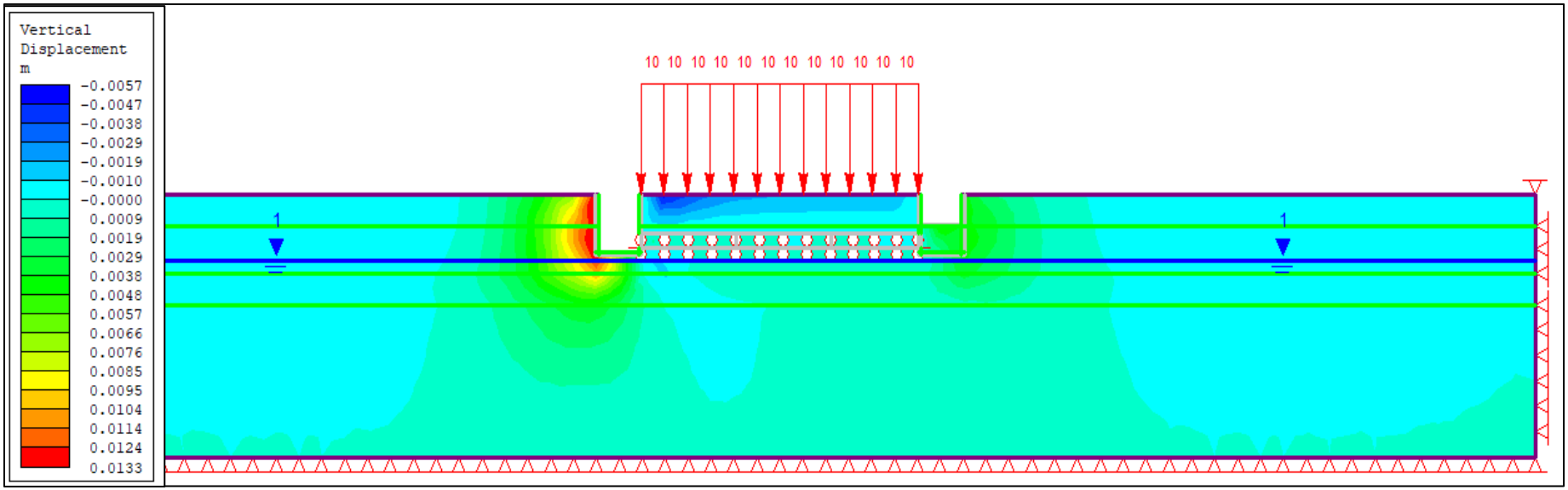
- **Pozo de lanzamiento (h/2).**



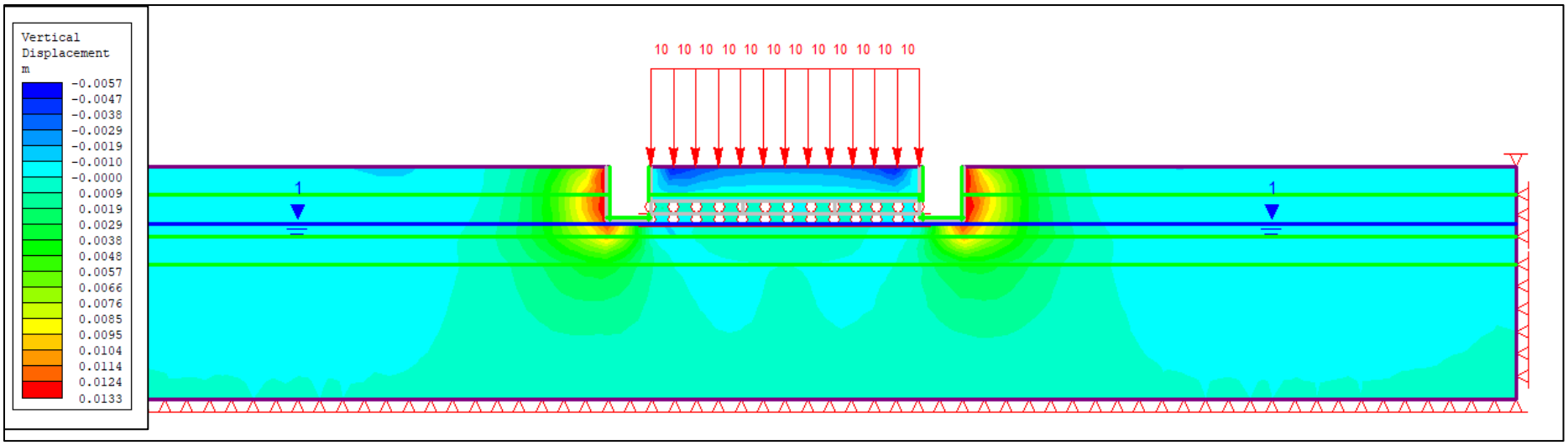
- **Pozo de lanzamiento (h).**



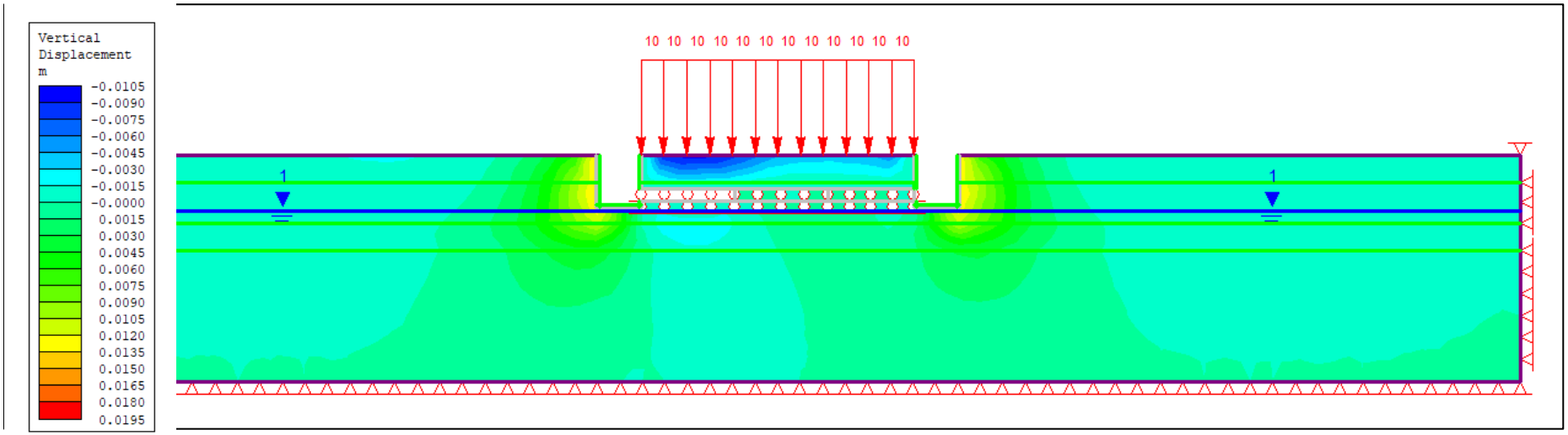
- **Pozo de recepción (h/2).**



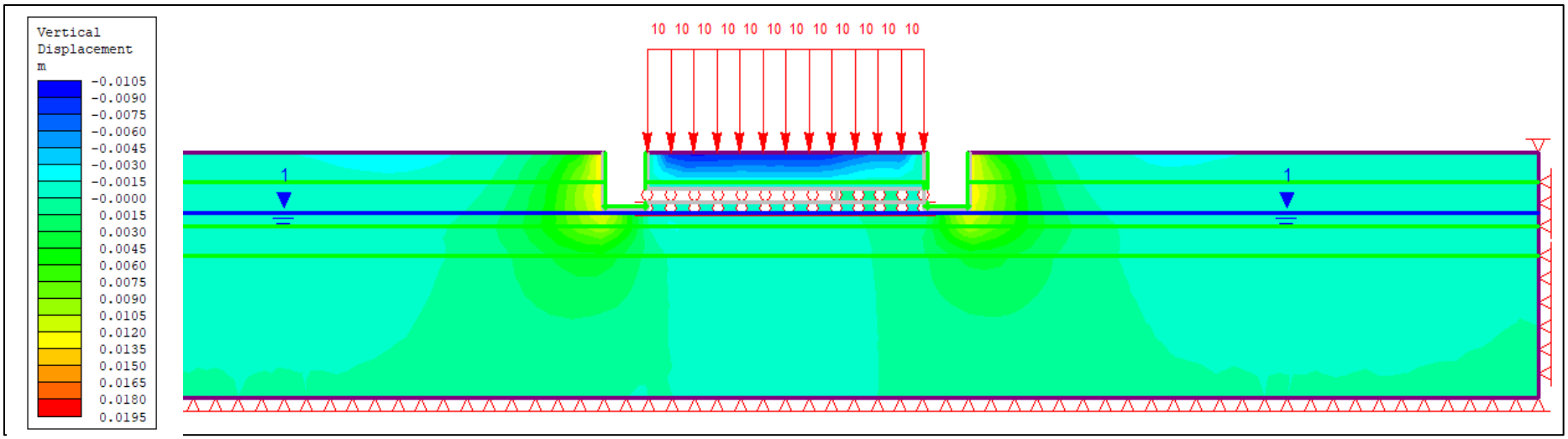
- **Pozo de recepción (h).**



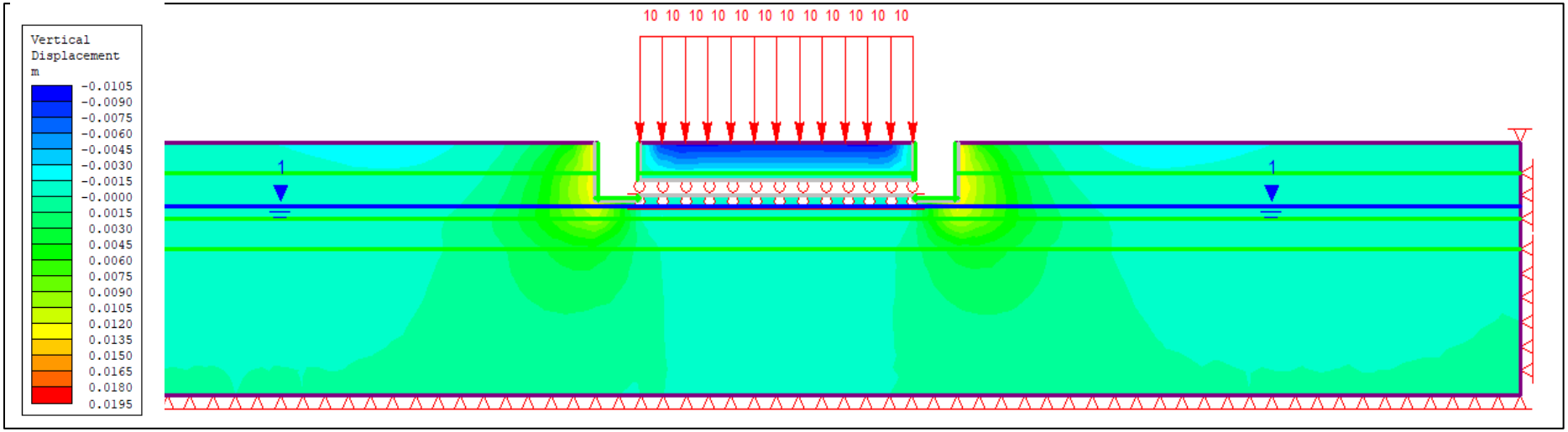
- **Tunelación (L/3)**



- **Tunelación (2L/3)**

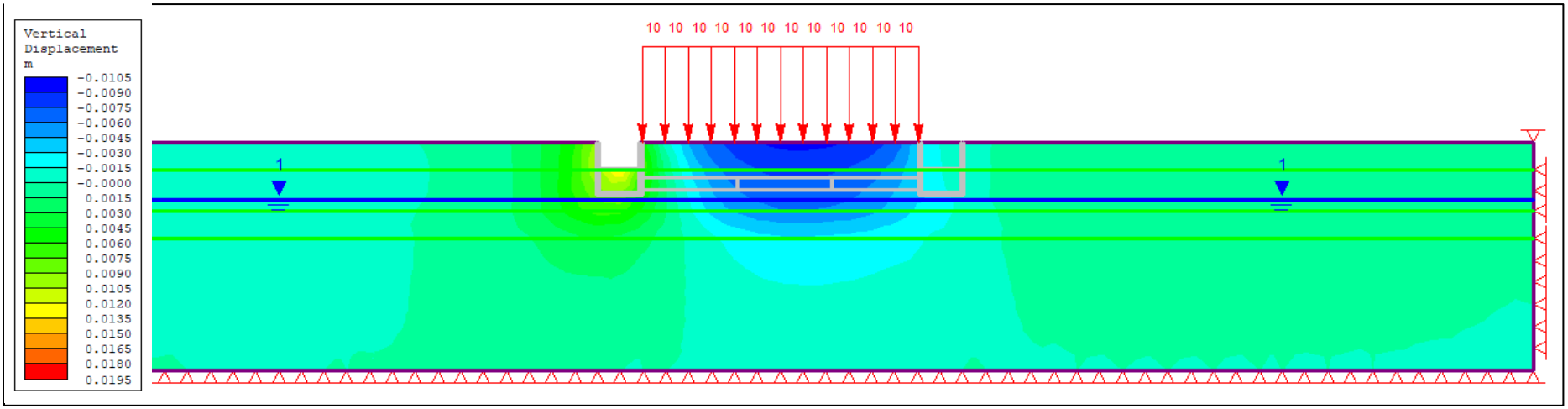


- **Tunelación (L).**

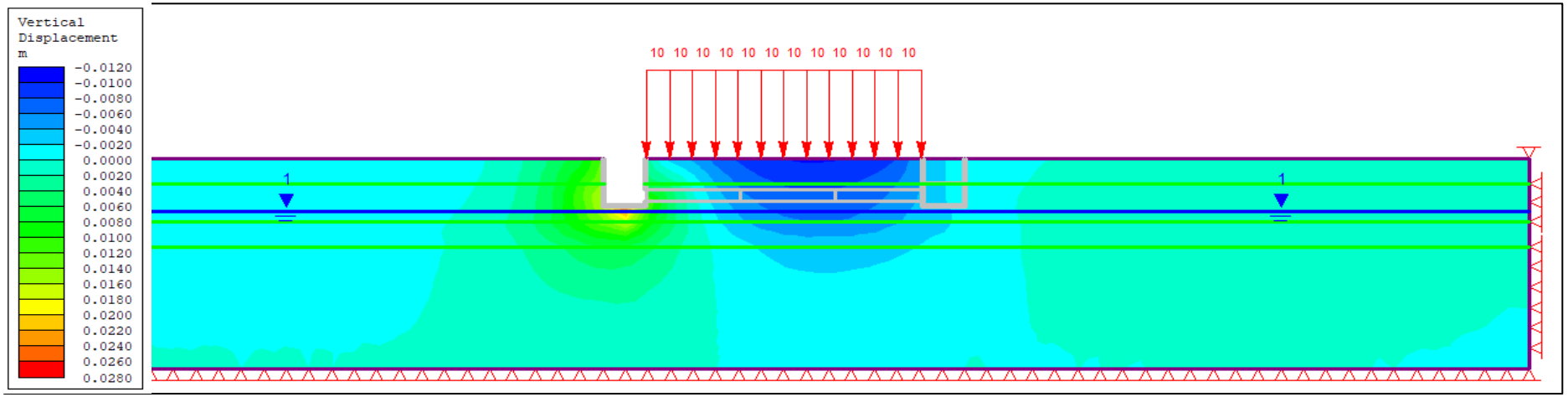


2.1.2 Construcción de pozos.

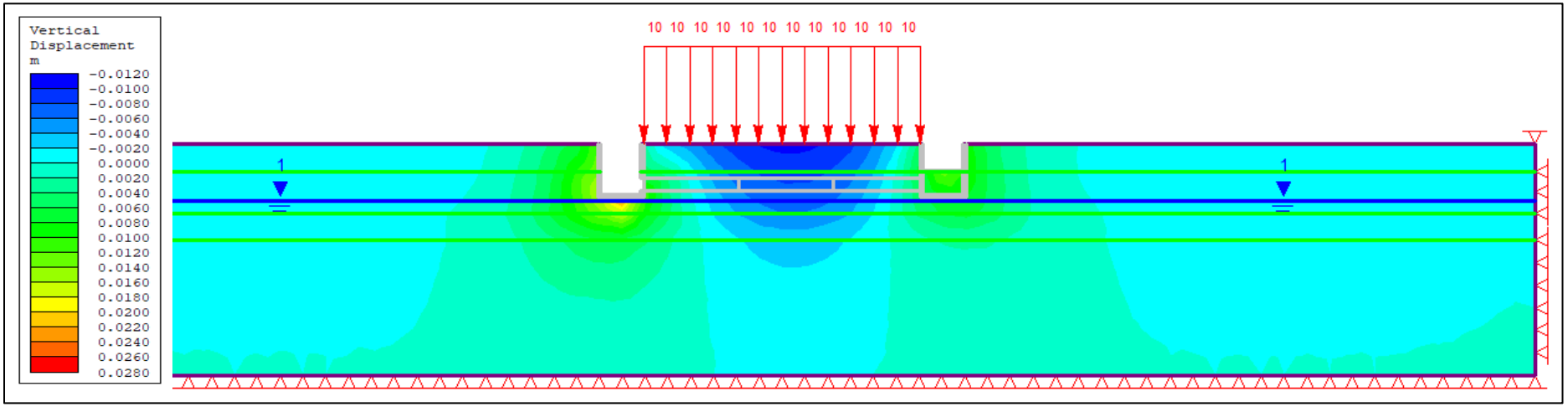
- **Pozo de lanzamiento (h/2).**



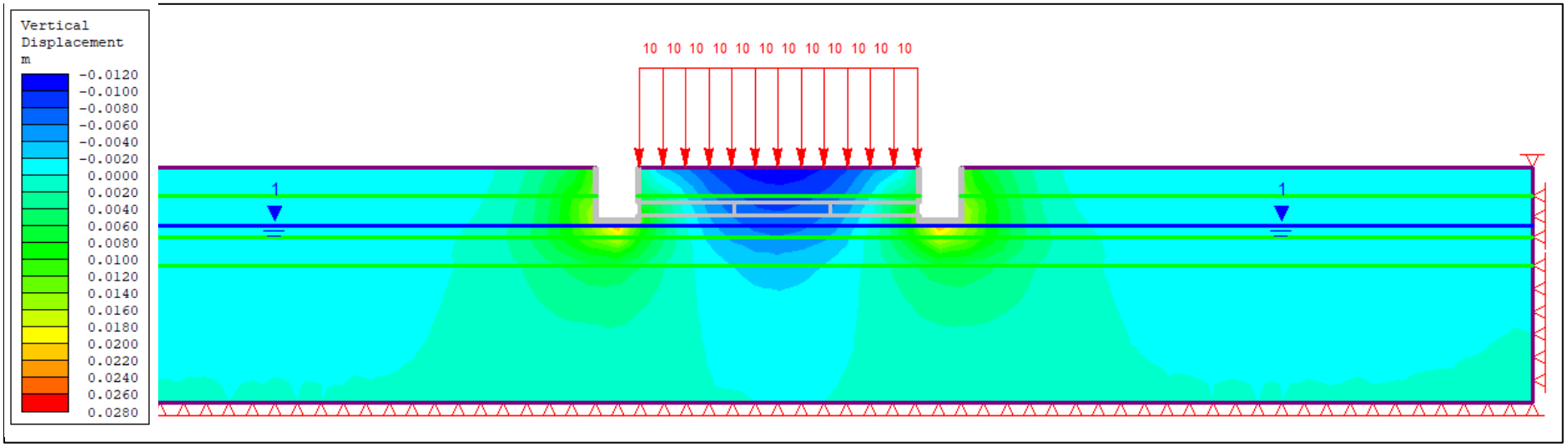
- **Pozo de lanzamiento (h).**



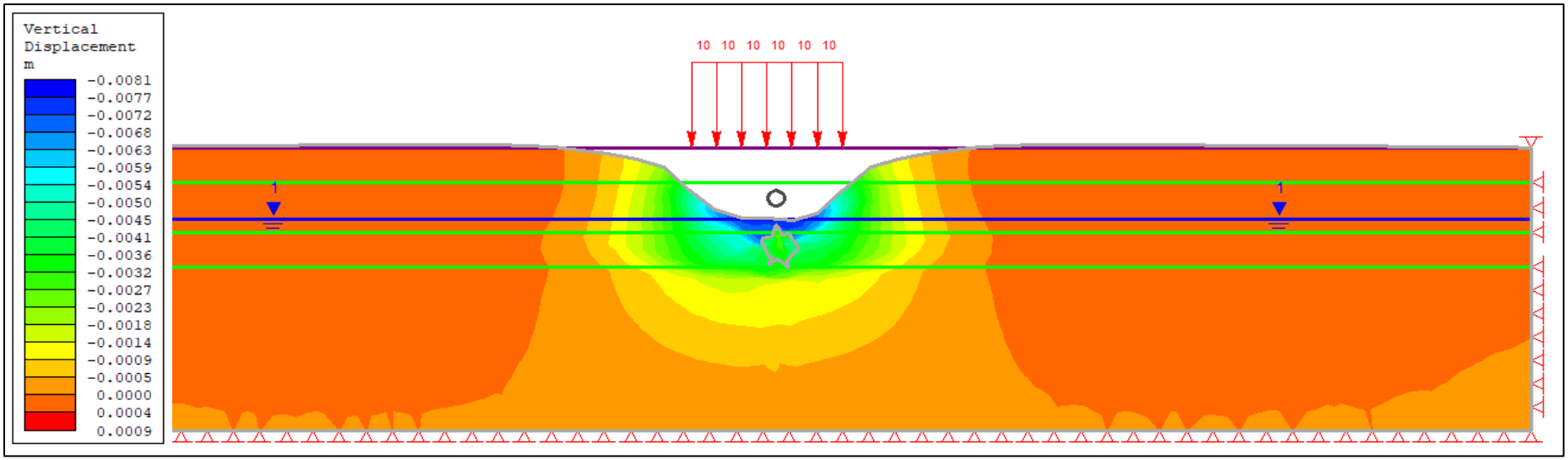
- **Pozo de recepción (h/2).**



- **Pozo de recepción (h).**



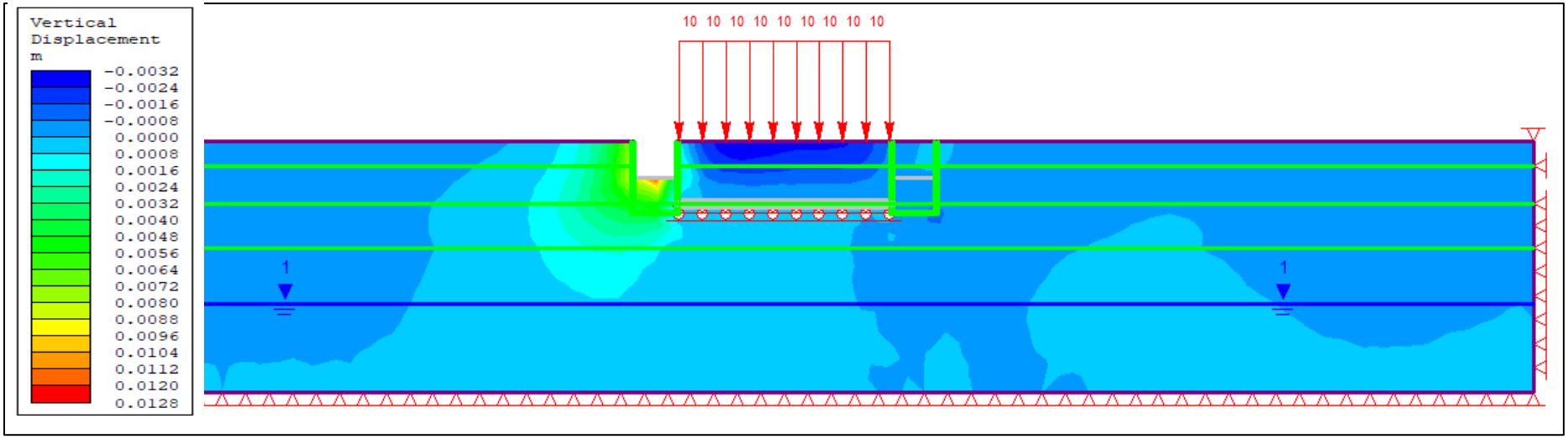
2.1.3 Sección transversal



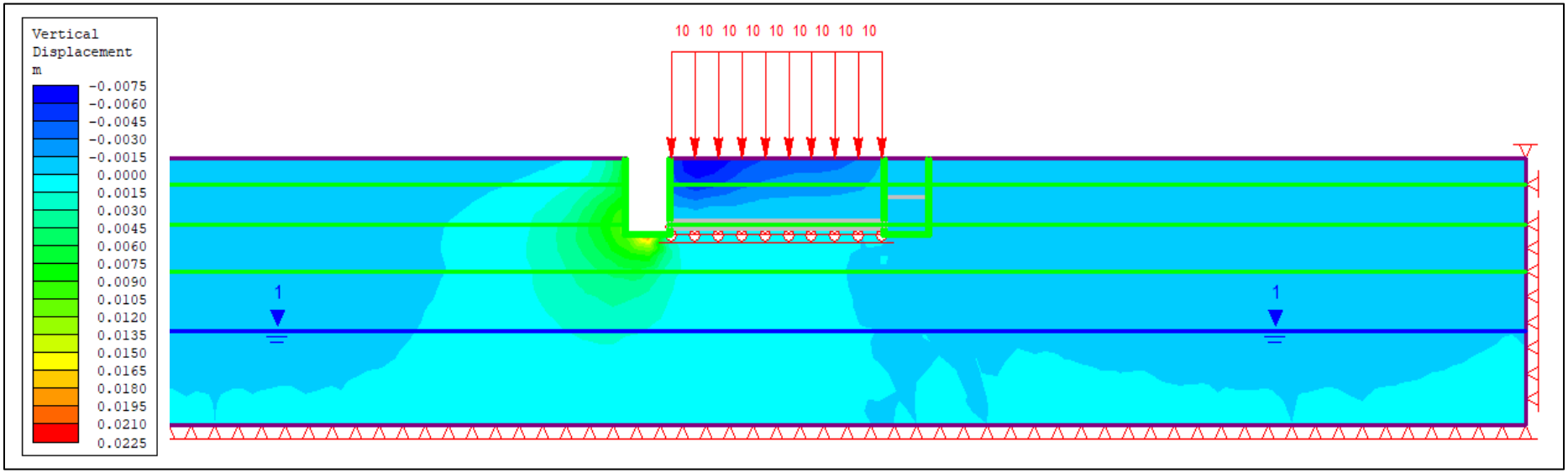
2.2. Interferencia B1 36.

2.2.1 Proceso constructivo completo.

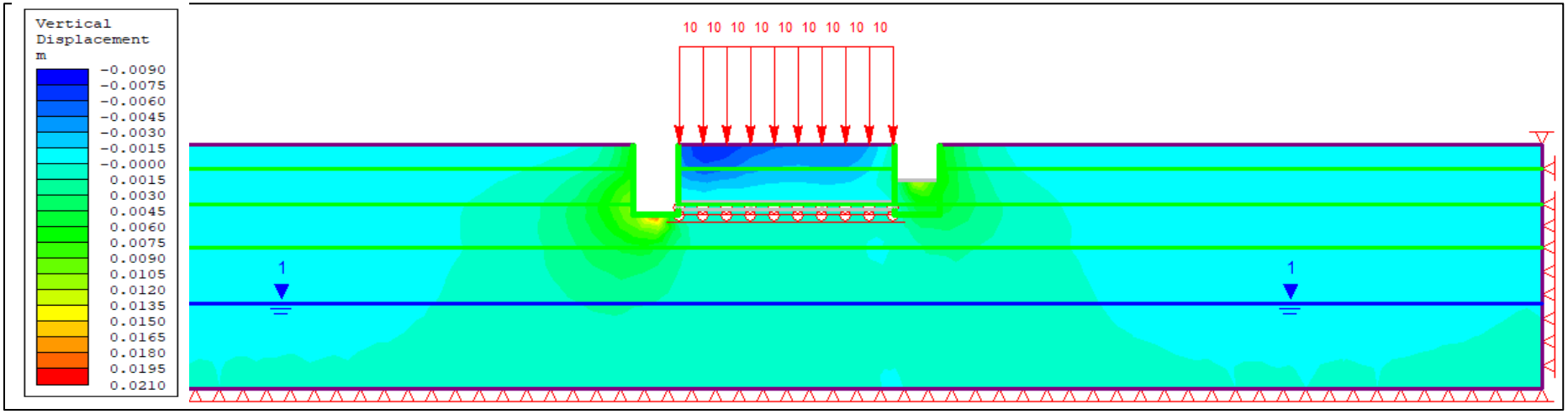
- **Pozo de lanzamiento (h/2)**



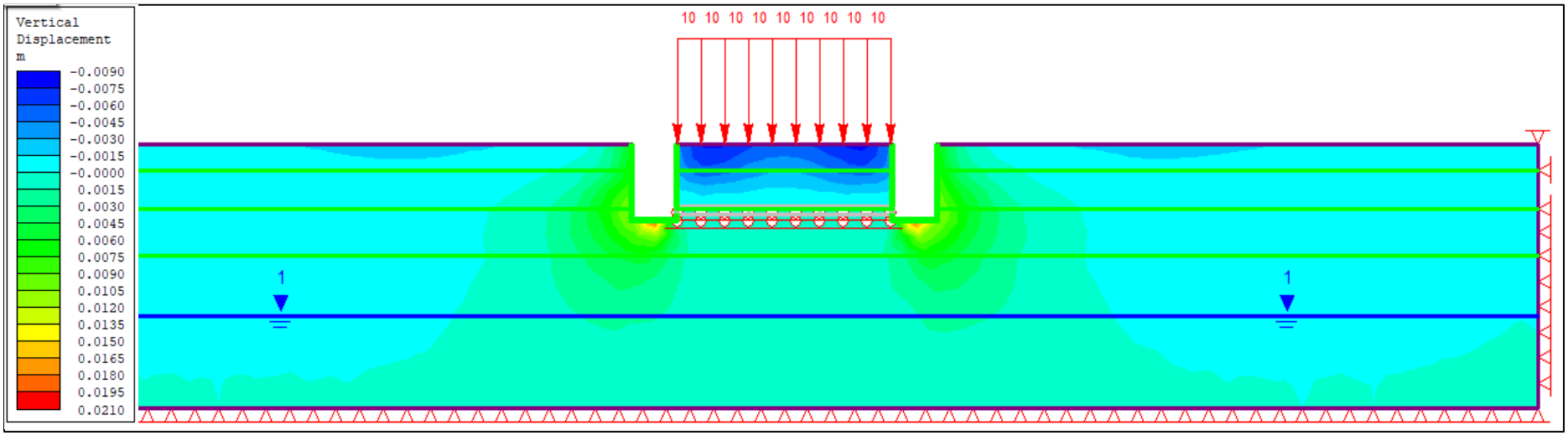
- **Pozo de lanzamiento (h)**



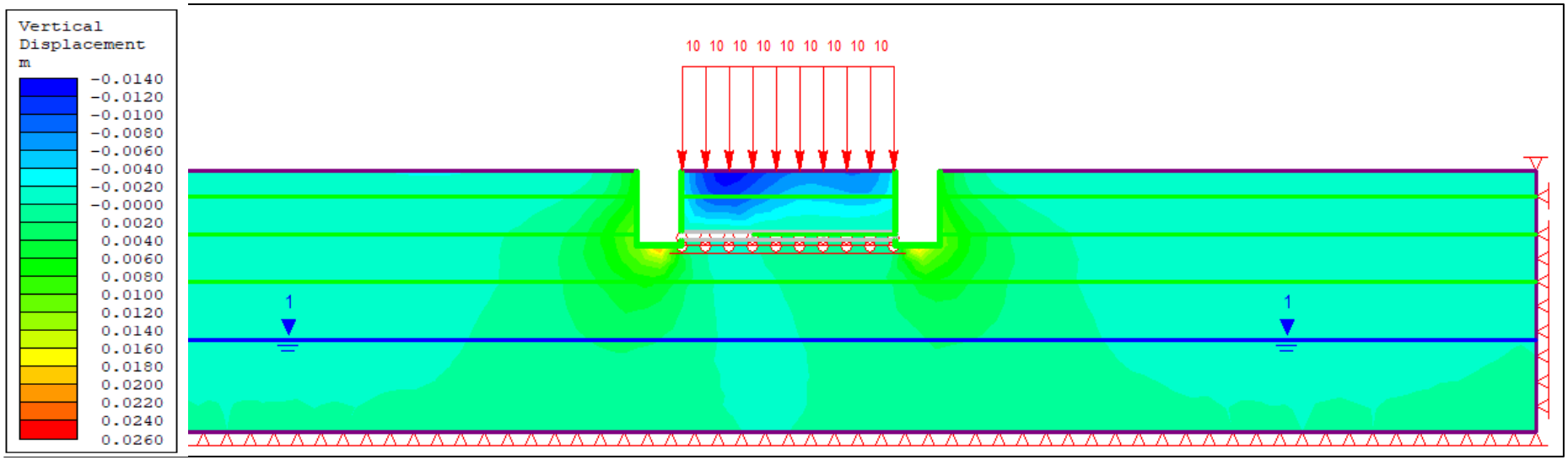
- **Pozo de recepción (h/2).**



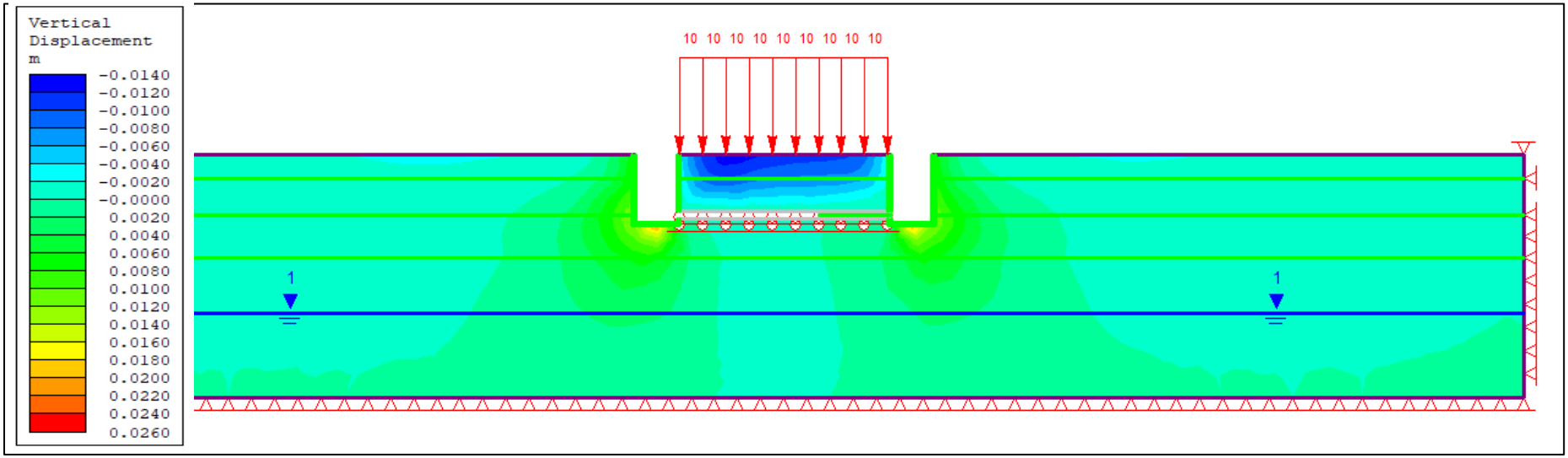
- **Pozo de recepción (h).**



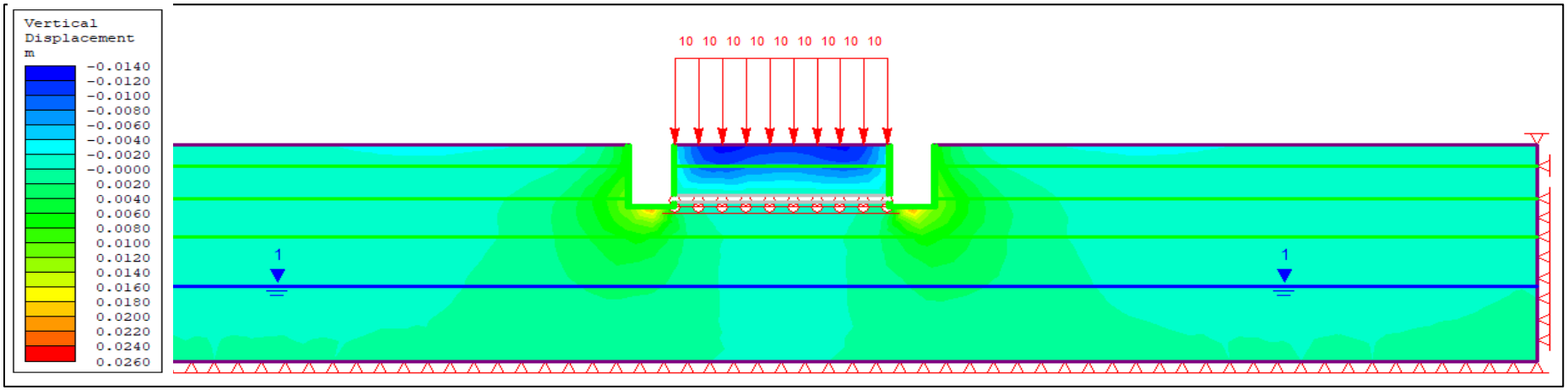
- **Tunelación (L/3)**



- **Tunelación (2L/3)**

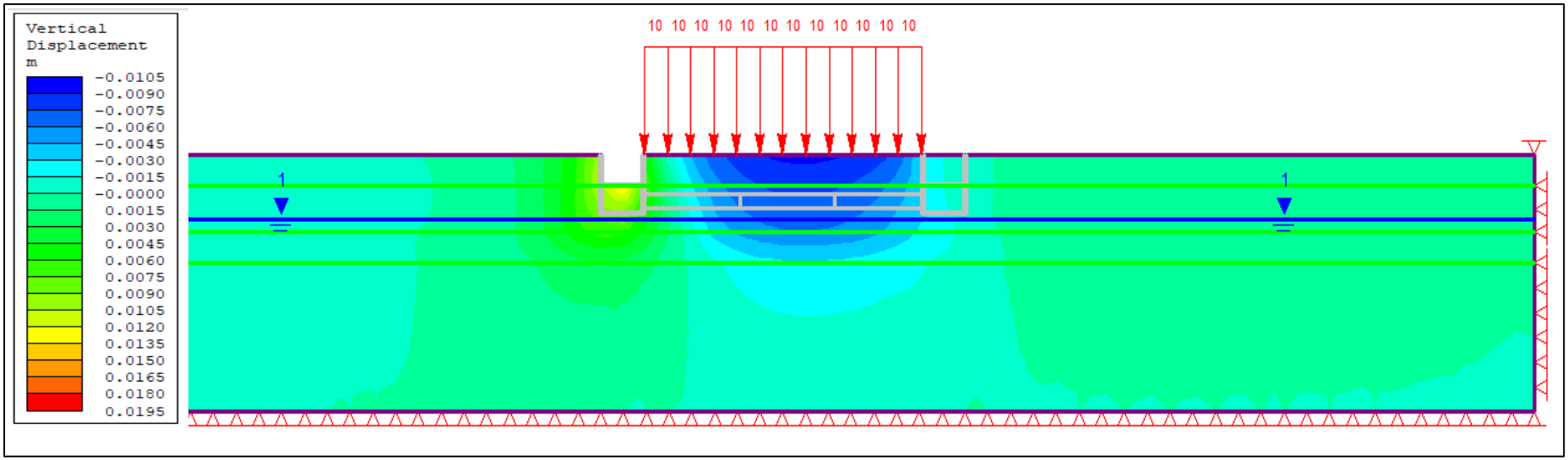


- **Tunelación (L)**

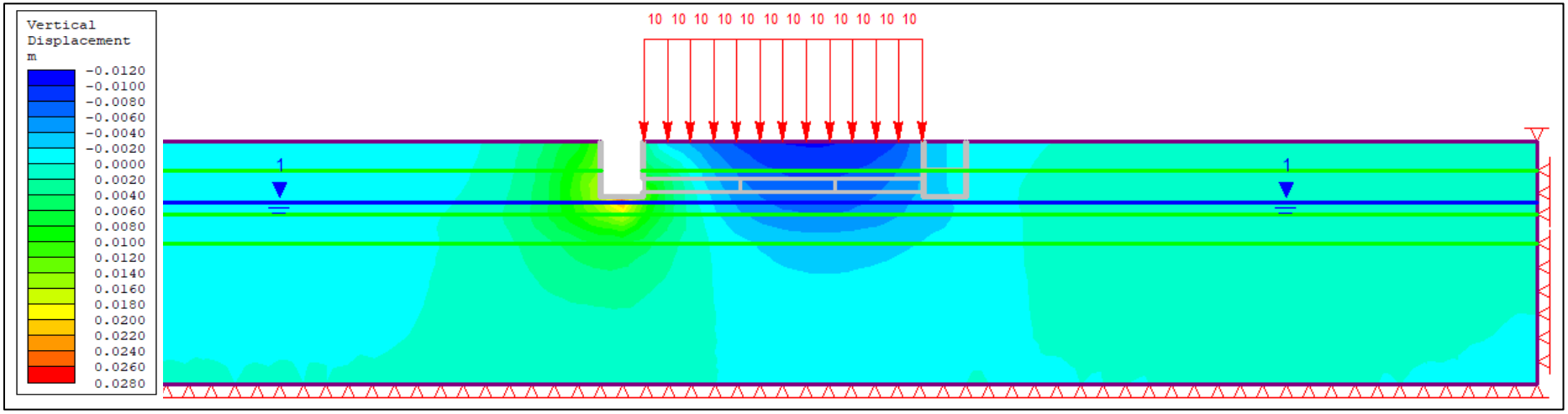


2.1.2 Construcción de pozos.

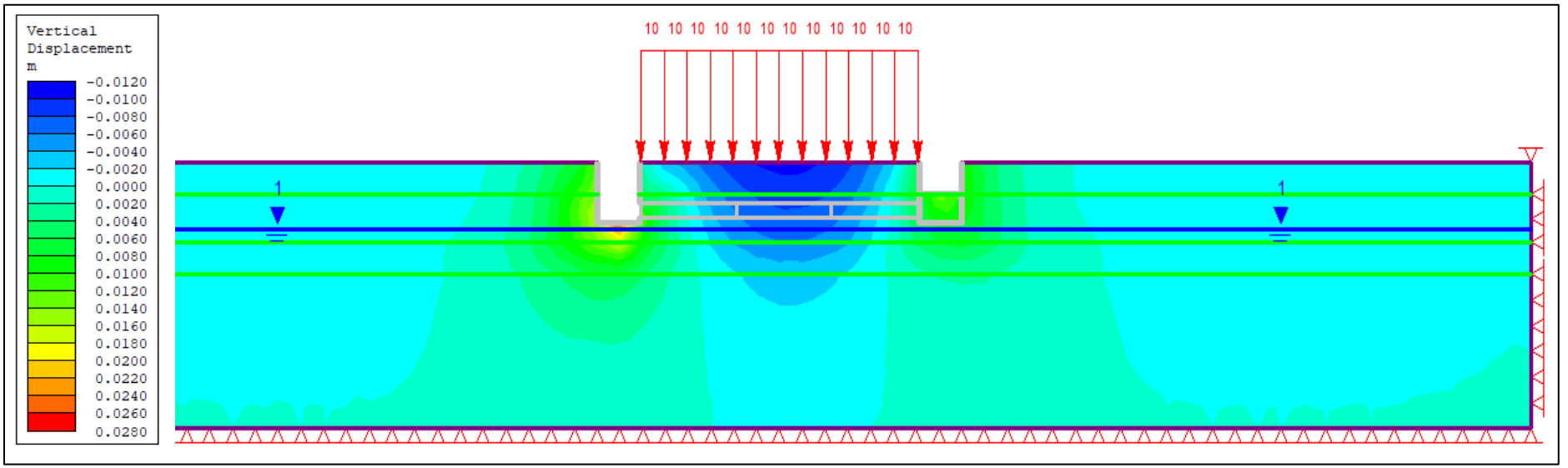
- **Pozo de lanzamiento (h/2)**



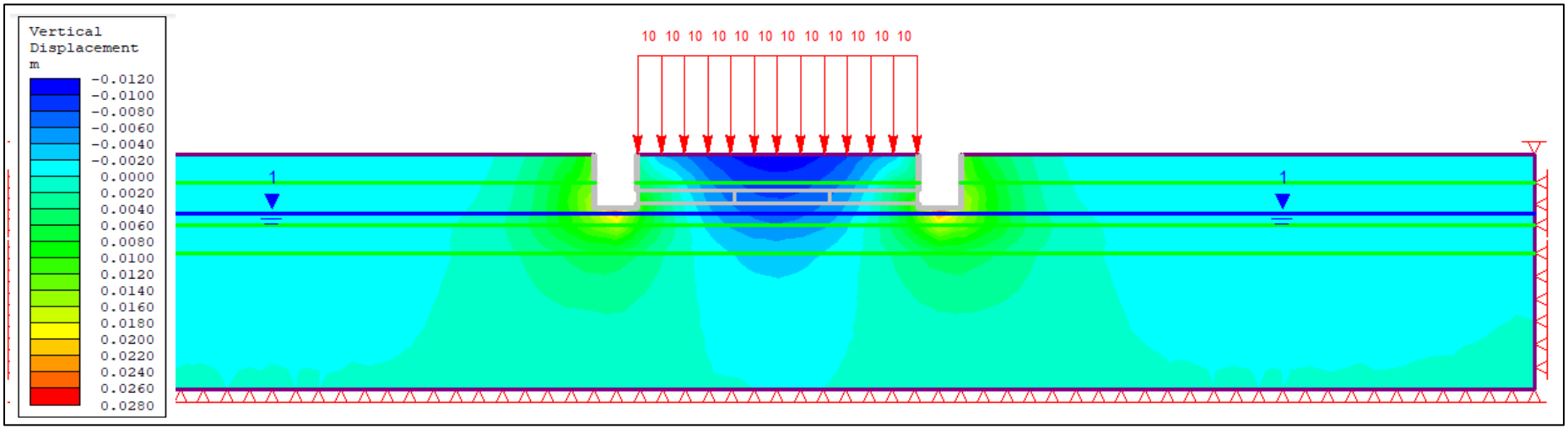
- **Pozo de lanzamiento (h)**



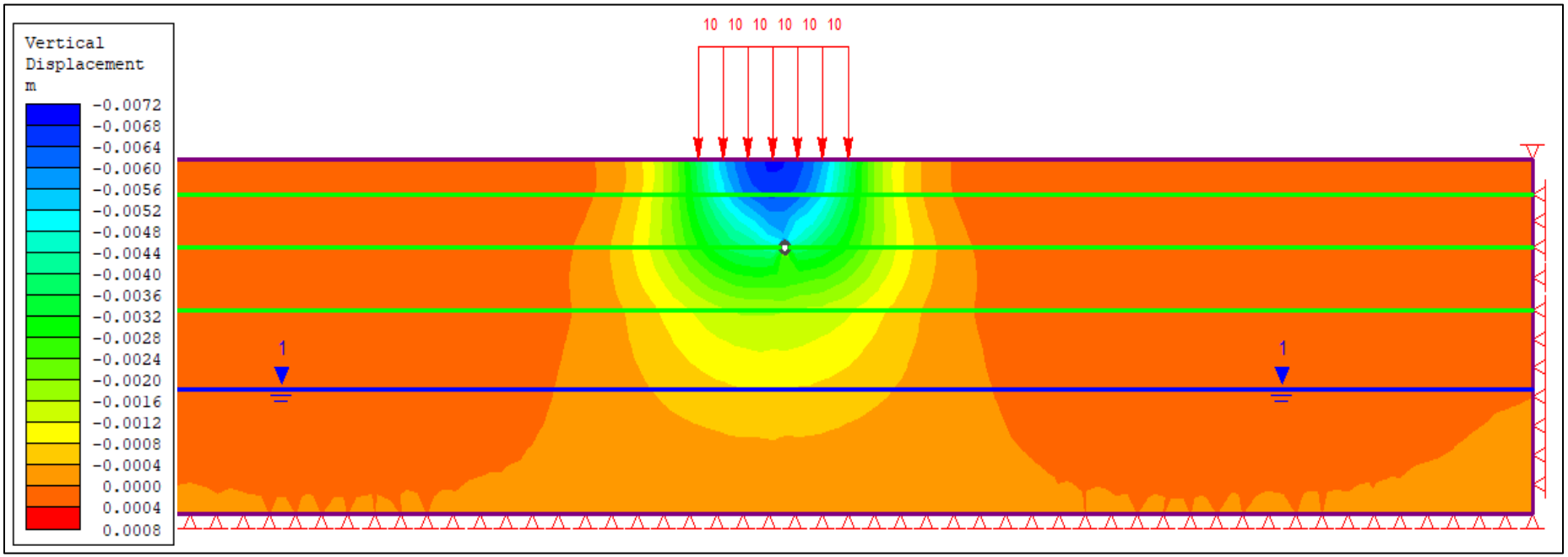
- **Pozo de recepción (h/2)**



- **Pozo de recepción (h)**



2.2.3 Sección transversal.



INTERFERENCIA B1-44-45-46		
Componente	**Tiempo 1**	**Tiempo 2**
Robustez	0.78	0.35
Redundancia	0.45	0.40
Capacidad de gestión	0.84	0.92
Capacidad de recuperación	1.00	1.00
Resiliencia	0.68	0.66
Indice de Resiliencia		0.978

INTERFERENCIA B1-36		
Componente	**Tiempo 1**	**Tiempo 2**
Robustez	0.78	0.31
Redundancia	0.45	0.40
Capacidad de gestión	0.84	0.92
Capacidad de recuperación	1.00	1.00
Resiliencia	0.68	0.65
Indice de Resiliencia		0.960

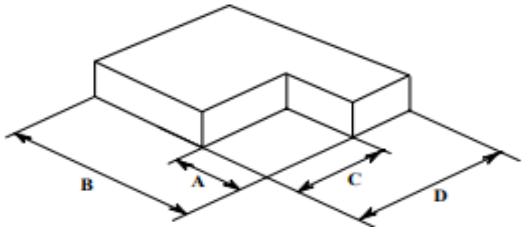
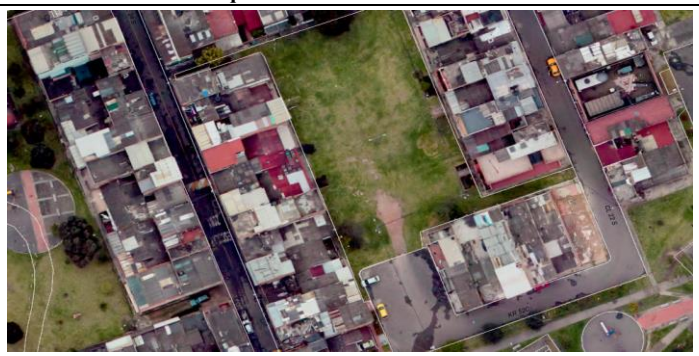
INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Robustez	Irregularidades en planta	0,05	0,66	0,05	0,66
	Irregularidades en altura	0,05	0,86	0,05	0,86
	Deflexiones en pavimento existente	0,2	1,00	0,2	0,00
	Limites de consistencia de la estructura peatonal	0,05	0,00	0,05	0,00
	Asentamientos en edificaciones	0,2	1,00	0,2	0,60
	Deflexiones en redes de servicios	0,15	1,00	0,15	0,00
	Fragilidad de edificaciones según su tipología y altura.	0,1	0,40	0,1	0,40
	Fragilidad en vías	0,1	0,57	0,1	0,57
	Fragilidad en redes de servicios	0,1	0,56	0,1	0,56
		Robustez	0,78		0,35

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Robustez	Irregularidades en planta	0,05	0,66	0,05	0,66
	Irregularidades en altura	0,05	0,86	0,05	0,86
	Deflexiones en pavimento existente	0,2	1,00	0,2	0,00
	Limites de consistencia de la estructura peatonal	0,05	0,00	0,05	0,00
	Asentamientos en edificaciones	0,2	1,00	0,2	0,4
	Deflexiones en redes de servicios	0,15	1,00	0,15	0,00
	Fragilidad de edificaciones según su tipología y altura.	0,1	0,4	0,1	0,4
	Fragilidad en vías	0,1	0,57	0,1	0,57
	Fragilidad en redes de servicios	0,1	0,56	0,1	0,56
		Robustez	0,78		0,31

IRREGULARIDADES EN PLANTA

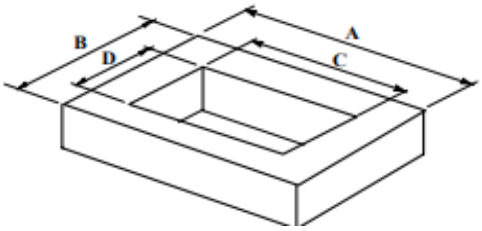
Tipo	Descripción de la irregularidad en planta	Si/No
1aP	**Irregularidad torsional:** La irregularidad torsional existe cuando en una edificación con diafragma rigido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mas de 1.2 y menor o igual a 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	No
1bP	**Irregularidad torsional extrema:** La irregularidad torsional extrema existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	No
2P	**Retrocesos excesivos en las esquinas:** La configuración de una etructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	No
3P	**Discontinuidades en el diafragma:** Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50% del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50%, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.	No
4P	**Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales:** La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene un grupo de elemtos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.	Si
5P	**Sistemas no paralelos:** Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sismica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular	Si

Total de irregularidades	2

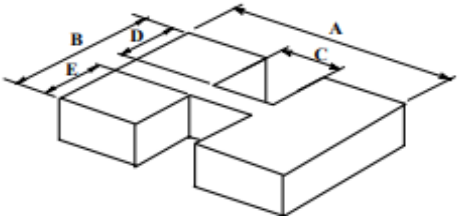
IRREGULARIDADES EN PLANTA	
Tipo 1aP- Irregularidad torsional	
$1.4\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 > 1.2\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)$	No se puede realizar el calculo ya que no se tienen las derivas de piso.
Tipo 1bP - Irregularidad torsional extrema	
$\Delta_1 > 1.4\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)$	No se puede realizar el calculo ya que no se tienen las derivas de piso.
Tipo 2P - Retrocesos excesivos en las esquinas	
$A > 0.15B \quad y \quad C > 0.15D$ 	  
De acuerdo a lo consultado en la pagina web del SINUPOT, no se tienen retrocesos en esquinas en las edificaciones o estructuras aledañas a las interferencias en estudio, esto dentro del área de influencia establecida.	
	

Tipo 3P-Discontinuidades en el diafragma

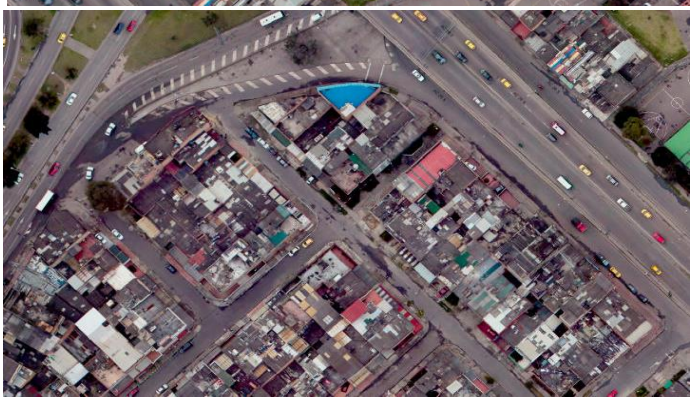
1) $C \times D > 0.5\,A \times B$



2) $(C \times D + C \times E) > 0.5\,A \times B$

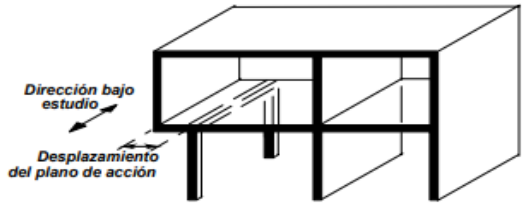






De acuerdo a lo consultado en la pagina web del SINUPOT, no se tienen discontinuidades en el diafragma de las edificaciones o estructuras aledañas a las interferencias en estudio, esto dentro del área de influencia establecida.

Tipo 4P-Desplazamiento de los planos de acción





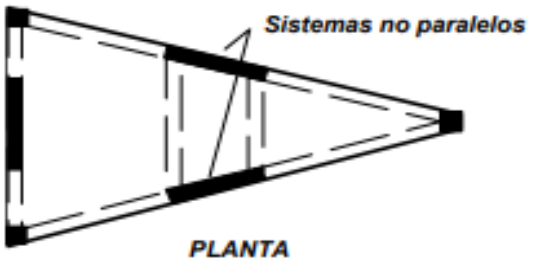






De acuerdo a las anteriores imágenes se tienen desplazamientos en los planos de acción de las viviendas cercanas a las interferencias dentro del area de influencia de ellas.

Tipo 5P - Sistemas no paralelos









Como se puede observar en las anteriores imágenes, muy cerca de las interferencias estudiadas, se tiene la irrehularidad tipo 5P, pues las viviendas no presentan sistemas paralelos en su configuracion en planta.

IRREGULARIDADES EN ALTURA		
Tipo	**Descripción de la irregularidad en planta**	**Si/No**
1aA	**Piso flexible (Irregularidad en rigidez):** Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70% pero superior o gial al 60% de la rigidez del piso superior o menor del 80% pero superior o igual al 70% del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	No
1bA	**Piso flexible (Irregularidad extrema en rigidez):** Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 60% de la rigidez del piso superior o menor del 70% del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructuea se considera irregular.	No
2A	**Irregularidad en la distribución de las masas:** Cuando la masa mi de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptua el caso de de los altillos de un solo piso.	No
3A	**Irregularidad geométrica:** Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos de un solo piso.	Si
4A	**Desplazamientos dentro del plano de acción:** La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimension horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificacion sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta condicion de irregularidad.	No
5aA	**Piso débil-Discontinuidad de la resistencia:** Cuando la resistencia del piso es menor del 80% de la del piso inmediatamente superior pero superior o igual al 65%, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	No
5bA	**Piso débil-Discontinuidad extrema de la resistencia:** Cuando la resistencia del piso es menor del 65% de la del piso inmediatamente superior ,entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	No

Total de irregularidades	1

IRREGULARIDADES EN ALTURA

Tipo 1aA Piso flexible

$$0.60\ \text{Rigidez}\ K_D \leq \text{Rigidez}\ K_C < 0.70\ \text{Rigidez}\ K_D$$

o

$$0.70\ (K_D+K_E+K_F)/3 \leq \text{Rigidez}\ K_C < 0.80\ (K_D+K_E+K_F)/3$$

Ya que no se tienen planos de las edificaciones que permitan realizar modelaciones en software estructurales, se considera que no se posee esta irregularidad

Tipo 1bA Piso flexible extremo

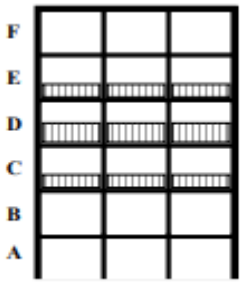
$$\text{Rigidez}\ K_C < 0.60\ \text{Rigidez}\ K_D$$

o

$$\text{Rigidez}\ K_C < 0.70\ (K_D+K_E+K_F)/3$$

Ya que no se tienen planos de las edificaciones que permitan realizar modelaciones en software estructurales, se considera que no se posee esta irregularidad

Tipo 2 A Distribucion masa



$$m_D > 1.50\ m_E$$

o

$$m_D > 1.50\ m_C$$



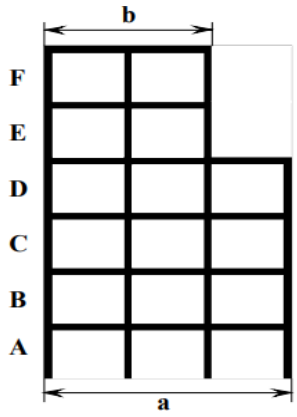






Las imágenes anteriores permiten deducir que en la zona de influencia no se presenta este tipo de irregularidad, pues la mayoria tiene un uso residencial, pudiendo afirmar asi que la distribucion de masa puede ser similar en los niveles,

Tipo 3A Irregularidad geométrica



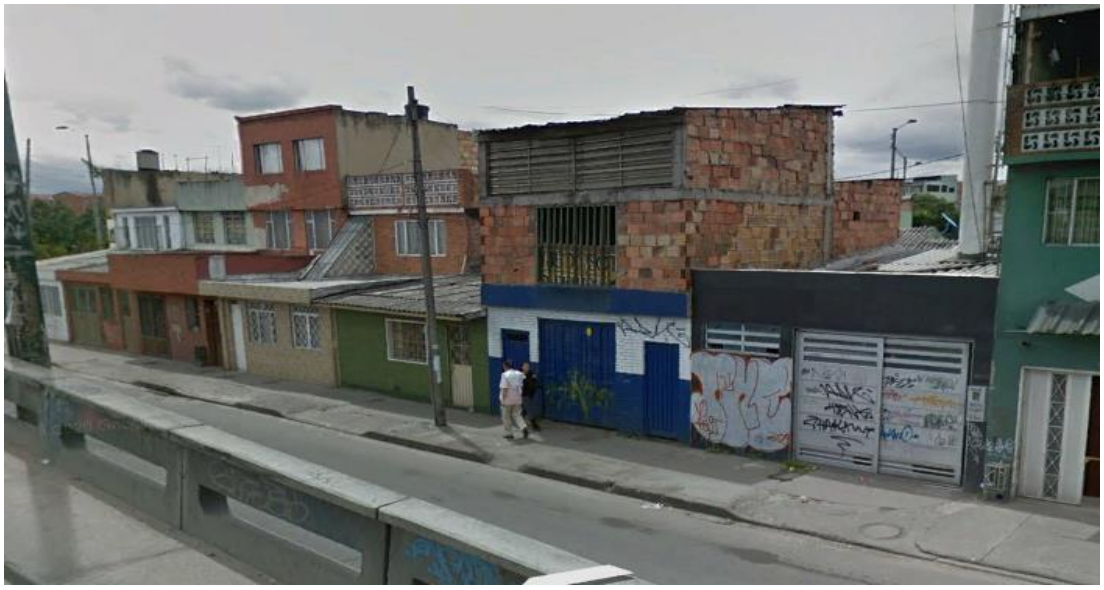
a > 1.30 b

12,30 >	11,453	IRREGULAR
15.7 >	11,453	IRREGULAR
12.6 >	11,245	IRREGULAR

Como se sprecia en las mediciones realizadas en SINUPOT, las viviendas presentan irregularidad en altura.





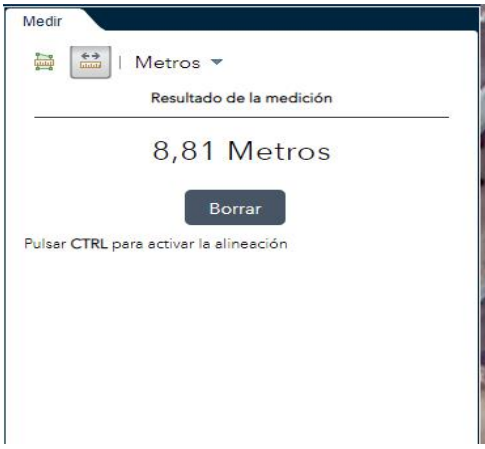



Medir
Metros
Resultado de la medición
12,3 Metros
Borrar
Pulsar CTRL para activar la alineación


Medir
Metros
Resultado de la medición
8,81 Metros
Borrar
Pulsar CTRL para activar la alineación


Metros
Resultado de la medición
15,7 Metros
Borrar
Pulsar CTRL para activar la alineación

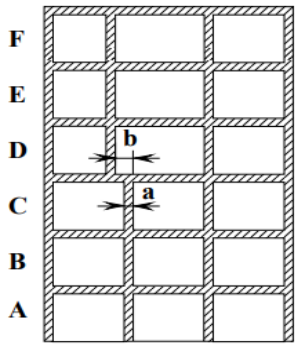



Medir
Metros
Resultado de la medición
8,81 Metros
Borrar
Pulsar CTRL para activar la alineación





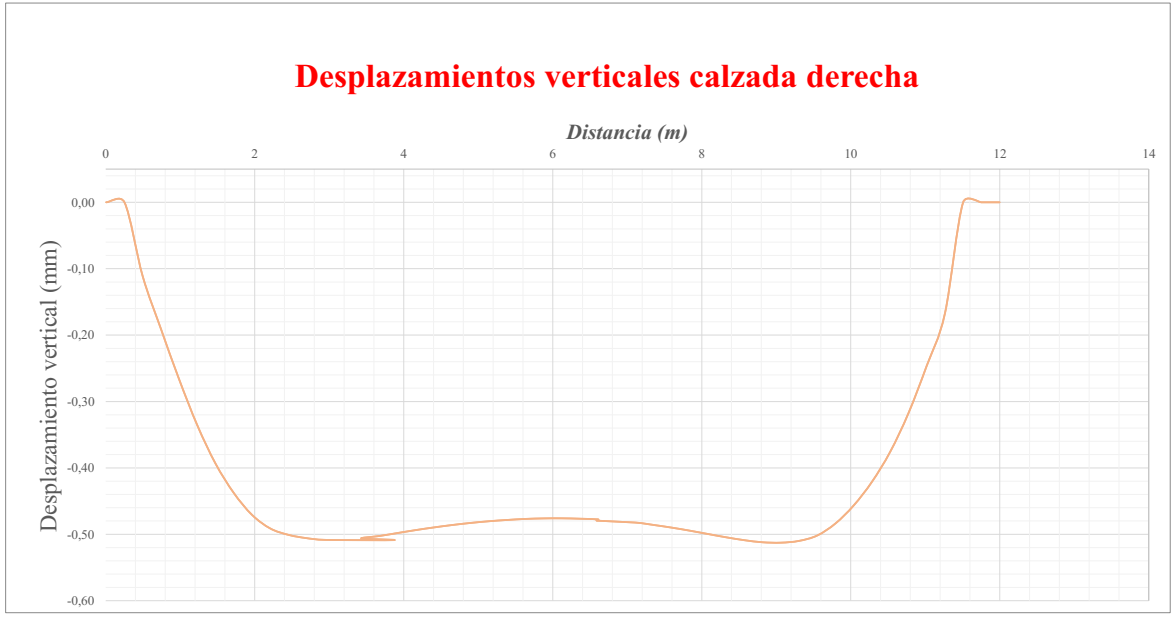


Tipo 4A Desplazamiento dentro del plano de acción.	
 **b > a**	De acuerdo a lo observado en la zona de influencia a traves de google earth y la visita hecha al lugar, se evidencia que las irregunlaridades presentadas sostienen mayormente solamente cubierta, por lo que no se considera esta irregularidad

DEFLEXIONES EN PAVIMENTO

CALZADA DERECHA	
Distancia (m)	Desplazamiento (mm)
0,006	0,00E+00
0,251	0,00E+00
0,495	-1,11E-01
0,74	-1,90E-01
0,985	-2,67E-01
1,230	-3,36E-01
1,474	-3,94E-01
1,719	-4,38E-01
1,964	-4,71E-01
2,209	-4,91E-01
2,453	-5,01E-01
2,698	-5,06E-01
2,943	-5,08E-01
3,880	-5,09E-01
3,432	-5,06E-01
3,677	-5,02E-01
3,922	-4,98E-01
4,166	-4,94E-01
4,411	-4,90E-01
4,656	-4,86E-01
4,901	-4,83E-01
5,145	-4,80E-01
5,390	-4,78E-01
5,635	-4,77E-01
5,880	-4,76E-01
6,124	-4,76E-01
6,369	-4,77E-01
6,614	-4,78E-01
6,590	-4,79E-01
7,103	-4,82E-01
7,348	-4,86E-01
7,593	-4,90E-01
7,838	-4,95E-01
8,082	-5,00E-01
8,327	-5,05E-01
8,572	-5,09E-01
8,816	-5,12E-01
9,061	-5,13E-01
9,306	-5,10E-01
9,551	-5,02E-01
9,795	-4,84E-01
10,040	-4,57E-01
10,285	-4,21E-01
10,530	-3,76E-01
10,774	-3,18E-01
11,019	-2,47E-01
11,264	-1,67E-01
11,509	0,00E+00
11,753	0,00E+00
11,998	0,00E+00

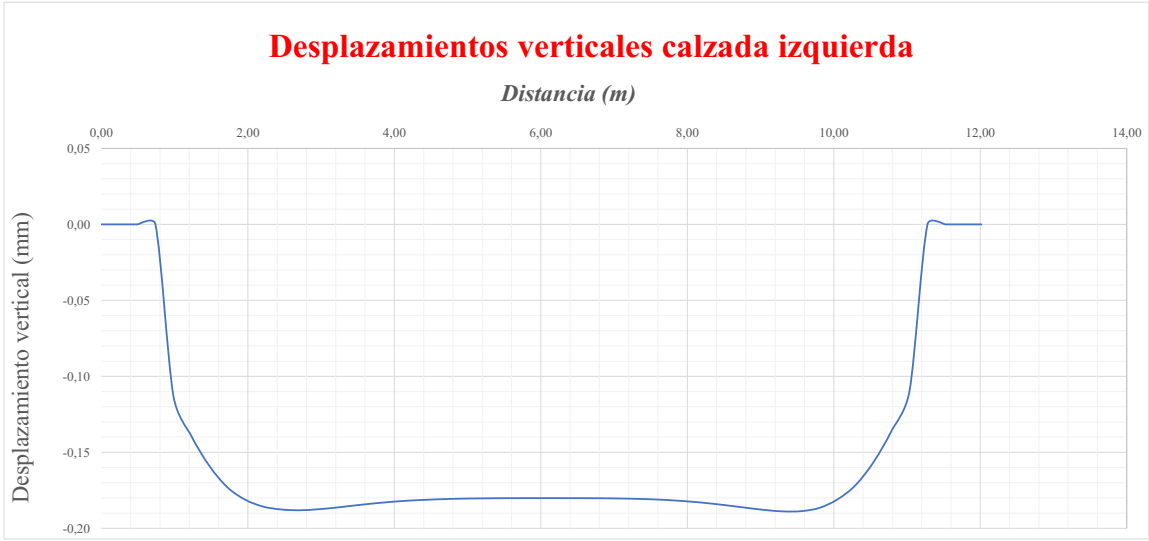
Máx, Desplazamiento	**-0,51**



DEFLEXIONES EN PAVIMENTO

CALZADA IZQUIERDA	
Distancia (m)	Desplazamiento (mm)
0,00	0,00E+00
0,25	0,00E+00
0,49	0,00E+00
0,74	0,00E+00
0,98	-1,13E-01
1,23	-1,39E-01
1,47	-1,59E-01
1,72	-1,73E-01
1,96	-1,81E-01
2,21	-1,86E-01
2,45	-1,88E-01
2,70	-1,88E-01
2,94	-1,88E-01
3,19	-1,86E-01
3,43	-1,85E-01
3,68	-1,84E-01
3,92	-1,83E-01
4,17	-1,82E-01
4,42	-1,81E-01
4,66	-1,81E-01
4,91	-1,81E-01
5,15	-1,80E-01
5,40	-1,80E-01
5,64	-1,80E-01
5,89	-1,80E-01
6,13	-1,80E-01
6,38	-1,80E-01
6,62	-1,80E-01
6,87	-1,80E-01
7,11	-1,80E-01
7,36	-1,81E-01
7,60	-1,81E-01
7,85	-1,82E-01
8,09	-1,83E-01
8,34	-1,84E-01
8,58	-1,85E-01
8,83	-1,87E-01
9,07	-1,88E-01
9,32	-1,89E-01
9,56	-1,89E-01
9,81	-1,86E-01
10,05	-1,81E-01
10,30	-1,71E-01
10,55	-1,56E-01
10,79	-1,36E-01
11,04	-1,09E-01
11,28	0,00E+00
11,53	0,00E+00
11,77	0,00E+00
12,02	0,00E+00

Máx, Desplazamiento	**-0,19**



DEFLEXIONES EN PAVIMENTO

INTERFERENCIA B1 44 45 46				
De acuerdo a las gráficas antes presentadas, se tiene que el umbral tolerable del pavimento existente en la zona es de 0,51 mm para el tiempo 1	**Relación Deformación/umbral tolerable t1**	0,013	**Relación Deformación/umbral tolerable t2**	18,3
La deformación máxima se tiene en la zona de los pozos con 13,3 mm, mientras que en la zona de la tunelación se tiene 9,31 mm				

INTERFERENCIA B1 36				
De acuerdo a las gráficas antes presentadas, se tiene que el umbral tolerable del pavimento existente en la zona es de 0,51 mm para el tiempo 1	**Relación Deformación/umbral tolerable t1**	0,013	**Relación Deformación/umbral tolerable t2**	25,2
La deformación máxima se tiene en la zona de los pozos con 8,12 mm, mientras que en la zona de la tunelación se tiene 12,87 mm				

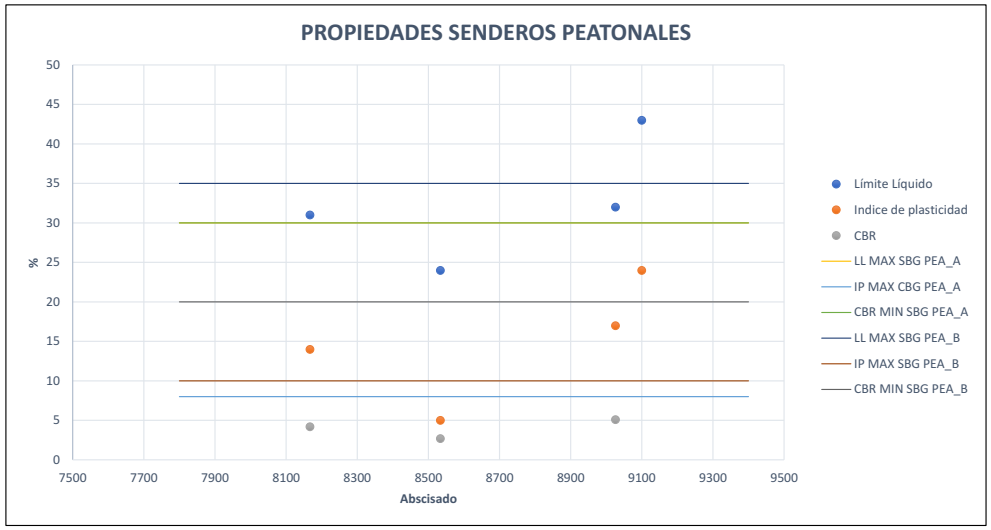
INTERFERENCIA B1 44 45 46	
Tiempo 1	
Deformación (mm)	0,51
Umbral Tolerable t1 (mm)	40
Relación Deformación/ Umbral Tolerable t1	0,0128
Tiempo 2	
Deformación (mm)	9,31
Umbral Tolerable t2 (mm)	0,51
Relación Deformación/ Umbral Tolerable.	18,25

INTERFERENCIA B1 36	
Tiempo 1	
Deformación (mm)	0,51
Umbral Tolerable t1 (mm)	40
Relación Deformación/ Umbral Tolerable t1	0,0128
Tiempo 1	
Deformación (mm)	12,87
Umbral Tolerable t2 (mm)	0,51
Relación Deformación/ Umbral Tolerable.	25,24

LÍMITES DE CONSISTENCIA

				LÍMITES SBG PEA_A			LÍMITES SBG PEA_B				SBG PEA_A	SBG PEA_B
N° SONDEO	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)	LL(%MAX)	IP (%MAX)	CBR (%MIN)	LL(%MAX)	IP (%MAX)	CBR (%MAX)	CUMPLE	CUMPLE
B-PLMB-PAV-35	32	15	17	5,1	30	8	30	35	10	20	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	43	19	24								NO CUMPLE	NO CUMPLE
B-PLMB-PAV-32	31	17	14	4,2							NO CUMPLE	NO CUMPLE
	24	17	7								NO CUMPLE	NO CUMPLE
AP-PLMB-PAV-33	24	19	5	2,7							NO CUMPLE	NO CUMPLE

SONDEOS			
8000			
8100			
8167	31	14	4,2
8200			
8300			
8400			
8500			
8534	24	5	2,7
8600			
8700			
8800			
8900			
9000			
9026	32	17	5,1
9100	43	24	
9200			
LÍMITES			
7800	30	7800	35
9400	30	9400	35
7800	8	7800	10
9400	8	9400	10
7800	30	7800	20
9400	30	9400	20



Tipo de Capa	Espesor de la capa H (mm)	
	H<150	H>=150
Andenes, Estructuras peatonales y ciclorutas		
Subbase Granular	SBG_ PEA_A	SBG_ PEA_B

Ensayo	Norma de Ensayo	Clase	
		SBG PEA_A	SBGPEA _B
Equivalente de Arena, % mínimo (1)	INV E 133-13	20	20
Valor de Azul de Metileno, máximo	INV E 235-13	12	14
Capacidad de Soporte			
CBR, % mínimo - Referido al 98 % de la densidad seca máxima, según el ensayo INV E-142-13 (AASHTO T 180), método D, después de 4 días de inmersión. (2)	INV E 148-13	30	20

Ensayo		Norma de Ensayo	Clase	
			SBG PEA_A	SBGPEA _B
Dureza				
Desgaste Los Ángeles	- En seco, 500 revoluciones, % máximo	INV E 218-13	50	50
Micro Deval, % máximo	- Agregado Grueso	INV E 238-13	40	40
Limpieza				
Límite Líquido, % máximo		INV E 125 -13	30	35
Índice de Plasticidad, % máximo		INV E 126-13	8	10

ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EDIFICACIONES

TENIENDO EN CUENTA LO ANTERIOR Y TOMANDO LOS DATOS OBTENIDOS EN LAS SIMULACIONES EN EL SOFTWARE PHASE 2 PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS TRALADOS DE REDES CON LA METODOLOGIA TRENCHLESS, TOMANDO EL MAYOR DESPLAZAMIENTO OBTENIDO EN LAS ZONAS DENOMINADAS POZOS, EL CUAL CORRESPONDE A 2.1589mm, TENEMOS QUE EL VALOR PARA ESTE ASPECTOS DE LA ROBUSTEZ ES IGUAL A 2.1589mm/3mm=0.7196, ESTE VALOR SE ENCUENTRA DENTRO DE 0.6 Y 0.8, POR LO TANTO LA PONDERACION PARA ESTE ASPECTO ES IGUAL A 0.4 PARA LA INTERSECCION 36, PARA LA INTERSECCION 44-45 TENEMOS QUE 11.04mm/3mm=3.68, ESTE VALOR ES MAYOR A 1.2, POR LO TANTO LA PONDERACIÓN PARA ESTE CASO LA PONDERACION ES IGUAL A 0.

Interferencia	36	44-45
Deflexión (mm)	2,16	1,61
Umbral (mm)	3	3

Interferencia	**Relacion**	**Ponderacion**
36	0,72	0,4
44-45	0,54	0,6

DEFLEXIONES EN REDES					
RED DE ACUEDUCTO					
MATERIAL	**PVC**	**ACERO**	**PVC**	**ASBESTO CEMENTO**	**PVC**
DIAMETRO (IN)	6	42	3	12	12
UMBRAL (mm)	11,43	80,01	5,715	3,048	22,86
DESPLAZAMIENTO (mm)		6,63			
DESPLAZAMIENTO (mm)		7,20			
RELACION Des/Umb	0,58	0,08	1,16	2,18	0,29
RELACION Des/Umb	0,63	0,09	1,26	2,36	0,31
PONDERACION	0,6	1	0,1	0	0,8
PONDERACION	0,4	1	0	0	0,8
INTERFERENCIA 36					
INERFERENCIA 44-45					
RED DE ALCANTARILLADO					
MATERIAL	**Concreto**	**gres**	**gres**	**gres**	**gres**
DIAMETRO (IN)	8	10	22	20	8
UMBRAL (mm)	2,032	2,54	5,588	5,08	2,032
DESPLAZAMIENTO (mm)		4,90			
DESPLAZAMIENTO (mm)		4,70			
RELACION Des/Umb	2,41	1,93	0,88	0,96	2,41
RELACION Des/Umb	2,31	1,85	0,84	0,93	2,31
PONDERACION	0	0	0,2	0,2	0
PONDERACION	0	0	0,2	0,2	0

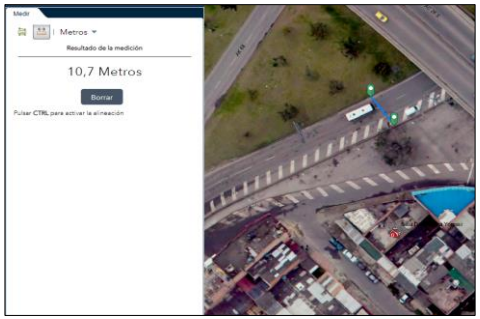
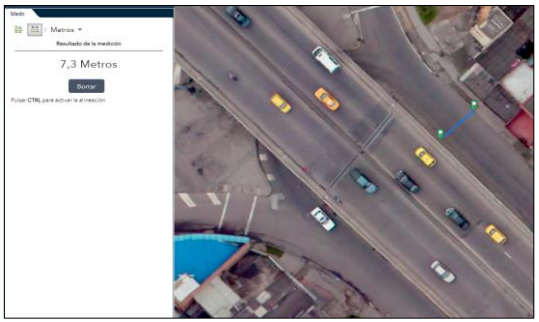
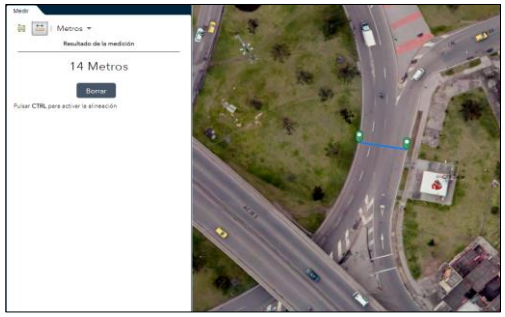
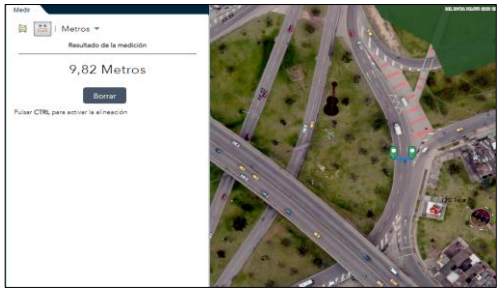
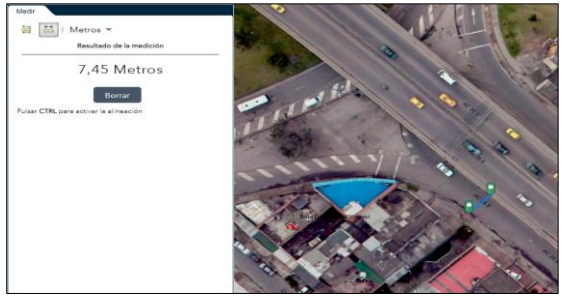
FRAGILIDAD DE EDIFICACIONES

DE ACUERDO A LAS OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE LAS VISITAS DE CAMPO HECHAS EN ELA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO DEL TRASLADO DE REDES DE ACUEDUCTIO Y ALCANTARILLADO, SE PUDO NOTAR QUE LA MAYOrRIA DE EDIFICACIONES EN EL ÁREA CORRESPONDEN A EDIFCIACIONES DENTRO DEL GRUPO DE CLASIFICACION D, ESTRUCTURAS CON CONFINAMIENTO DEFICIENTE Y ESTRUCTURAS HIBRIDAS, ADEMAS LA MAYORIA DE EDIFICACIONES POSEEN UN TOTAL DE ENTRE 2 A 3 PISOS, TENIENDO ESTO EN CUENTA, LA PONDERACION PARA LA FRAGILIDAD DE EDIFICACIONES EN LA ZONA

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Construcciones simples (F) y Estructuras ligeras (E), con número de pisos mayor o igual a 2	0.10
Estructuras con confinamiento deficiente (D), con número de pisos mayor o igual a 4	0.10
Estructuras con confinamiento deficiente (D), con número de pisos entre 2 y 3	0.40
Mampostería reforzada (C), Edificaciones reforzadas (B) y Edificaciones con reforzamiento especial (A) sin importar el número de pisos	0.95

FRAGILIDAD EN VÍAS

$$S_{ancho} = \frac{3{,}0}{Ancho_{via}} \qquad Robustez = 1 - S_{ancho}$$

Av. 68		Cll 26 sur		Glorieta y Transversal 53	
					
Robustez:	0,7196	***Robustez:***	0,5714	***Robustez:***	0,7857
					
Robustez:	0,6945	***Robustez:***	0,5973	***Robustez:***	0,5845

Para el valor de la robustez en vias, relacionado con la fragilidad vial, se escoge el menor valor de los anteriormente calculados, basados en que se tiene en cuenta el escenario mas desfavorable, así, la evaluación de la fragilidad en vias tendrá una valoración de 0,5714 para los tiempsos t1 y t2.

FRAGILIDAD EN REDES

Tabla 9. Fragilidad de redes de acueducto.

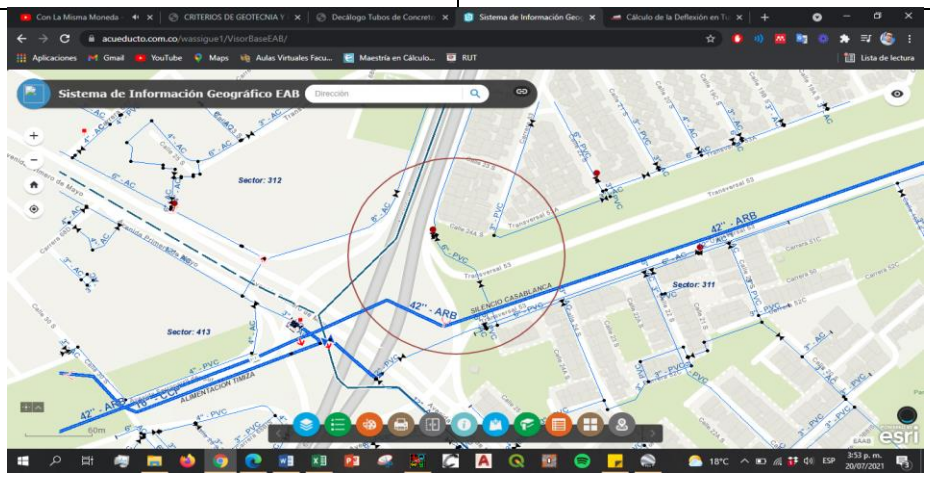
PARÁMETRO	FRAGILIDAD
Si el diámetro es de 1/2"	1
Si el diámetro es de 3/4"	0.44
Si el diámetro es de 1"	0.25
Si el diámetro es de 1 1/4"	0.16
Si el diámetro es de 1 1/2"	0.11
Si el diámetro es de 2"	0.06

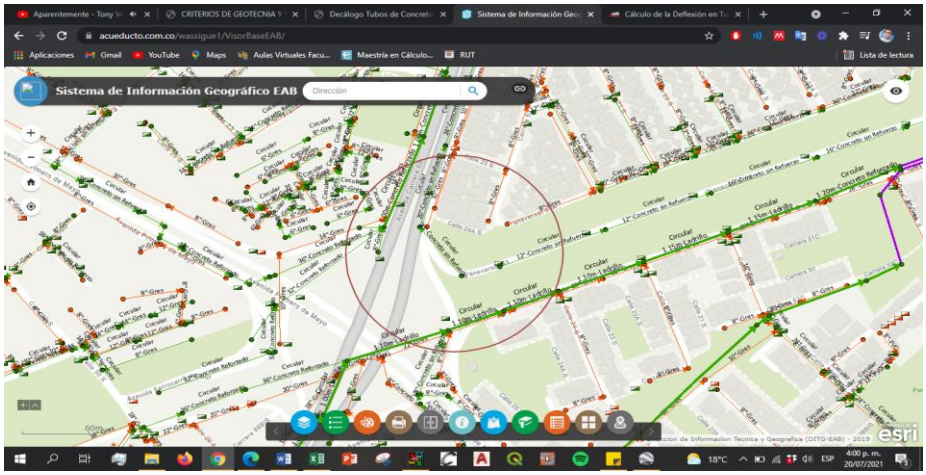
Tabla 10. Fragilidad para redes de alcantarillado.

PARÁMETRO	FRAGILIDAD
Si el material es Asbesto Cemento	0.90
Si el material es Gres	0.44
Si el material es Concreto Simple	0.25
Si el material es Polietileno	0.16
Si el material es Concreto Reforzado	0.11

A PARTIR DEL CONSOLIDADO DE REDES DE ACUDUCTO QUE SE ENCUENTRAN EN LA HERRAMIENTA DEL GEOPORTAL DE LA EAAB, EN LAS REDES DE ACUEDUCTO QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA PREDOMINAN AQUELLAS CON UN DIAMETRO MAYOR A 2", CON BASE EN LO ANTERIOR, LA FRAGILIDAD DE LAS REDES DE ACUEDUCTO EN LA ZONA CORRESPONDE AL VALOR DE 0.06, AL REALIZAR LA DIFERENCIA ENTRE 1 Y EL VALOR DE LA FRAGILIDAD DE LAS REDES DE ACUDUCTO, SE TIENE QUE EL VALOR DE LA ROBUSTEZ DE ESTAS REDES ES DE 0.94

A PARTIR DEL CONSOLIDADO DE REDES DE ACUDUCTO QUE SE ENCUENTRAN EN LA HERRAMIENTA DEL GEOPORTAL DE LA EAAB, EN LAS REDES DE ALCANTARILLADO QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA PREDOMINAN AQUELLAS CONSTRUIDAS EN GRES, CON BASE EN LO ANTERIOR, LA FRAGILIDAD DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO EN LA ZONA CORRESPONDE AL VALOR DE 0.44, AL REALIZAR LA DIFERENCIA ENTRE 1 Y EL VALOR DE LA FRAGILIDAD DE LAS REDES DE ACUDUCTO, SE TIENE QUE EL VALOR DE LA ROBUSTEZ DE ESTAS REDES ES DE 0.56





INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Redundancia	Vias alternas	0,5	0,5	0,6	0,5
	Grupos de uso	0,2	1	0,1	1
	Redundancia estructural	0,3	0	0,3	0
		Redundancia	0,45		0,4

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Redundancia	Vias alternas	0,5	0,5	0,6	0,5
	Grupos de uso	0,2	1	0,1	1
	Redundancia estructural	0,3	0	0,3	0
		Redundancia	0,45		0,4

EVALUACIÓN DE VÍAS ALTERNAS

SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE		
VÍA DESVÍO	**DESDE**	**HASTA**
Carrera 68 I	Av. Primero de mayo	Dg 34 sur
Dg 34 sur	Carrera 68 I	Carrera 68 A
Carrera 68 A	Dg 34 Sur	Dg 35 Sur
Dg 35 Sur	Carrera 68 A	Av. 68
Av. 68	Dg 35 Sur	Av. Primero de mayo

SENTIDO ORIENTE - OCCIDENTE		
VÍA DESVÍO	**DESDE**	**HASTA**
Avenida 68	Av. Primero de mayo	Transversal 60
Transversal 60	Avenida 68	Carrera 60
Carrera 60	Transversal 60	Calle 3
Calle 3	Carrera 60	Av. 68
Av. 68	Calle 3	Av. Primero de mayo





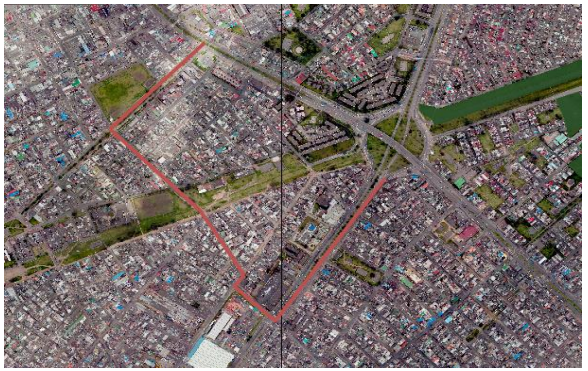
La carrera 68 I desde la av primera de mayo hasta la Dg 34 sur tiene dos carriles ara cada sentido, considerando ésta como desvío del sentido occidente oriente, no tendría capacidad suficiente para absorber el trafico de la av primero de mayo considerando que esta ultima tiene 3 carriles, así, ésta absorberia el 67% de los vehiculos que transiten por la av primero de mayo en sentido occidente oriente.

Aadicional a esto, la Diagonal 34 y 45 sur tienen solamente un carril para cada sentido, lo que generaria embotellamientos, sumado a esto, se trata de una zona residencial, por lo que la velocidad es menor a la que se tiene normalmente en la Av primera de mayo.

Para el caso del sentido oriente occidente, la carrera 60 y la carrera 3 presentan tambien una reduccion en el numero de carriles, con respecto a los que se tiene en la av primera de mayo. De acuerdo a esto se le asigna una ponderacion de 0.50 a ambas interferencias en los dos tiempos estudiados.







EVALUACIÓN DE VÍAS ALTERNAS





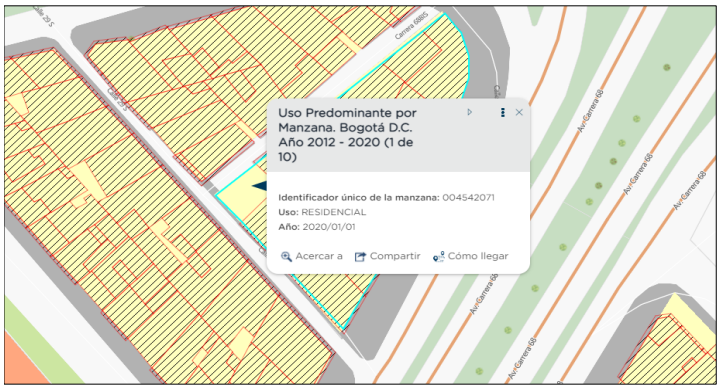


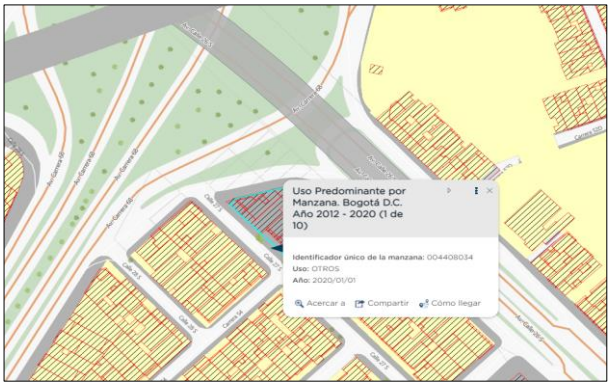


GRUPO DE USO DE EDIFICACIONES









Como se ve en las imágenes, el uso predominante es de tipo residencial y comercial, pertenecientes al grupo I de los descritos en el título A de la NSR-10.

REDUNDANCIA ESTRUCTURAL

E.4.3 — COLUMNAS DE CONFINAMIENTO

E.4.3.1 — **GENERAL** — En general, las columnas de confinamiento se construyen en concreto reforzado. Las columnas de confinamiento deben anclarse a la cimentación, pudiendo utilizarse empalmes por traslapo en la base de la columna, y deben rematarse anclando el refuerzo en la viga de amarre superior. Cuando una columna tenga dos niveles, se puede realizar un empalme por traslapo en cada nivel. Las columnas de confinamiento se deben vaciar con posterioridad al alzado de los muros estructurales y directamente contra ellos.

E.4.3.2 — **DIMENSIONES** — La sección transversal de las columnas de amarre debe tener un área no inferior a 20 000 mm² (200 cm^2), con espesor igual al del muro que confina.

E.4.3.3 — **UBICACIÓN** — Deben colocarse columnas de amarre en los extremos de los muros estructurales seleccionados, en las intersecciones con otros muros estructurales y en lugares intermedios a distancias no mayores de 35 veces el espesor efectivo del muro, 1.5 veces la distancia vertical entre elementos horizontales de confinamiento ó 4 m.

E.4.4.3 — **UBICACIÓN** — Deben disponerse vigas de amarre formando anillos cerrados en un plano horizontal, entrelazando los muros estructurales en las dos direcciones principales para conformar diafragmas con ayuda del entrepiso ó la cubierta. Deben ubicarse amarres en los siguientes sitios:

(a) ***A nivel de cimentación*** — El sistema de cimentación constituye el primer nivel de amarre horizontal.

(b) ***A nivel del sistema de entrepiso en casas de dos niveles*** — Las vigas de amarre pueden ir embebidas en la losa de entrepiso. En caso de utilizarse una losa maciza de espesor superior o igual a 75 mm, se puede prescindir de las vigas de amarre en la zona ocupada por este tipo de losa, colocando el refuerzo requerido para la viga dentro de la losa.

(c) ***A nivel del enrase de cubierta*** — Se presentan dos opciones para la ubicación de las vigas de amarre y la configuración del diafragma.

- Vigas horizontales a nivel de dinteles más cintas de amarre como remate de las culatas.
- Vigas de amarre horizontales en los muros sin culatas combinadas con vigas de amarre inclinadas, configurando los remates de las culatas. En este caso, se debe verificar, de acuerdo con E.3.5.1, la necesidad o no de amarre a nivel de dinteles.



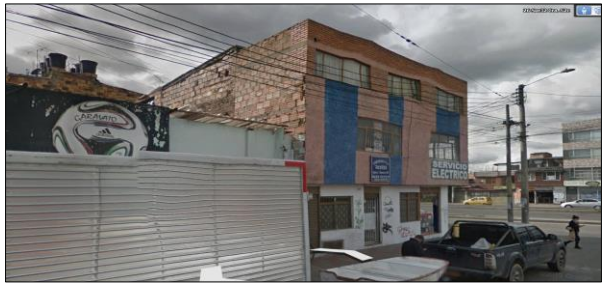


Como se observa en las imágenes, no se tiene redundancia estructural pues en varias edificaciones de la zona cercana a las interferencias no poseen suficientes columnas o elementos estructurales, tal como lo solicita la normativa colombiana.

REDUNDANCIA ESTRUCTURAL









INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de gestión	Actividades economicas predominantes	0,4	0,6	0,2	0,6
	Politicas de gestion del riesgo	0,3	1	0,4	1
	Articulacion de politicas	0,3	1	0,4	1
		Cap Gestión	0,84		0,92

INTERFERENCIA B1-44-45-46					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de recuperación	Actividades economicas	0,4	1	0,4	1
	Politicas de gestion del riesgo	0,3	1	0,3	1
	Articulacion de politicas	0,3	1	0,3	1
		Cap Recup	1		1

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de gestión	Actividades economicas predominantes	0,4	0,6	0,2	0,6
	Politicas de gestion del riesgo	0,3	1	0,4	1
	Articulacion de politicas	0,3	1	0,4	1
		Cap Gestión	0,84		0,92

INTERFERENCIA B1-36					
Componente	**Parámetro**	**Tiempo 1**		**Tiempo 2**	
		Factor importancia	**Ponderación asignada**	**Factor importancia**	**Ponderación asignada**
Capacidad de recuperación	Actividades economicas	0,4	1	0,4	1
	Politicas de gestion del riesgo	0,3	1	0,3	1
	Articulacion de politicas	0,3	1	0,3	1
		Cap Recup	1		1